

DAMPAK APLIKASI PUPUK BERBASIS LIMBAH *PALM OIL MILL EFFLUENT* (POME) TERHADAP KUALITAS TANAH DAN AIR TANAH DI PERKEBUNAN SAWIT

Maria Aurellia Stefani¹, Elva Yollanda Rituripa², Isna Apriani³
d1051221010@student.untan.ac.id¹, d1051221048@student.untan.ac.id²,
isna.apriani@yahoo.co.id³
Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Penggunaan pupuk berbasis limbah Palm Oil Mill Effluent (POME) dalam perkebunan sawit menawarkan manfaat dalam meningkatkan produktivitas tanaman melalui suplai hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Namun, penerapan POME yang tidak terkelola dengan baik berpotensi menurunkan kualitas lingkungan, terutama tanah dan air tanah, akibat akumulasi senyawa organik. Studi ini mengkaji literatur yang relevan mengenai dampak aplikasi POME terhadap parameter kimia tanah dan kualitas air tanah. Hasil menunjukkan bahwa konversi hutan menjadi perkebunan sawit mengurangi kadar karbon organik tanah hingga 42%, sementara infiltrasi senyawa toksik dari POME meningkatkan risiko pencemaran air tanah. Kesimpulan penelitian menyoroti perlunya integrasi teknologi pengolahan limbah dan pemantauan berkala guna memastikan keberlanjutan ekosistem serta keseimbangan antara produktivitas pertanian dan perlindungan lingkungan.

Kata Kunci: Pupuk, Limbah POME, Pencemaran Tanah, Kontaminasi Air Tanah, Perkebunan Kelapa Sawit.

ABSTRACT

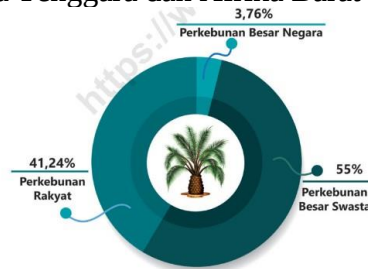
The use of fertilizers based on Palm Oil Mill Effluent (POME) in oil palm plantations offers benefits in enhancing plant productivity through the supply of macro nutrients like nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K). However, poorly managed application of POME poses a potential risk to environmental quality, especially concerning soil and groundwater, due to the accumulation of organic compounds. This study reviews relevant literature regarding the effects of POME application on soil chemical parameters and groundwater quality. The results indicate that the conversion of forests to oil palm plantations reduces soil organic carbon content by up to 42%, while the infiltration of toxic compounds from POME raises the risk of groundwater pollution. The study's conclusion emphasizes the need for integrating waste management technologies and regular monitoring to ensure ecosystem sustainability and achieve a balance between agricultural productivity and environmental protection.

Keywords: Fertilizer, POME Waste, Soil Pollution, Groundwater Contamination, Palm Oil Plantations.

PENDAHULUAN

Perkebunan kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan komoditas strategis global, yang menyumbang 35% produksi minyak nabati global (Maharani et al., 2018). Produktivitasnya yang tinggi menjadikan kelapa sawit banyak digunakan pada industri makanan, biodiesel, kosmetik, tekstil dan farmasi. Permintaan global terhadap minyak kelapa sawit terus meningkat sehingga luas perkebunan kelapa sawit dari tahun ke tahun terus meningkat. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2022, total luas areal kelapa sawit perkebunan indonesia adalah 15.338.556 Ha dengan jumlah produksi kelapa sawit sebanyak 46.819.672 ton. Perkebunan kelapa sawit memproduksi tandan buah segar (TBS) yang selanjutnya diolah di pabrik kelapa sawit (PKS) menjadi minyak sawit mentah (CPO) dan berbagai produk turunannya. Seiring dengan terus meningkatnya permintaan minyak

kelapa sawit di seluruh dunia, perkebunan kelapa sawit terus meluas dan intensif di berbagai negara tropis, terutama di Asia Tenggara dan Afrika Barat (Okereke & Ginikanwa, 2020).



