

Literatur Review: Studi Kasus Pencemaran Industri Kelapa Sawit di Indonesia

Audina Yoeliarniza¹, Khairina², Firdus*³, Muhammad Nasir⁴, Alia Rizki⁵

^{1,2,4,5}Departemen Biologi, FMIPA, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

²Pusat Riset Lingkungan Hidup Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

e-mail: audina.yoeliarniza@gmail.com, khairinajm.rina@gmail.com, *firdus.usk@gmail.com,
m_nasir@usk.ac.id, alia_rizki@usk.ac.id

Abstrak

Industri kelapa sawit merupakan sektor strategis yang memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian Indonesia melalui penciptaan lapangan kerja dan peningkatan pendapatan masyarakat. Namun, ekspansi besar-besaran perkebunan kelapa sawit untuk memenuhi permintaan global telah menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan yang serius. Studi ini bertujuan untuk menganalisis jenis pencemaran yang dihasilkan oleh industri kelapa sawit, teknik pengelolaan limbah yang diterapkan, serta efektivitas kebijakan lingkungan dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Metode yang digunakan adalah analisis kualitatif dengan pendekatan 25 studi kasus yang berkaitan dengan Industri kelapa sawit di Indonesia. Penelusuran ini menunjukkan adanya pencemaran air, tanah, dan udara akibat limbah cair seperti Palm Oil Mill Effluent (POME), limbah padat, dan emisi gas hasil pembakaran. Kajian ini membahas berbagai aspek pencemaran yang dihasilkan oleh limbah kelapa sawit, serta solusi berkelanjutan yang dapat diterapkan untuk mengurangi dampak tersebut.

Kata kunci— Industri kelapa sawit; pencemaran lingkungan.

Abstract

The palm oil industry is a strategic sector that contributes significantly to the Indonesian economy through job creation and increasing people's income. However, the massive expansion of palm oil plantations to meet global demand has caused various serious environmental problems. This study aims to analyze the types of pollution produced by the palm oil industry, the waste management techniques applied, and the effectiveness of environmental policies in supporting sustainable development. The method used is a qualitative analysis with an approach of 25 case studies related to the palm oil industry in Indonesia. This investigation shows the existence of water, soil, and air pollution due to liquid waste such as Palm Oil Mill Effluent (POME), solid waste, and gas emissions from combustion. This study discusses various aspects of pollution produced by palm oil waste, as well as sustainable solutions that can be applied to reduce these impacts.

Keywords— Palm oil industry; environmental pollution.

1. PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit menjadi salah satu sektor utama dalam perekonomian di banyak negara tropis terutama di Indonesia dan Malaysia. Beberapa dekade terakhir terjadi lonjakan permintaan global terhadap minyak nabati terutama minyak kelapa sawit dan meningkatkan

perluasan besar-besaran dari perkebunan kelapa sawit [1]. Luas lahan kelapa sawit di Indonesia mencapai angka 15435,7 ribu hektar pada tahun 2023, kelapa sawit menjadi katagori dominan dibandingkan komoditas perkebunan lainnya [2]. Meskipun industri ini memberikan keuntungan besar terhadap perekonomian layaknya menciptakan lapangan kerja, meningkatkan pendapatan masyarakat, namun hal yang krusial yang ditimbulkan oleh praktik pertanian kelapa sawit tidak dapat diabaikan [3]. Ekspansi perkebunan kelapa sawit seringkali terjadi dengan mengorbankan hutan hujan tropis yang kaya akan keanekaragaman hayati yang berkontribusi pada deforestasi dan hilangnya habitat alami bagi banyak spesies [4]. Proses pengolahan kelapa sawit menghasilkan limbah yang terakumulasi di lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik maka dapat mencemari lingkungan [4,5].

Salah satu isu utama paling mencolok dari industri ini adalah pencemaran lingkungan mencakup pencemaran air, tanah, dan udara. Limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit yakni *Palm Oil Mill Effluent* (POME) menjadi salah satu penyebab utama pencemaran air di daerah sekitar perkebunan kelapa sawit [6]. POME mengandung bahan organik yang tinggi dan dapat menyebabkan penurunan kualitas air jika tidak dikelola dengan baik [7]. Selain itu, penggunaan pupuk kimia dan pestisida yang berlebihan dalam praktik pertanian kelapa sawit juga berpotensi mencemari tanah dan mengganggu ekosistem lokal. Limbah padat kelapa sawit yang tidak dikelola dapat menyebabkan penimbunan sampah, namun beberapa pabrik kelapa sawit melakukan proses pembakaran. Proses pembakaran menghasilkan gas emisi rumah kaca yang dapat mencemari udara [8].

