



Kajian Bioetik Terhadap Pengelolaan Kolam Limbah Pada Industri Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*) Dalam Perspektif Lingkungan Berkelanjutan

Suci Eka Pertiwi¹, Fitri Handayani², Sepyra Dwi Darmawan³ Nurbaity Situmorang⁴, Widya Arwita⁵

Universitas Negeri Medan^{1,2,3,4,5}

Received: 22 Juli 2026		Abstrak Industri kelapa sawit menghasilkan limbah cair berupa Palm Oil Mill Effluent (POME) dengan kandungan bahan organik tinggi yang berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila tidak dikelola secara optimal. Pengelolaan limbah industri tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis pengolahan, tetapi juga mencakup tanggung jawab moral terhadap kelestarian lingkungan dalam perspektif bioetik. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengelolaan kolam limbah industri kelapa sawit dalam perspektif bioetik lingkungan dan prinsip keberlanjutan. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif melalui observasi langsung terhadap sistem pengolahan limbah pada salah satu pabrik kelapa sawit di Sumatera Utara selama kegiatan magang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan limbah dilakukan melalui empat kolam bertingkat yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme secara biologis dalam proses degradasi bahan organik sebelum limbah dialirkan kembali ke lahan perkebunan. Sistem pengolahan tersebut menunjukkan adanya upaya pengelolaan limbah berbasis proses alami dan pemanfaatan kembali limbah sebagai bentuk efisiensi sumber daya. Namun demikian, pengelolaan limbah tetap memerlukan pengawasan dan evaluasi berkelanjutan untuk mencegah potensi dampak ekologis terhadap lingkungan sekitar. Dalam perspektif bioetik lingkungan, pengelolaan limbah industri harus memenuhi prinsip tanggung jawab ekologis, pencegahan kerusakan lingkungan, dan keberlanjutan ekosistem. Oleh karena itu, penerapan sistem pengelolaan limbah yang efektif menjadi penting untuk mendukung praktik industri yang berkelanjutan dan beretika.
Revised: 29 Juli 2026		
Accepted: 5 Agustus 2026		
Kata Kunci:		bioetik lingkungan, <i>Palm Oil Mill Effluent</i> , kolam limbah, industri kelapa sawit, keberlanjutan lingkungan.

(*) Corresponding Author: suciekapertiwi09@gmail.com, handayanioppofitri@gmail.com,
sepyradwidarmawan@gmail.com, nurbaitysitumorang@unimed.ac.id,
widyaarwita@unimed.ac.id

How to Cite: Pertiwi, S. E., Handayani, F., Darmawan, S. D., Situmorang, N., & Arwita, W. (2026). KAJIAN BIOETIK TERHADAP PENGELOLAAN KOLAM LIMBAH PADA INDUSTRI KELAPA SAWIT (ELAEIS GUINEENSIS) DALAM PERSPEKTIF LINGKUNGAN BERKELANJUTAN. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 12(8.C), 83-89. Retrieved from <https://jurnal.peneliti.net/index.php/JIWP/article/view/13907>.

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit menghasilkan limbah cair yang dikenal sebagai *Palm Oil Mill Effluent* (POME), yaitu limbah dengan kandungan bahan organik yang tinggi seperti *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), minyak, serta padatan tersuspensi. Limbah ini berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola secara optimal karena dapat menurunkan kualitas air, tanah, serta mengganggu keseimbangan ekosistem (Igwe & Onyegbado, 2007).

Pengolahan POME umumnya dilakukan melalui sistem pengolahan biologis menggunakan mikroorganisme yang berfungsi mendegradasi bahan organik dalam limbah. Proses ini bertujuan menurunkan kadar pencemar sehingga limbah dapat dibuang atau dimanfaatkan kembali tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Namun, efektivitas pengolahan sangat dipengaruhi oleh pengelolaan sistem kolam, waktu retensi

limbah, serta kontrol operasional yang baik (Mohammad *et al.*, 2021). Dalam konteks keberlanjutan lingkungan, pengelolaan limbah cair industri kelapa sawit harus memperhatikan keseimbangan antara aktivitas produksi dan perlindungan ekosistem. Pengelolaan limbah yang tidak optimal dapat menyebabkan dampak ekologis jangka panjang serta menimbulkan permasalahan lingkungan bagi masyarakat sekitar (Igwe & Onyegbado, 2007).