Gambar 1. Status Pengusahaan Kebun Sawit di Indonesia tahun 2021

Sumber: <https://arvis.id/insight/status-pengusahaan-kebun-sawit/>

Kegiatan ini menghasilkan sejumlah besar limbah cair dari pabrik kelapa sawit atau limbah cair pabrik kelapa sawit (POME), yang dapat menyebabkan masalah lingkungan yang serius jika tidak dikelola dengan baik (Okereke & Ginikanwa, 2020). Pemanfaatan POME terbukti dapat meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanaman kelapa sawit dengan meningkatkan kandungan unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, serta kandungan bahan organik tanah (Ipinmoye et al., 2023). Namun, pemanfaatan POME tanpa pengolahan yang tepat justru menimbulkan paradoks produktivitas (Nta et al., 2020). Di satu sisi, POME meningkatkan hasil panen, tetapi di sisi lain berpotensi mencemari lingkungan sekitar perkebunan, terutama tanah dan air tanah (Okereke & Ginikanwa, 2020). Kondisi ini terjadi karena air limbah dari industri pengolahan minyak kelapa sawit mengandung konsentrasi tinggi bahan organik, termasuk nilai Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) serta kandungan minyak dan lemak. Apabila tidak ditangani secara tepat, limbah cair tersebut berpotensi meresap ke dalam tanah dan mencemari sumber air tanah.

Studi menunjukkan bahwa konversi hutan menjadi perkebunan sawit dapat mengurangi karbon organik tanah secara signifikan hingga 42%, sehingga berdampak pada penurunan fungsi ekologis tanah (Okereke & Ginikanwa, 2020). Selain itu, POME mengandung senyawa organik (BOD 4.522–5.270 mg/L, COD tinggi) dan logam berat seperti magnesium, kadmium, dan tembaga, yang dapat terakumulasi di tanah dan air tanah serta melampaui baku mutu air bersih (Nta et al., 2020); (Daundi et al., 2022); (Effiong, 2024). Ketika senyawa beracun dari POME meresap ke dalam air tanah dan mencemarnya, hal ini tidak hanya mengurangi kualitas air minum dan air irigasi, tetapi juga berdampak negatif pada kesehatan masyarakat dan keberlanjutan ekosistem di sekitar pertanian (Effiong, 2024); (Gemma & Wahyuni, 2021). Namun, manfaat penggunaan POME sebagai pupuk masih signifikan, sehingga memerlukan integrasi teknologi pengolahan limbah dan pemantauan lingkungan secara berkala untuk menyeimbangkan produktivitas dan keberlanjutan lingkungan (Nta et al., 2020); (Okereke & Ginikanwa, 2020).

METODOLOGI

Metode penelitian ini menggunakan studi literatur sistematis terhadap sumber-sumber yang relevan, dengan teknik analisis deskriptif kualitatif yang mencakup analisis parameter kimia tanah serta kualitas air tanah. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari sumber-sumber yang telah tersedia dan relevan guna mendukung analisis parameter kimia pencemar. Data sekunder tersebut mencakup standar baku mutu kualitas air dan tanah baik nasional maupun internasional, serta laporan lingkungan yang berkaitan dengan pengelolaan limbah cair pabrik kelapa sawit dan hasil penelitian terdahulu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari beberapa jurnal menunjukkan bahwa POME (Palm Oil Mill Effluent) berpotensi mencemari tanah dan air tanah. Beberapa parameter yang diuji menunjukkan hasil yang melebihi baku mutu yang ditetapkan sehingga jika pupuk berbasis POME tidak digunakan dengan tepat guna maka akan mencemari lingkungan sekitar

Pencemaran Tanah Akibat POME (Palm Oil Mill Effluent)

Pembuangan POME secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan degradasi sifat fisik dan kimia tanah, seperti penurunan pH, peningkatan kandungan logam berat, dan akumulasi unsur hara berlebihan yang merusak kesuburan tanah dan keseimbangan ekosistem.

Tabel 1. Parameter Pencemar Tanah Akibat POME

Parameter	Hasil (Rentang)
pH tanah	5,0-6,50
Kadar Mg (mg/kg)	0,39 (mg/kg)
Kadar Cd (mg/kg)	0,15-0,16 (mg/kg)
<i>Total Organic Carbon</i> (%)	1,06-4,10 (%)
Fosfor (mg/kg)	63,50 (mg/kg)
<i>Potassium</i> (cmolc/kg)	12,26 (cmolc/kg)
Total N (%)	5,0 (%)

(Sumber : (Ezenwelu et al., 2024);(Thompson-morrison et al., 2023);
(Nta et al., 2020);(Karim et al., 2022))