Pemerintah telah menerapkan berbagai regulasi untuk mengatasi masalah ini akan tetapi implementasinya masih terkendala lemahnya pengawasan dan penegakan hukum beberapa pabrik kelapa sawit di Indragiri Hulu yang diduga beroperasi tanpa izin dan menerima buah sawit dari kawasan hutan yang berpotensi merusak lingkungan [9]. Penerapan kebijakan dan pengelolaan limbah memiliki peran penting dalam mengurangi pencemaran lingkungan yang dapat ditimbulkan. Selain mengurangi dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh limbah kelapa sawit, pengelolaan limbah dengan teknologi yang inovatif dapat membantu menghasilkan energi terbarukan sehingga limbah memiliki nilai ekonomi tanpa merusak lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian mengenai jenis pencemaran yang ditimbulkan, teknik dalam pengelolaan limbah, serta penerapan kebijakan yang dapat mendukung pencegahan pencemaran dan pembangunan berkelanjutan yang berdampak positif. Studi ini bertujuan untuk menganalisis pentingnya langkah-langkah tersebut dalam melindungi ekosistem serta mewujudkan industri yang lebih bertanggung jawab.

2. METODE PENELITIAN

Studi ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode analisis dokumen dari studi kasus yang pernah dilakukan oleh beberapa peneliti. Data dikumpulkan dari laporan penelitian sebelumnya, artikel jurnal, dan dokumen pemerintah terkait dampak lingkungan dari industri kelapa sawit yang terpublikasi dari tahun 2015-2025. Analisis dilakukan dengan mengidentifikasi pola pencemaran yang terjadi dan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan yang tersebar di seluruh Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data yang dihimpun 25 lokasi studi (Tabel 1) limbah pabrik kelapa sawit seperti *Palm Oil Mill Effluent* (POME) terbukti memberikan dampak signifikan terhadap berbagai komponen lingkungan. Dampak yang ditimbulkan mencakup pencemaran air, tanah, udara, gangguan terhadap kesehatan manusia, dan ekosistem. Variasi dampak ini mencerminkan lemahnya pengelolaan limbah pada pabrik kelapa sawit di Indonesia serta belum maksimalnya pengawasan terhadap aktivitas industri tersebut di berbagai daerah.

Tabel 1. Daftar titik lokasi studi kasus pencemaran Industri kelapa sawit di Indonesia

No.	Lokasi	Jenis Polutan	Dampak	Tahun Studi	Referensi
1.	Aceh	POME, tandan kosong, cangkang ke lahan gambut	Kerusakan lahan gambut dan pencemaran air tanah.	2014	[10]
2.	Di Sungai Krueng Mane Kabupaten Aceh Utara	POME	Pencemaran air kategori sedang	2016	[11]
3.	Kabupaten Labuhan Batu Selatan, Sumatera Utara	Pupuk kimia (anorganik)	pencemaran tanah	2016	[12]
4.	Desa Penyabungan, Kecamatan Merlung, Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Jambi	POME	Pencemaran air, kekeringan kerusakan ekosistem	2016	[13]
5.	Kabupaten Bangka	Limbah cair, <i>coliform</i>	Pencemaran air sungai	2016	[14]
6.	Kabupaten Seruyan, Kalimantan Tengah	POME, tandan kosong, serat, cangkang	Kerusakan ekosistem dan kesehatan masyarakat.	2017	[15]
7.	Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Jambi	POME, tandan kosong, serat, cangkang	pencemaran limbah cair	2017	[16]
8.	Kabupaten Tana Tidung	POME	Pencemaran udara dan pencemaran air	2019	[17]
9.	Desa Sidomulyo, Mesuji Raya Ogan Komering Ilir, Sumatera Selatan	unknown	Erosi tanah katagori sedang	2019	[18]
10.	Kabupaten Rokan Hulu, Riau	POME	Penurunan kualitas air dan kematian biota air.	2019	[19]
11.	Sungai Budong, Budong Sulawesi Barat	Limbah cair	pencemaran minyak lemak, COD, pH (cemar ringan)	2020	[20]
12.	Desa Y, Riau (Pt. X)	Limbah cair pabrik kelapa sawit (POME)	Pencemaran lingkungan sekitar, kematian ikan	2020	[21]
13.	Sungai Kahayan, Kabupaten Pulau Pisau	POME	Pencemaran air sungai, pencemaran bahan organik	2021	[22]
14.	Sungai Kapuas Kalimantan Barat	POME	Pencemaran sungai	2021	[23]
15.	Kecamatan Tapung Hulu, Kampar	POME	Pencemaran Sungai Tapung	2021	[24]
16.	Kabupaten Paser, Kalimantan Timur	POME	Penurunan kualitas air dan kematian biota air.	2021	[25]
17.	Sungai Manunggul Estate (SMGE),	Limbah padat kelapa sawit	Pencemaran tanah, pencemaran sungai	2022	[26]