Pengolahan limbah cair kelapa sawit umumnya menggunakan sistem kolam bertingkat yang melibatkan proses biologis secara anaerobik dan aerobik. Sistem ini terdiri dari beberapa tahapan pengolahan, mulai dari pendinginan limbah, degradasi bahan organik oleh mikroorganisme anaerobik, hingga proses pemurnian lanjutan pada kolam aerobik sebelum limbah dilepaskan ke lingkungan. Sistem kolam terbuka banyak digunakan karena memiliki biaya operasional rendah dan memanfaatkan proses alami melalui aktivitas mikroorganisme. Namun, sistem ini juga memiliki risiko lingkungan apabila tidak dikelola secara optimal, seperti potensi pencemaran tanah, air, dan emisi gas rumah kaca (Mohammad *et al.*, 2021).

Berdasarkan hasil observasi lapangan pada kolam limbah di salah satu pabrik kelapa sawit di Sumatera Utara, sistem pengolahan limbah dilakukan melalui empat kolam limbah yang bekerja secara bertahap dengan bantuan mikroorganisme dalam proses penguraian bahan organik. Limbah yang telah melalui proses pengolahan selanjutnya dialirkan ke lahan perkebunan kelapa sawit. Sistem ini menunjukkan penerapan pengolahan limbah secara biologis yang memanfaatkan proses alami untuk menurunkan tingkat pencemaran sebelum limbah dimanfaatkan kembali.

Konsep zero discharge merupakan pendekatan pengelolaan limbah yang bertujuan untuk menghilangkan pembuangan limbah ke lingkungan melalui pengolahan dan pemanfaatan kembali limbah secara optimal. Teknologi ini menekankan pengolahan limbah hingga mencapai standar aman sehingga tidak mencemari lingkungan. Penerapan konsep zero discharge mencerminkan tanggung jawab industri terhadap perlindungan lingkungan serta upaya meminimalkan dampak ekologis dari kegiatan produksi. Pengelolaan limbah yang berorientasi pada zero discharge sejalan dengan prinsip bioetik lingkungan yang menekankan pencegahan kerusakan ekosistem dan keberlanjutan sumber daya alam (Loh *et al.*, 2013).

Dalam konteks pengelolaan kolam limbah di industri kelapa sawit, sistem pengolahan bertahap menggunakan mikroorganisme sebagaimana ditemukan pada kolam limbah PKS menunjukkan upaya pengurangan beban pencemar sebelum limbah dimanfaatkan kembali. Namun demikian, efektivitas pengolahan dan potensi dampak lingkungan tetap perlu dievaluasi secara berkelanjutan.

Limbah cair kelapa sawit memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi melalui konversi menjadi biogas. Kandungan bahan organik yang tinggi memungkinkan limbah diolah melalui fermentasi anaerobik untuk menghasilkan energi listrik sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan. Pemanfaatan limbah sebagai sumber energi merupakan bagian dari strategi pengelolaan limbah berkelanjutan yang bertujuan meningkatkan efisiensi industri dan mengurangi dampak lingkungan. Pendekatan ini mendukung prinsip keberlanjutan dan tanggung jawab ekologis dalam pengelolaan limbah industri kelapa sawit (Lestari *et al.*, 2023).

Selain itu, tata kelola industri kelapa sawit berkelanjutan menekankan pentingnya pengelolaan limbah yang ramah lingkungan sebagai bentuk tanggung jawab sosial dan lingkungan perusahaan. Standar keberlanjutan mendorong industri untuk meminimalkan pencemaran dan menjaga keseimbangan ekosistem dalam kegiatan produksi (Riadhyy & Arkum, 2023).

Pengelolaan limbah industri tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis, tetapi juga