Hasil dari beberapa jurnal menunjukkan bahwa POME (Palm Oil Mill Effluent) berpotensi mencemari tanah dan air tanah. Beberapa parameter yang diuji menunjukkan hasil yang melebihi baku mutu yang ditetapkan sehingga jika pupuk berbasis POME tidak digunakan dengan tepat guna maka akan mencemari lingkungan sekitar. Berdasarkan hasil uji pH tanah rentang 5,0-6,50 (Karim et al., 2022), hal ini disebabkan terdapat beberapa zona pengambilan sampel sehingga nilai pH pada tiap titiknya bervariasi tergantung pemakaian dosis pupuk berbasis POME. Berdasarkan Pusat Penelitian Tanah dari Departemen Pertanian (1983), pH tanah tersebut dikategorikan asam-agak asam (Martunis et al., 2019). Dan jika dibandingkan dengan (EU Soil Health Law, 2023) yang kisaran optimal pertanian berkisar 6,0-7,5 maka tentu saja kondisi tersebut mengkhawatirkan bagi kondisi tanah di perkebunan jika dilakukan secara terus menerus tanpa ada perbaikan. Dengan demikian, untuk memperbaiki pH tanah dengan amandemen organik, penerapan dosis yang tepat dapat memengaruhi perubahan signifikan pada pH tanah (Karim et al., 2022). Untuk kadar Mg yang hanya di rentang 0,39 mg/kg dapat dikategorikan sangat rendah. Kadar Mg yang rendah dapat menyebabkan defisiensi Mg pada tanaman, terutama karena Mg berperan penting dalam proses fotosintesis dan metabolisme tanaman (Hauer-Jákli & Tränkner, 2019). Kadar Cd 0,15–0,16 mg/kg termasuk rendah dan di bawah baku mutu tanah (EU Soil Health Law, 2023) (0,2–1,5 mg/kg) (Ballabio et al., 2023) dan SNI 6250:2021 pada batas 0,5 mg/kg.

TOC 1,06–4,10% menunjukkan kandungan organik rendah akibat degradasi tanah dari konversi hutan (Brindis-Santos et al., 2021). Sebagian area masih di bawah 2% (FAO, 2010), sehingga mengancam kesuburan alami tanah. POME meningkatkan TOC melalui bahan organik terdekomposisi, tetapi tidak seimbang dengan kehilangan karbon akibat erosi (penurunan 42% dibanding hutan) (Scaccabarozzi et al., 2020); (Brindis-Santos et al., 2021). TOC rendah mengurangi kapasitas retensi air dan nutrisi, memicu ketergantungan pada pupuk sintetis (Putra et al., 2025). Fosfor 63,50 mg/kg tergolong sangat tinggi (ambang normal: 15–30 mg/kg) akibat aplikasi pupuk POME berlebihan (Scaccabarozzi et al., 2020);

(Brindis-Santos et al., 2021). Kelebihan fosfor memicu eutrofikasi air tanah sehingga mengurangi kesehatan bagi tanaman (Putra et al., 2025). Kalium (Potassium) 12,26 cmolc/kg melebihi kebutuhan sawit (0,4–0,8 cmolc/kg), menunjukkan akumulasi dari pupuk berbasis POME (Putra et al., 2025); (Scaccabarozzi et al., 2020). Kelebihan K mengganggu penyerapan Mg dan Ca, memicu defisiensi hara mikro (Scaccabarozzi et al., 2020). Pada pH tanah asam, K mudah tercuci ke air tanah, sehingga dapat meningkatkan TDS dan menurunkan kualitas air tanah (Thompson-morrison et al., 2023); (Putra et al., 2025). Total N 5,0% sangat tinggi (ambang normal: 0,5–1,5%) akibat mineralisasi bahan organik POME dan pupuk urea. Kelebihan Nitrogen meningkatkan emisi NH_3 dan NO_3^- , mencemari udara serta air tanah (Scaccabarozzi et al., 2020). Dalam kasus ini, pengasaman yang terkait dengan denitrifikasi pupuk nitrogen dapat berkontribusi terhadap peningkatan mobilitas Kadmium (Cd) dalam tanah (Urquhart et al., 2017).

Pencemaran Air Tanah Akibat POME (Palm Oil Mill Effluent)

Sejumlah parameter yang dianalisis untuk pencemaran air tanah menunjukkan nilai yang melampaui ambang batas yang ditentukan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Lampiran III tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Industri Minyak Sawit, sehingga penggunaan pupuk berbasis POME yang tidak terkontrol atau tidak sesuai dosis dapat berdampak negatif terhadap kualitas lingkungan di sekitarnya.