	Desa Sang-Sang, Kelumpang Tengah, Kotabaru, Kalimantan Selatan	(tandan kosong)			
18.	Sungai Bawang, Kuantan Singingi, Riau	POME bocor ke sungai	Ikan mati dan bau tak sedap.	2022	[27]
19.	Di Pahu Makmur Palm Oil Mill (PMPOM), Kecamatan Jempang, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur.	POME	Cemaran BOD, COD, <i>Global Warming</i> , eutrofikasi, <i>Respiratory Organics</i> (kesehatan manusia)	2022	[28]
20.	Kecamatan Pedanda Kabupaten Pasangkayu	POME, asap pembakaran limbah padat	Tercemarnya sungai, air sumur, polusi udara	2022	[29]
21.	Kecamatan Sungai Beremas Kabupaten Pasaman Barat	POME, Pembakaran tandan	Pencemaran air dan udara	2023	[30]
22.	Kabupaten Kuantan Singingi	POME, tandan kosong, pembakaran limbah	Pencemaran udara, air dan tanah.	2023	[31]
23.	Nagan Raya Kabupaten Aceh Timur, Aceh	POME	Penurunan kualitas air dan pencemaran limbah cair	2023	[6]
24.	Kabupaten Indragiri Hulu (Inhi), Riau	Asap Pabrik, Lindi, POME	Kerusakan kualitas air, kebisingan, mencemari tanah dan ekosistem	2024	[9]
25.	Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan	POME, tandan kosong, serat, cangkang	Kerusakan ekosistem dan kesehatan masyarakat.	2024	[32]

Jenis limbah yang paling dominan ditemukan dalam berbagai kasus adalah POME. Limbah ini umumnya mengandung zat organik dalam konsentrasi tinggi seperti BOD dan COD yang sangat berpotensi mencemari perairan jika dibuang tanpa pengolahan yang memadai. Beberapa wilayah yang mencatat dampak serius akibat POME antara lain Kabupaten Tana Tidung yang mengalami pencemaran udara. Kabupaten Rokan Hulu yang menunjukkan kematian biota air. Kabupaten Kuantan Singingi yang terdampak pada tiga aspek sekaligus (udara, air, dan tanah). Data ini menunjukkan bahwa keberadaan POME sebagai limbah utama perlu menjadi perhatian dalam sistem pengolahan limbah industri sawit.

Pencemaran air akibat pembuangan POME telah menyebabkan penurunan kualitas air yang signifikan yang menyebabkan kematian biota air. Contohnya terlihat di Sungai Krueng Mane, Kabupaten Aceh Utara, Kabupaten Paser di Kalimantan Timur dan Sungai Kahayan di Pulau Pisau, Kalimantan Tengah. Limbah POME yang belum melalui proses pengolahan menyebabkan terganggunya ekosistem sungai serta berpotensi mengganggu sumber air bersih masyarakat sekitar. Disamping pencemaran air, pembakaran limbah padat seperti tandan kosong juga menimbulkan pencemaran udara. Proses pembakaran ini menghasilkan asap berbahaya yang dapat mencemari udara sekitar dan memicu gangguan pernapasan bagi masyarakat. Contoh kasus terjadi di Kabupaten Pasaman Barat, Kabupaten Kuantan Singingi dan

Pasangkayu, Sulawesi Barat. Polusi udara ini tidak hanya mencemari lingkungan akan tetapi juga menjadi sumber risiko kesehatan yang cukup serius.