menyangkut tanggung jawab moral terhadap lingkungan dan masyarakat. Perspektif bioetik lingkungan menekankan prinsip tanggung jawab manusia terhadap kelestarian ekosistem, pencegahan kerusakan lingkungan, serta keberlanjutan sumber daya alam. Pengelolaan kolam limbah industri kelapa sawit yang menggunakan proses biologis melalui mikroorganisme dan pemanfaatan kembali limbah ke lahan perkebunan menunjukkan upaya penerapan prinsip keberlanjutan. Namun, pengawasan terhadap efektivitas pengolahan limbah tetap diperlukan untuk memastikan bahwa limbah yang dialirkan ke lingkungan tidak menimbulkan dampak negatif bagi ekosistem dan masyarakat sekitar. Dengan demikian, kajian bioetik terhadap pengelolaan kolam limbah industri kelapa sawit menjadi penting untuk menilai kesesuaian praktik pengelolaan limbah dengan prinsip keberlanjutan lingkungan dan tanggung jawab ekologis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif untuk menganalisis sistem pengelolaan kolam limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) pada industri kelapa sawit dalam perspektif bioetik lingkungan dan keberlanjutan. Penelitian dilaksanakan di salah satu kolam limbah pabrik kelapa sawit di Serdang Bedagai, Sumatera Utara, selama kegiatan magang, dengan pengamatan langsung terhadap tahapan pengolahan limbah yang melalui proses anaerobik dan aerobik dalam kolam bertingkat hingga pemanfaatan kembali limbah ke lahan perkebunan. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, dokumentasi sistem pengolahan, dan studi literatur dari jurnal ilmiah nasional dan internasional yang relevan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara deskriptif-analitis dengan membandingkan kondisi di lapangan dengan teori dan hasil penelitian sebelumnya, dan dievaluasi berdasarkan prinsip bioetik lingkungan seperti tanggung jawab ekologis, prinsip pencegahan, keberlanjutan, dan keadilan lingkungan untuk menilai kesesuaian praktik pengelolaan limbah dengan kode etik dan standar keberlanjutan industri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem kolam anaerobik–aerobik merupakan metode konvensional yang paling banyak digunakan dalam pengolahan *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Secara kuantitatif, POME memiliki nilai Biological Oxygen Demand (BOD) 25.000–65.000 mg/L dan Chemical Oxygen Demand (COD) 50.000–100.000 mg/L sebelum pengolahan. Sistem kolam bertingkat mampu menurunkan BOD hingga di bawah 100 mg/L apabila dioperasikan dengan waktu retensi yang memadai (Ahmad et al., 2003). Ini menunjukkan secara teknis sistem kolam terbuka masih efektif dalam mereduksi beban organik limbah.

Dari hasil observasi di kolam limbah Pabrik Kelapa Sawit (PKS), pengolahan dilakukan melalui empat kolam bertingkat yang bekerja secara anaerobik dan aerobik. Sistem ini memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik dalam *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Secara ilmiah, metode ini merupakan metode yang paling umum digunakan pada industri kelapa sawit karena efisien dan berbiaya operasional rendah, yang menunjukkan bahwa sistem kolam terbuka masih menjadi pendekatan utama dalam pengolahan limbah cair kelapa sawit. Ini memperkuat bahwa sistem di pabrik kelapa sawit telah sesuai dengan standar teknis pengolahan biologis yang direkomendasikan dalam literatur ilmiah (Mohammad et al., 2021).

Limbah POME ini memiliki kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang sangat tinggi yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak diolah dengan baik. Dalam perspektif bioetik lingkungan, pengolahan limbah

sebelum dilepas ke lingkungan merupakan penerapan prinsip pencegahan menyatakan bahwa POME yang tidak diolah dapat menyebabkan pencemaran serius akibat tingginya kandungan bahan organik (Igwe & Onyegbado, 2007). Oleh karena itu, sistem pengolahan bertahap yang diterapkan di pabrik kelapa sawit menunjukkan adanya tanggung jawab moral industri untuk mencegah kerusakan lingkungan sebelum limbah dimanfaatkan Kembali.

Pengaliran limbah yang telah diolah ke lahan perkebunan sudah mencerminkan zero discharge, yaitu meminimalkan atau meniadakan pembuangan langsung ke badan air. Konsep ini menekankan pemanfaatan kembali limbah sebagai bagian dari efisiensi sumber daya. Teknologi zero discharge bertujuan menghilangkan pelepasan akhir limbah ke lingkungan melalui optimalisasi pengolahan dan pemanfaatan internal (Loh *et al.*, 2013). Dengan demikian, praktik di pabrik kelapa sawit tidak hanya memenuhi aspek teknis pengolahan, tetapi juga mencerminkan tanggung jawab ekologis dan prinsip keberlanjutan dalam bioetik lingkungan.