Tabel 2. Parameter Pencemar Air Tanah Akibat POME

Parameter (mg/L)	Hasil (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
BOD ₅	290,635	100 mg/L
COD	151,78	350
TSS	750	250
Minyak dan Lemak	35	25
Nitrogen Total	0,1	50
pH	6,9	6,0-9,0

Sumber : (Azzahra et al., 2024); (Nta et al., 2020);
(Mulyanto et al., 2023); (Harahap et al., 2022)

Berdasarkan tabel 2. hasil uji BOD₅ akibat POME sebesar 290,635 mg/L. Menurut penelitian (Putra et al., 2025) kandungan BOD₅ tersebut termasuk tinggi. Jika kandungan BOD dibandingkan dengan standar baku mutu berdasarkan tingkat pencemaran, maka kategori pencemaran dibagi sebagai berikut: BOD₅ kurang dari 1 mg/L menunjukkan pencemaran sangat ringan, BOD₅ antara 1 hingga 3 mg/L termasuk pencemaran ringan, BOD₅ antara 3 hingga 6 mg/L tergolong pencemaran sedang, dan BOD₅ lebih dari 6 mg/L menandakan pencemaran berat. Dengan demikian, nilai BOD₅ pada limbah POME ini menunjukkan tingkat pencemaran yang sangat berat. Kandungan BOD₅ yang tinggi mengindikasikan banyaknya bahan organik yang mudah terurai secara biologis. Apabila limbah ini meresap ke dalam tanah tanpa pengolahan yang memadai, dapat menyebabkan penurunan kualitas air tanah. Proses dekomposisi bahan organik akan mengurangi kadar oksigen terlarut di dalam akuifer dan berpotensi menciptakan kondisi anaerob karena POME mengandung bahan organik yang sangat tinggi.

Kandungan COD yang dihasilkan oleh limbah POME sebesar 151,78 mg/L. Kadar tersebut menunjukkan bahwa nilai COD tergolong tinggi dan dapat mencemari lingkungan jika penanganan tidak memadai. Penelitian (Revansyah et al., 2023), menunjukkan bahwa kadar COD pada air dengan rentang 37-161 mg/L perlu diolah sebelum digunakan karena tingkat pencemaran yang tinggi. COD yang tinggi menandakan banyaknya zat organik dan anorganik yang membutuhkan oksidasi kimia. Jika limbah dengan kadar COD tinggi meresap ke dalam tanah, maka senyawa pencemar dapat terbawa ke lapisan air tanah. Hal

ini dapat menyebabkan peningkatan beban kimia dalam akuifer, menurunkan kualitas air tanah, serta memicu terbentuknya senyawa toksik selama proses dekomposisi. Dalam jangka panjang, pencemaran ini dapat mengganggu keseimbangan ekosistem bawah tanah dan menjadikan air tanah tidak layak konsumsi serta membahayakan kesehatan manusia jika digunakan tanpa pengolahan.

Kandungan Total Suspended Solids (TSS) yang dihasilkan oleh limbah POME berkisar 750 mg/L, tergolong sangat tinggi dan melampaui baku mutu lingkungan yang ditetapkan untuk air limbah industri. Menurut penelitian (Harahap et al., 2022) TSS dapat meningkatkan tingkat kekeruhan air dan berpotensi mengganggu berbagai aktivitas biotik yang berlangsung di dalam ekosistem perairan tersebut. Kandungan Minyak dan Lemak sebesar 35 mg/L, melampaui baku mutu. Menurut penelitian (Suseno et al., 2021). Kehadiran minyak dan lemak di dalam air umumnya tampak jelas di permukaan, membentuk lapisan yang menutupi badan air. Kondisi ini menghambat masuknya sinar matahari dan oksigen dari udara ke dalam air, yang pada akhirnya dapat mengganggu proses biologis serta aktivitas organisme akuatik di dalamnya. Kandungan Nitrogen Total berupa Nitrit sebesar 0,1 mg/L. Kondisi ini sangat jauh dari baku mutu yang telah ditetapkan. Menurut (Hutagalung et al., 2020) pupuk nitrogen bersifat mudah larut dalam air, dan bentuk nitratnya memiliki mobilitas tinggi di dalam tanah. Saat terjadi hujan, nitrogen dalam pupuk dengan cepat terbawa ke lapisan tanah yang lebih dalam melalui proses perkolasi. Nilai pH 6,9 mg/L masih memenuhi baku mutu air limbah kelapa sawit karena berada dalam kisaran yang ditetapkan oleh peraturan lingkungan, yaitu antara 6,0 hingga 9,0. Dalam rentang ini, pH dianggap netral hingga sedikit basa, sehingga tidak menimbulkan efek korosif maupun toksik terhadap lingkungan perairan dan masih mendukung aktivitas biologis dalam proses pengolahan limbah maupun ekosistem penerima. Selain itu, pH 6,9 mencerminkan kondisi yang relatif stabil dan tidak mengganggu efisiensi proses pengolahan lanjutan seperti aerasi atau biodegradasi oleh mikroorganisme.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian “Dampak dan Aplikasi Pupuk Berbasis Limbah Palm Oil Mill Effluent (POME) Terhadap Kualitas Tanah Dan Air Tanah Di Perkebunan Sawit” adalah sebagai berikut:

1. Limbah cair pabrik kelapa sawit (POME) yang diaplikasikan sebagai pupuk di perkebunan sawit memberikan dampak signifikan terhadap kualitas tanah dan air tanah di sekitarnya. Aplikasi POME dapat meningkatkan kandungan bahan organik dan unsur hara makro pada tanah, namun jika tidak dikendalikan dengan baik, justru menimbulkan ketidakseimbangan nutrisi, akumulasi logam berat, penurunan pH, serta peningkatan risiko salinisasi dan pencemaran tanah. Pada air tanah, penggunaan POME tanpa pengolahan memadai terbukti meningkatkan kadar BOD, COD, TDS, nitrat, dan logam berat hingga melampaui baku mutu nasional dan internasional, sehingga air tanah menjadi tidak layak konsumsi dan berisiko bagi kesehatan masyarakat.
2. Tantangan utama dalam pemanfaatan POME sebagai pupuk adalah karakteristik limbah yang kompleks (kandungan organik dan logam berat tinggi), ketiadaan regulasi teknis yang jelas, biaya pengolahan dan distribusi yang tinggi, serta lemahnya sistem pemantauan dan edukasi di tingkat lapangan. Penggunaan POME secara langsung tanpa pengolahan yang memadai sangat berisiko memicu pencemaran lingkungan, baik pada tanah maupun air tanah, serta menimbulkan masalah sosial dan kesehatan di sekitar perkebunan. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan limbah yang terintegrasi,