Limbah padat yang dibuang ke tanah tanpa pengolahan juga berkontribusi terhadap pencemaran tanah dan bahkan merusak lahan gambut. Misalnya di Aceh, limbah sawit dibuang ke lahan gambut dan menyebabkan kerusakan ekologis yang parah. Kondisi serupa ditemukan di Kabupaten Labuhan Batu Selatan, Desa Sidomulyo, Mesuji Raya, Sumatera Selatan yang mengalami pencemaran tanah dan erosi akibat aktivitas pabrik kelapa sawit. Dampak ini berpotensi mengurangi kesuburan tanah dan mempengaruhi produksi pertanian di daerah terdampak. Selain pencemaran lingkungan, berbagai studi juga menyoroti dampak limbah sawit terhadap kesehatan masyarakat dan aspek sosial ekonomi. Di Kabupaten Musi Banyuasin dan Kabupaten Seruyan dimana masyarakat mengalami gangguan kesehatan akibat udara tercemar, air sumur yang tidak layak konsumsi dan kebisingan pabrik. Gangguan tersebut tidak hanya menurunkan kualitas hidup berefek juga pada produktivitas kerja, beban biaya pengobatan, serta terganggunya kegiatan ekonomi yang bergantung pada lingkungan bersih.

Pencemaran yang ditimbulkan oleh limbah kelapa sawit dapat memberikan dampak serius terhadap kesehatan masyarakat. Misalnya, kualitas air yang buruk dapat memicu penyakit kulit dan gangguan pencernaan [33]. Selain itu, emisi pencemaran udara akibat pembakaran limbah juga terkait dengan masalah pernapasan [4]. Emisi CO₂ dari memproses minyak sawit mentah menghasilkan produk limbah, disebut sebagai CPO. Elemen POME adalah cairan tebal dan kecoklatan yang mengandung air (95%-96%), minyak (0,6%-0,7%), dan terdiri dari 4%-5% padatan sisa yang diperoleh dari bahan kelapa sawit. POME dikenal memiliki kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang sangat tinggi, dengan nilai COD yang bisa melebihi 80.000 mg/L [34]. Sumber utama limbah ini berasal dari air kondensat hasil rebusan, air cucian sisa pemisahan sludge, serta buangan dari hidrocyclone, yang terjadi di berbagai tahap pengolahan CPO di stasiun inti. Setiap ton Tandan Buah Segar (TBS) yang diproses dapat menghasilkan sekitar 0,6-1,0 m³ POME [35].

Terdapat beberapa dampak lingkungan dari POME yang teridentifikasi di Pahu, di antaranya adalah dampak tidak langsung terhadap pemanasan global [28]. Dampak kedua yang ditemukan adalah eutrofikasi, dengan beban pencemaran yang mencapai 33.622,8 kg PO₄eq/hari, disebabkan oleh kontribusi emisi COD dan total nitrogen. Dampak ketiga berkaitan dengan pencemaran udara akibat senyawa organik yang mempengaruhi sistem pernapasan, di mana emisi gas metana (CH₄) dari sumber biogenik menjadi faktor utama. Proses sludge pit bertanggung jawab atas dampak yang paling signifikan, dengan 37,8% dari itu disebabkan oleh kerusakan bahan organik biologis yang menghasilkan biogas metana. POME yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan eutrofikasi, yang mengakibatkan pertumbuhan alga berlebih dan penurunan kadar oksigen di dalam air [36]. Salah satu solusi untuk mengelola POME secara berkelanjutan adalah dengan membangun digester anaerobik yang mampu menangkap biogas hasil dekomposisi limbah. Gas ini kemudian dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg). Dengan penerapan metode ini, emisi gas buang ke atmosfer dapat diminimalkan, yang tentunya memberikan manfaat bagi lingkungan, ekonomi, dan masyarakat [28]. Selain itu, produksi biogas dapat ditingkatkan hingga mencapai 40% melalui metode anaerobik [37].