Meskipun sistem kolam terbuka efektif dalam menurunkan kadar pencemar, literatur menyebutkan adanya potensi emisi gas metana dari proses anaerobik. Metana merupakan gas rumah kaca yang memiliki dampak signifikan terhadap perubahan iklim. Sistem kolam terbuka dapat melepaskan metana apabila biogas tidak ditangkap dan dimanfaatkan dengan baik. Oleh karena itu, meskipun pengelolaan kolam limbah telah sesuai kode etik, evaluasi berkelanjutan tetap diperlukan untuk memastikan tidak terjadi dampak ekologis jangka panjang, terutama terkait kontribusi terhadap emisi gas rumah kaca.

POME juga memiliki potensi besar untuk dikonversi menjadi biogas melalui fermentasi anaerobik. Pemanfaatan ini tidak hanya menurunkan beban pencemar tetapi juga menghasilkan energi listrik yang mendukung keberlanjutan industri. Pemanfaatan POME untuk konversi listrik dapat meningkatkan aspek keberlanjutan dan mengurangi dampak lingkungan. Dengan demikian, pengelolaan limbah yang terintegrasi dengan produksi energi mencerminkan prinsip beneficence (kebermanfaatan) dan keadilan antar generasi dalam bioetik lingkungan (Lestari *et al.*, 2023).

Sistem kolam limbah di pabrik kelapa sawi di Serdang Bedagai, Sumatera Utara, telah memenuhi prinsip bioetik lingkungan karena telah menerapkan pengolahan biologis, menurunkan beban pencemar sebelum di aplikasikan ke lahan, dan menerapkan pada konsep zero discharge. Namun, berdasarkan literatur ilmiah, sistem kolam terbuka tetap memerlukan monitoring kualitas air, pengawasan parameter BOD dan COD, serta evaluasi potensi emisi metana secara berkala. Dengan demikian, praktik yang telah sesuai kode etik tetap membutuhkan pengawasan berkelanjutan sebagai bentuk tanggung jawab ekologis jangka panjang. Pendekatan ini menunjukkan bahwa keberlanjutan industri tidak hanya ditentukan oleh kepatuhan teknis, tetapi juga oleh komitmen etis terhadap perlindungan lingkungan dan generasi mendatang.

Namun demikian, meskipun sistem kolam limbah yang diterapkan telah memenuhi prinsip bioetik lingkungan dan konsep *zero discharge*, kesesuaian terhadap kode etik dan standar teknis tidak serta-merta menghilangkan kebutuhan evaluasi berkelanjutan. Sistem kolam terbuka tetap memiliki potensi risiko ekologis yang perlu dikaji secara ilmiah dan dikendalikan secara sistematis agar tidak menimbulkan dampak jangka panjang terhadap lingkungan dan masyarakat sekitar.

Salah satu risiko utama adalah potensi emisi gas metana dari proses degradasi anaerobik. Proses penguraian bahan organik dalam kolam anaerobik menghasilkan biogas yang sebagian besar terdiri atas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂). Pada sistem kolam terbuka tanpa penangkapan gas, metana dilepaskan langsung ke atmosfer dan berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi gas rumah kaca. (Mohammad *et al.* 2021) dalam Processes

menjelaskan bahwa sistem kolam anaerobik terbuka merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca signifikan dalam industri kelapa sawit apabila tidak dilengkapi sistem biogas *recovery*. Mengingat metana memiliki potensi pemanasan global yang jauh lebih tinggi dibandingkan karbon dioksida dalam periode 100 tahun, maka pengendalian emisi menjadi bagian penting dari tanggung jawab ekologis industri. 2

Risiko kedua berkaitan dengan akumulasi residu di tanah akibat aplikasi POME secara terus-menerus. Meskipun aplikasi limbah ke lahan perkebunan mencerminkan efisiensi sumber daya dan mendukung konsep zero discharge, penggunaan jangka panjang tanpa pengaturan dosis yang tepat dapat menyebabkan penumpukan unsur hara tertentu seperti nitrogen dan fosfor serta perubahan sifat kimia tanah. (Loh *et al.* 2013) dalam *Journal of Oil Palm Research* menegaskan bahwa efektivitas pemanfaatan POME sebagai pupuk cair sangat bergantung pada pengelolaan agronomis yang terkontrol dan monitoring kualitas tanah secara berkala. Tanpa pengawasan tersebut, potensi pencemaran air tanah melalui proses perkolasi tetap ada.

Selain itu, sistem kolam terbuka memiliki risiko kebocoran akibat degradasi struktur tanggul atau ketidaksempurnaan lapisan dasar kolam. Kebocoran dapat menyebabkan infiltrasi limbah ke dalam tanah dan mencemari air tanah maupun badan air di sekitar lokasi pengolahan (Ahmad *et al.*, 2003). Oleh karena itu, integritas konstruksi kolam dan sistem pelapisan kedap air menjadi faktor krusial dalam mencegah dampak lingkungan yang lebih luas.

Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, berbagai potensi risiko tersebut memiliki keterkaitan langsung dengan agenda global *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang ditetapkan oleh *United Nations*. Pengelolaan kolam limbah POME berkaitan erat dengan Tujuan 6 (*Clean Water and Sanitation*), khususnya target 6.3 yang menekankan peningkatan kualitas air melalui pengurangan pencemaran dan pengendalian pelepasan limbah berbahaya. Monitoring parameter BOD, COD, pH, serta kualitas air tanah secara periodik merupakan bentuk implementasi konkret dalam mendukung pencapaian target tersebut (Akinyemi *et al.*, 2024).

Lebih lanjut, potensi pemanfaatan metana sebagai sumber energi terbarukan sejalan dengan Tujuan 7 (*Affordable and Clean Energy*). (Lestari *et al.*, 2023) dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* menunjukkan bahwa konversi POME menjadi energi listrik tidak hanya menurunkan beban pencemar, tetapi juga meningkatkan kinerja keberlanjutan industri secara keseluruhan. Integrasi sistem penangkapan biogas pada kolam anaerobik dapat mengubah potensi emisi menjadi sumber energi produktif, sehingga mendukung transisi menuju energi bersih.

Aspek produksi yang bertanggung jawab juga berkaitan dengan Tujuan 12 (*Responsible Consumption and Production*). Penerapan *zero discharge* dan pemanfaatan kembali limbah mencerminkan efisiensi sumber daya dan pengurangan limbah pada tahap akhir produksi (Aguatina *et al.*, 2025). Namun, prinsip produksi berkelanjutan menuntut adanya pengelolaan limbah sepanjang siklus hidupnya, termasuk pengendalian residu dan pemantauan dampak jangka panjang terhadap tanah dan air (Rahman *et al.*, 2025).

Di sisi lain, pengendalian emisi metana memiliki relevansi langsung dengan Tujuan 13 (*Climate Action*). Pengembangan teknologi bioenergi dari POME terbukti efektif dalam mengurangi emisi metana dari kolam terbuka dan mendukung mitigasi perubahan iklim (Tan *et al.*, 2025). Upaya mitigasi melalui pemasangan *covered lagoon*, sistem flaring, atau pembangkit listrik berbasis biogas merupakan bentuk kontribusi industri dalam menurunkan emisi gas rumah kaca. Hal ini mencerminkan komitmen terhadap stabilitas iklim global dan keadilan antar generasi sebagaimana ditekankan dalam perspektif bioetik lingkungan.

Pengelolaan aplikasi POME ke lahan juga berkaitan dengan Tujuan 15 (*Life on Land*), yang menekankan perlindungan ekosistem darat dan penggunaan lahan secara berkelanjutan. Studi terbaru menunjukkan bahwa tanpa pengolahan yang tepat, limbah cair POME berpotensi memengaruhi kualitas air tanah dan lingkungan sekitarnya (Akinyemi *et al.*, 2024). Monitoring kualitas tanah, pengaturan dosis aplikasi, serta pembentukan zona penyangga antara lahan aplikasi dan sumber air merupakan langkah preventif untuk menjaga keseimbangan ekosistem darat.

Dengan demikian, evaluasi terhadap potensi emisi metana, akumulasi residu tanah, dan risiko kebocoran menunjukkan bahwa keberlanjutan pengelolaan kolam limbah tidak hanya diukur dari kepatuhan terhadap standar teknis dan kode etik, tetapi juga dari kontribusinya terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan. Integrasi antara prinsip bioetik lingkungan dan kerangka SDGs memperkuat legitimasi moral serta tanggung jawab sosial industri kelapa sawit dalam menjaga keseimbangan antara produktivitas ekonomi dan perlindungan lingkungan (Agustina *et al.*, 2025).