Limbah cair organik dari pabrik kelapa sawit dapat meningkatkan kadar BOD dan COD di badan air, yang pada gilirannya menurunkan kualitas air dan mengancam kehidupan akuatik [38]. Oleh karena itu, penting bagi limbah cair ini untuk diolah di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sebelum dibuang ke lingkungan [7]. Selain itu, proses pengolahan kelapa sawit juga menghasilkan limbah padat seperti tandan kosong, cangkang, serta serabut dan sisa-sisa lainnya. Tandan kosong dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik atau bahan bakar, sehingga mengurangi volume limbah yang dibuang [39]. Namun, jika dibiarkan tanpa pengelolaan yang baik, tandan kosong dan cangkang berpotensi menyebabkan penumpukan bahan organik yang merusak struktur tanah [40]. Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dalam perkebunan

kelapa sawit juga dapat berdampak negatif, menyebabkan pencemaran tanah dan penurunan kesuburan [41].

Pupuk organik dapat diproduksi melalui proses pirolisis yang menghasilkan biochar [42]. Tandan kosong kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar alternatif yang mampu menghasilkan energi hingga 13,182 MJ [43]. Cangkang kelapa sawit memiliki potensi sebagai bahan tambahan dalam semen untuk memperkuat struktur bangunan [44]. Selain itu, serabut kelapa sawit juga dapat meningkatkan sifat mekanik fiberglass [45].

Oleh karena itu, sangat penting untuk menerapkan kebijakan dan regulasi yang efektif dalam pengelolaan limbah kelapa sawit, agar praktik yang berkelanjutan dapat terwujud dan dampak negatif terhadap lingkungan dapat diminimalisir. Salah satu langkah strategis yang bisa diambil adalah dengan memenuhi sertifikasi ISPO (Indonesian Sustainable Palm Oil), yang mengharuskan perusahaan untuk menerapkan sistem pengolahan limbah anaerobik guna menurunkan emisi metana [27]. Meskipun sejumlah perusahaan telah berhasil memperoleh sertifikasi ISPO, masih ada perusahaan kecil yang belum mematuhi regulasi ini, sering kali karena keterbatasan dana dan akses ke [46]. Oleh karena itu, pemerintah perlu memberlakukan regulasi yang lebih ketat dalam pengelolaan limbah kelapa sawit, khususnya bagi perusahaan yang berkomitmen pada praktik berkelanjutan [4].

4. KESIMPULAN

Pencemaran limbah kelapa sawit merupakan tantangan besar bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat. Dengan penerapan solusi berkelanjutan dan pengelolaan limbah yang baik, dampak negatif dari limbah kelapa sawit dapat diminimalkan, sehingga industri kelapa sawit dapat berkontribusi pada pembangunan ekonomi yang berkelanjutan.

5. SARAN

Dalam literatur yang telah dianalisis, terdapat beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan untuk meningkatkan pemahaman dan kontribusi akademik terhadap pencemaran industri kelapa sawit di Indonesia. Oleh karena itu, beberapa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya dilakukan kajian tentang inovasi teknologi dalam pengelolaan limbah kelapa sawit yang masih terbatas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada tim jurnal atas kontribusi ilmiah yang sangat berharga. Penelitian yang disajikan dalam jurnal ini memberikan wawasan yang mendalam serta data yang sangat relevan bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang ini. Semoga hasil penelitian ini terus menjadi referensi yang bermanfaat bagi akademisi dan praktisi di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gultom, Y. S. M. (2023). Perdagangan Minyak Sawit Indonesia ke India: Analisis Ecologically Unequal Exchange. *Indonesian Perspective*, 8(2), 286-311. 1
- [2] Badan Pusat Statistik. (2023). Luas Tanaman Perkebunan 2021-2023. Diakses pada tanggal 12 Februari 2025 <https://sumsel.bps.go.id/indicator/54/414/1/luas-tanaman-perkebunan.html>

- [3] Angga, M. A., Nuraeni., & Ilsa, M. (2021). Dampak keberadaan perusahaan kelapa sawit terhadap kondisi sosial, ekonomi dan lingkungan masyarakat (studi kasus perusahaan kelapa sawit di Desa Tobadak, Kecamatan Tobadak, Kabupaten Mamuju Tengah). *WIRATANI: Jurnal Ilmiah Agribisnis*, 4(1).
 - [4] Hidayah, M. R. (2025). Dampak Perkebunan Kelapa Sawit terhadap Lingkungan: Menyeimbangkan Risiko Ekologis dengan Keuntungan Ekonomi. *Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumihan, Ilmu Perkapalan*, 3(1), 90-94.
 - [5] Danylo, O., Pirker, J., Lemoine, G., Ceccherini, G., See, L., McCallum, I., Hadi, F., Kraxner, F., & Fritz, S. (2021). A map of the extent and year of detection of oil palm plantations in Indonesia, Malaysia and Thailand. *Scientific Data*, 8(96). <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00867-1>.
 - [6] Viena, V., Bahagia, Nurlaini, & Juanda, R. (2023). Efektivitas Penurunan COD, BOD dan TSS Limbah Industri Sawit Menggunakan Koagulan Kimia dan Ekstrak Alami Pati Pelepah Sawit. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(1), 4931–4939.
 - [7] Alpendari, H., & Prakoso, T. (2021). Tindakan pengembalian limbah pabrik kelapa sawit sebagai upaya memaksimalkan zero waste (Palm oil mill waste return measures as an effort to maximize zero waste). *AGRISINTECH: Journal of Agribusiness and Agrotechnology*, 2(2), 48-58.
 - [8] Azzahro, H. U., Indrasti, N. S., & Ismayana, A. (2022). Penerapan produksi bersih pada industri kelapa sawit di PT YZ. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32(1), 1-11.
 - [9] Alfiani, D. L. N., Rofita, H. D., Efendi, I., & Fatmawati. (2024). Dampak pembuangan limbah pabrik industri kelapa sawit terhadap keberlangsungan hidup masyarakat di Kabupaten Indragiri Hulu. *Scientica: Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi*, 3(1), 773–780.
 - [10] Sulistiyanto, Y., Amelia, V., & Kamillah, R. M. A. (2015). Perubahan sifat kimia tanah gambut setelah pemberian limbah pabrik kelapa sawit (changes of chemical properties of peat soil after given waste of oil palm mill). *Jurnal AGRI PEAT*, 16(2), 114-121.
 - [11] Muliari, & Zulfahmi, I. (2016). Dampak limbah cair kelapa sawit terhadap komunitas fitoplankton di Sungai Krueng Mane Kabupaten Aceh Utara (Impact of Palm Oil Mill Effluent Towards Phytoplankton Community in Krueng Mane River, North Aceh). *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 6(2), 137-146.
 - [12] Tampubolon, K., Vika, M., & Debora. (2019). Dinamika P-tersedia pada limbah cair kelapa sawit dengan beberapa land application (The dynamics of P-available from palm oil mill effluent with several land application). *Jurnal Kultivasi*, 18(2), 869-875.
 - [13] Utami, R., Putri, E. I. K., & Ekayani, M. (2017). Dampak Ekonomi dan Lingkungan Ekspansi Perkebunan Kelapa Sawit (Studi Kasus: Desa Penyabungan, Kecamatan Merlung, Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Jambi) (Economy and Environmental Impact of Oil Palm Plantation Expansion (Case Study: Penyabungan Village, Merlung Sub-District, West Tanjung Jabung Barat District, Jambi)). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 22(2), 115-126. <https://doi.org/10.18343/jipi.22.2.115>.
 - [14] Zahara, S., Umroh, U. and Utami, E. (2018). Pengaruh buangan limbah cair pabrik kelapa sawit terhadap kualitas air Sungai Mabat Kabupaten Bangka. *Akuatik: Jurnal Sumberdaya Perairan*, 10(1), pp. 21-25.
 - [15] Triwandoyo, D., Astuti, Y. T. M., Purwadi., & Wilsiani, F. (2021). Kajian ketaatan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun pada perkebunan kelapa sawit di kabupaten seruyan. *Jurnal pastika*, 6(1).
 - [16] Saputra, F., Tampubolon, G., & Mahbub, I. A. (2021). Pengaruh aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit terhadap serapan hara N, P, dan K pada tanaman kelapa sawit. *J. Agroecotenia*, 4(2), 51-62.
-