Pendekatan ini menegaskan bahwa pengelolaan limbah yang berkelanjutan bersifat dinamis dan memerlukan inovasi teknologi, monitoring ilmiah, serta komitmen etis yang berkelanjutan. Oleh karena itu, sistem kolam terbuka yang telah berjalan perlu terus dievaluasi dan ditingkatkan agar selaras dengan prinsip keberlanjutan global dan tanggung jawab ekologis jangka panjang.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil observasi lapangan dan kajian literatur ilmiah, sistem pengelolaan kolam limbah Palm Oil Mill Effluent (POME) melalui tahapan anaerobik dan aerobik telah memenuhi prinsip dasar pengolahan biologis serta mencerminkan penerapan konsep zero discharge. Praktik ini selaras dengan prinsip bioetik lingkungan, terutama tanggung jawab ekologis, pencegahan kerusakan, dan keberlanjutan sumber daya alam.

Namun demikian, sistem kolam terbuka masih menyimpan potensi risiko lingkungan, seperti emisi gas metana dari proses anaerobik, akumulasi residu akibat aplikasi jangka panjang di lahan, serta kemungkinan kebocoran yang dapat mencemari air tanah. Literatur dalam *Processes* menegaskan kontribusi kolam terbuka terhadap emisi gas rumah kaca, sementara *Journal of Oil Palm Research* menekankan pentingnya pengelolaan agronomis yang terkontrol. Pemanfaatan POME sebagai energi sebagaimana dibahas dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* menunjukkan bahwa integrasi teknologi dapat meningkatkan kinerja keberlanjutan industri.

Keterkaitan pengelolaan limbah dengan Sustainable Development Goals (SDGs) yang ditetapkan oleh United Nations menegaskan bahwa praktik ini tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga strategis dalam mendukung Tujuan 6, 7, 12, 13, dan 15. Oleh karena itu, pengelolaan kolam limbah harus dipandang sebagai proses dinamis yang memerlukan evaluasi berkelanjutan, inovasi teknologi, dan komitmen etis untuk menjamin perlindungan ekosistem serta keadilan antar generasi.

REFERENSI

- Ahmad, A. L., Ismail, S., & Bhatia, S. (2003). Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology. *Desalination*, 157(1–3), 87–95.
- Agustina, L., Suprihatin, S., Indrasti, N. S., & Prasetya, H. (2025). Implementing biogas technology as a liquid waste management strategy in palm oil mills to promote a

- circular economy. *Jurnal Teknologi & Industri Hasil Pertanian*, 30(2), 167–177. <https://doi.org/10.23960/jtihp.v30i2.167-177>
- Akinyemi, O. D., Adekunle, A. A., & Oladipo, O. G. (2024). Water quality and palm oil mill effluents: Analysis of the effect of palm oil mill effluents (POME) on bore-hole water. *Journal of Infrastructure Policy and Development*, 8(16). <https://doi.org/10.24294/jipd9379>
- Ariadhy, S., Y., & Arkum, D. (2023). Sustainable Palm Oil Governance A Case Study Of Sustainable Palm Oil Certification In Indonesia. *Advances in Biological Sciences Research*. 334-343. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-086-2_44
- Igwe, J. C., & Onyegbado, C. C. (2007). A review of palm oil mill effluent (POME) water treatment. *Global Journal of Environmental Research*, 1(2), 54-62.
- Lestari, F., Prasetya, H., Mahmud, J., Hambali, E., Yani, M., Machfud, ... & Marimin. (2023, March). Sustainability assessment of palm oil mills effluent utilization for electricity conversion. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1151(1), 1-9.
- Loh, S. K., Lai, M. E., Ngatiman, M., Lim, W. S., Choo, Y. M., Zhang, Z., & Salimon, J. (2013). Zero discharge treatment technology of palm oil mill effluent. *Journal of Oil Palm Research*, 25(3), 273-281.
- Mohammad, S., Baidurah, S., Kobayashi, T., Ismail, N., & Leh, C. P. (2021). Palm oil mill effluent treatment processes—A review. *Processes*, 9(5), 739. <https://doi.org/10.3390/pr9050739>
- Rahman, M. A., Ismail, M., & Hossain, S. (2025). Utilization of POME waste as a renewable energy source in the life cycle concept of palm oil biodiesel. *Journal of Earth Kingdom*, 2(2). <https://doi.org/10.61511/jek.v2i2.2025.1276>
- Tan, Y. H., Lim, J. S., Ho, W. S., & Hashim, H. (2025). Renewable bioenergy from palm oil mill effluent (POME): A sustainable solution for net-zero emissions in palm oil production. *Journal of Water Process Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107136>