- [17] Abidin, Z. (2019). Analisis Dampak Keberadaan Perkebunan Kelapa Sawit Di Kecamatan Sesayap Hilir Kabupaten Tana Tidung (Studi Kasus Pt. Teknik Utama Mandiri). Program Studi Agribisnis Fakultas Pertanian Universitas Borneo Tarakan 2020.
- [18] Priatna, S.J., & Sepriansyah, A. (2024). Soil erosion sensitivity of rubber plant, oil palm, and teak in Ogan Komering Ilir district. *Jurnal Lahan Suboptimal : Journal of Suboptimal Lands*. 13 (2): 138–144. <https://doi.org/10.36706/JLSO.13.2.2024.698>.
- [19] Badrun, Y., Mubarak, S., Retnawati, S. F., Fauzi, M. R., Harahap, I., & Anggraini, D. A. (2019). Analisis pencemaran Sungai Rokan akibat kegiatan pabrik kelapa sawit. *Prosiding SainsTeKes Semnas MIPAKes UMRI*, 1(1), 24-36.
- [20] Syamriati. (2021). Kajian dampak limbah kelapa sawit terhadap kualitas perairan Sungai Budong-Budong Sulawesi Barat (A Study on the Impact of Palm Oil Waste Industry on Water Quality in the Budong-Budong River, West Sulawesi). *Jurnal Ecosolum*, 10(1), <https://doi.org/10.20956/ecosolum.v10i1.13367>
- [21] Anugrah, T., & Usmita, F. (2022). Pencemaran lingkungan hidup oleh limbah pabrik kelapa sawit (Studi kasus pada PT. X di Desa Y Kabupaten Kuantan Singingi tahun 2020). *Sisi Lain Realita: Jurnal Kriminologi Universitas Islam Riau*, 7(2), 26–42.
- [22] Hermawan, D., Ardianor, Redin, H., & Sinaga, S. (2024). Analisis beban pencemar maksimum air limbah kelapa sawit menggunakan model qual2kw di sungai kahayan kabupaten pulang pisau. *Journal of Comprehensive Science*, 3(3), 689-701.
- [23] Anggraini, I. M., Parabi, A., & Widodo, M. L. (2023). Status pencemaran Sungai Kapuas Kalimantan Barat. *E-Journal Teknologi Infrastruktur*, 2(1), 44-52.
- [24] Mayshito, S. (2021). Pencemaran Limbah Pabrik Kelapa Sawit (Studi Kasus PT X di Kabupaten Kampar). Tesis.Universitas Islam Riau.
- [25] Mulyanto, A., Nasihin, I., Herlina, N., & Nurdin. (2023). Pengaruh limbah cair kelapa sawit terhadap kualitas air tanah di PT. Nusantara Sawit Persada. *Logika: Jurnal Penelitian Universitas Kuningan*, 14(01), 74-79.
- [26] Anthonio, M., Hastuti, P. B., & Firmansyah, E. (2023). Studi kasus dekomposisi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) di antara pokok kelapa sawit di Perkebunan PT. Mitranusa Permata Sungai Manunggal Estate (SMGE) Kalimantan Selatan. *Agroforetech*, 1(3), 1338-1349.
- [27] Sari, M. I., Hadi, S., & Rosnita. (2022). Analisis capaian ISPO (Indonesian Sustainable Palm Oil) perkebunan kelapa sawit pola swadaya di Kabupaten Rokan Hulu. *Jurnal Agribisnis*, 24(1), 113–126.
- [28] Alfaridho, M. I., Rahayu, D. E., & Sarwono, E. (2023). Analisis Life Cycle Assessment (LCA) pada pengolahan air limbah di Pahu Makmur Palm Oil Mill [Life Cycle Assessment (LCA) analysis of wastewater treatment at Pahu Makmur Palm Oil Mill]. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 116–126.
- [29] Zulfahmi, Syafrudin, & Priyambada, I. B. (2023). Pengaruh buangan limbah cair perkebunan sawit terhadap indeks pencemaran sungai pasangkayu di kecamatan pedanda, kabupaten pasangkayu (*The Effect of Liquid Waste of Palm Oil Plantations on Pollution Index of Pasangkayu River in Pedanda Sub District of Pasangkayu District*). *Agroland: jurnal ilmu-ilmu pertanian*, 30(2), 172-180. <https://doi.org/10.22487/agrolandnasional.v30i2.1766>.
- [30] Hafiz, M., Putri, R. E., & Ulmi, A. Z. P. (2025). Analisis lahan perkebunan kelapa sawit di kecamatan sungai beremas kabupaten pasaman barat tahun. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, 8(1), 2514-2522. <https://doi.org/10.31004/jrpp.v8i1.40517>.
- [31] Indriyani, A., & Sadad, A. (2023). Pengawasan limbah sawit oleh dinas lingkungan hidup kabupaten kuantan singingi (Studi Kasus Pencemaran Sungai Bawang Oleh PT. Sun). *JRP: Jurnal Relasi Publik*, 1(3), 1-14. <https://doi.org/10.59581/jrp-widyakarya.v1i2.706>.
-

- [32] Hanifah, I. (2024). Dampak keberadaan perkebunan sawit terhadap kondisi sosial ekonomi masyarakat Desa Muara Merang, Kecamatan Bayung Lencir, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan (Studi pada Perusahaan Kelapa Sawit PT. Mentari Subur Abadi). Tesis, Institut Pertanian STIPER Yogyakarta.
- [33] Suryaningsih, D. J., Djunu, S., Saleh, E. J., & Srisukmawati, Z. (2021). Kompos Berbahan Dasar Lumpur Sawit menggunakan Microbakter Alfaafa (M-11) Bagi Masyarakat. *Jambura Journal of Husbandry and Agriculture Community Serve (JJHCS)*, e-ISSN, 1(1), 2809-2716.
- [34] Ilmannafian, A. G., Lestari, E., & Khairunisa, F. (2020). Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit dengan metode filtrasi dan fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), 244–253. <https://doi.org/10.29122/jtl.v21i2.4012>.
- [35] Nugroho, A. (2019). Teknologi Agroindustri Kelapa Sawit. In Lambung Mengkurat Universitas Press (1st ed., Issue August). Lambung Mengkurat Universitas Press.
- [36] Bala, D. J., Lalung, J., & Ismail, N. (2014). Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment: Microbial Communities in an Anaerobic Digester. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(6), 1-24.
- [37] Anwar, D., Simanjuntak, E. E., Sitepu, I., Kinda, M. M., Nainggolan, E. A., & Wibowo, Y. G. (2024). Thermophilic digestion of palm oil mill effluent: Enhancing biogas production and mitigating greenhouse gas emissions. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 21(3), 734–746.
- [38] Gusrawaldi, M., Parinduri, L., & Suliawati. (2020). Perencanaan Pemanfaatan Limbah Cair Untuk Pembangkit Listrik Pabrik Kelapa Sawit. *Journal of Electrical Technology*, 5(1), 38-42.
- [39] Susilawati, Supijatno, Pengelolaan Limbah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Perkebunan Kelapa Sawit, Riau, Bul. *Agrohorti*, 2015: 3 (2): 203-212.
- [40] Silalahi, B. M., & Supijatno. (2017). Pengelolaan Limbah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Perkebunan Kelapa Sawit, Riau. Bul. *Agrohorti*, 3(2), 203-212.
- [41] Setiawan, I., Septiana, M., & Ratna. (2020). Pengaruh aplikasi limbah lumpur padat (sludge) pabrik kelapa sawit terhadap sifat kimia tanah podsolik merah kuning di Kotawaringin Barat. *Agrotek View*, 3(2), 28-36.
- [42] Febriyanti, F., Fadila, N., Sanjaya, A. S., Bindar, Y., & Irawan, A. (2019). Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi biochar, bio-oil dan gas dengan metode pirolisis. *Jurnal Chemurgy*, 3(2), 12-17.
- [43] Arifandy, M. I., Cynthia, E. P., Muttakin, F., & Nazaruddin, N. (2021). Potensi limbah padat kelapa sawit sebagai sumber energi terbarukan dalam implementasi indonesian sustainability palm oil. *Sitekin: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, 19(1), 116-122.
- [44] Simanjuntak, J. O., Saragih, T. E., Lumbangaol, P., & Panjaitan, S. P. (2020). Beton bermutu dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah abu cangkang sawit. *Jurnal Darma Agung*, 28(3), 387-401.
- [45] Hutabarat, U., I., J. (2014). Sifat Mekanik Komposit Fiber Glass Dengan Penguat Serat Sabut Buah Kelapa Sawit Berorientasi Presentase Jumlah Serat Secara Random. *Politeknik Medan*, 8 (2), 18–27.
- [46] Guisandro, J., Hutabarat, S., & Hadi, S. (2024). Analisis pembiayaan sertifikasi Indonesian Sustainable Palm Oil (ISPO) oleh pekebun kelapa sawit swadaya di Kabupaten Rokan Hulu. *Jurnal Triton*, 15(2), 526–537. <https://doi.org/10.47687/jt.v15i2.765>.
-