regulasi yang tegas, serta pemantauan dan edukasi berkelanjutan agar pemanfaatan POME dapat berkontribusi positif bagi pertanian berkelanjutan tanpa mengorbankan kualitas lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azzahra, S., Rianna, M., & Agustin, N. (2024). Renewable Water Filtration Innovation from Palm Oil Mill Effluent Waste. 3, 1–8. <https://doi.org/10.35876/ijop.v7i3.124>
- Ballabio, C., Jones, A., Montanarella, L. & Toth. (2023). Cadmium in the Soils of the EU Analysis of LUCAS Soils data for the review of Fertilizer Directive. Publications Office of the European Union, 1–22. <https://doi.org/10.2760/3942>
- Brindis-Santos, A. I., Palma-López, D. J., Mata-Zayas, E. E., & Palma-Cancino, D. J. (2021). Impacts of oil palm cultivation on soil organic carbon stocks in Mexico: Evidence from plantations in Tabasco State. *Cahiers Agricultures*, 30. <https://doi.org/10.1051/cagri/2021033>
- Daundi, K., Langsa, M. H., & Sirampun, A. D. (2022). PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT TERHADAP KUALITAS AIR PADA LAHAN KELAPA SAWIT PT. PMP DI KABUPATEN MAYBRAT. *Jurnal Natural*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:246757107>
- Effiong, M. O. (2024). Water quality and palm oil mill effluents — Analysis of the effect of palm oil mill effluents (POME) on consumption of bore-hole water in Nigeria. 8(16), 1–13.
- FAO. (2010). SOIL AND GROUNDWATER POLLUTION AND REMEDIATION ACT. <https://www.fao.org/soils-portal/soilex/soil-keywords/soil-quality/en/>
- Gemma, H., & Wahyuni, D. (2021). Studi Sifat Fisis dan Kimia Air Tanah Terkontaminasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Berdasarkan Skala Laboratorium Study of Physical and Chemical Properties of Groundwater Contaminated by Palm Oil Mill Effluent Based on Laboratory Scale. 264–273.
- Harahap, M. R., Amanda, L. D., & Matondang, A. H. (2022). Analisis Kadar Cod (Chemical Oxygen Demand) Dan Tss (Total Suspended Solid) Pada Limbah Cair Dengan Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. *Amina*, 2(2), 79–83. <https://doi.org/10.22373/amina.v2i2.772>
- Hauer-Jákli, M., & Tränkner, M. (2019). Critical leaf magnesium thresholds and the impact of magnesium on plant growth and photo-oxidative defense: A systematic review and meta-analysis from 70 years of research. *Frontiers in Plant Science*, 10(June), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00766>
- Hutagalung, W. L. C., Sakinah, A., & Rinaldi, R. (2020). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Pengelolaan Sampah Domestik dengan Metode IPCC 2006 di TPA Talang Gulo Kota Jambi. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(1), 59–68. <https://doi.org/10.29244/jsil.5.1.59-68>
- I. K., I., & O. G., D.-O. (2023). Evaluating the Long-Term Effect of Integrated Nutrients of Pome, Cow Dung and NPK on Soil Chemical Properties under a Garden-Egg Field. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 23(1), 79–88. <https://doi.org/10.9734/ajaar/2023/v23i1454>
- Karim, K. N. A., Isa, I. M., Ramlan, M. F., Mohamad, A., Khairuddin, M. N., & Ariffin, M. R. (2022). Influence of palm oil mills effluent (POME) sludge vermicomposting on soil physicochemical properties and Zea mays growth performances. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 19(4), 1–11. [https://doi.org/10.6703/IJASE.202212_19\(4\).003](https://doi.org/10.6703/IJASE.202212_19(4).003)
- Law, E. S. H. (2023). EU Soil Health Law: Soil as a key element in groundwater protection. May.
- Maharani, P. L., Pamoengkas, P., & Mansur, I. (2018). Pemanfaatan POME sebagai pupuk organik pada lahan pascatambang batubara. *Journal of Tropical Silviculture*, 8(3), 177–182.
- Martunis, L., Sufardi, & Muyssir. (2019). Karakteristik Kimia Tanah dan Status Kesuburan Tanah Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh (Indonesia). *Jurnal Agrotan*, 3(November 2015), 77–90.
- Mulyanto, A., Nasihin, I., Herlina, N., & Nurdin, N. (2023). Pengaruh Limbah Cair Kelapa Sawit terhadap Kualitas Air Tanah di PT Nusantara Sawit Persada. *Logika: Journal of Multidisciplinary Studies*, 14(01), 74–79. <https://doi.org/10.25134/logika.v14i01.7667>

- Nta, S. A., Udom, I. J., & Udo, S. O. (2020). Investigation of Palm Oil Mill Effluent Pollution Impact on Groundwater Quality and Agricultural Soils. *Asian Journal of Environment & Ecology*, April, 28–36. <https://doi.org/10.9734/ajee/2020/v12i130151>
- O., E. C., M., O. C., I., U. O., R., N. O., & H., O. E. (2024). Palm Oil Mill Effluent Disposal and Its Utilization in Agricultural Soil. *Bionature*, 44(1), 28–37. <https://doi.org/10.56557/bn/2024/v44i12031>
- Okereke, J. N. and 1Ginikanwa, R. C. (2020). Environmental impact of palm oil mill effluent and its management through biotechnological approaches. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci*, 7(7), 117–127. <https://doi.org/10.22192/ijarbs>
- Putra, A. M., Adam, D. H., Sepriani, Y., & Triyanto, Y. (2025). Analysis of Soil Chemical Properties in Oil Palm Plantation Land Produces in Tebing Tinggi Pangkatan Village Sub-district of Pangkatan. 7(1).
- REVANSYAH, M. A., MEN, L. K., SETIANTO, S., F, F., SAFRIANI, L., & APRILIA, A. (2023). Analisis Tds, Ph, Dan Cod Untuk Mengetahui Kualitas Air Di Desa Cilayung. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 12(02), 43. <https://doi.org/10.24198/jme.v12i02.41305>
- Scaccabarozzi, D., Castillo, L., Aromatizi, A., Milne, L., Castillo, A. B., & Muñoz-Rojas, M. (2020). Soil, site, and management factors affecting cadmium concentrations in cacao-growing soils. *Agronomy*, 10(6), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060806>
- Suseno, H. P., Purnawan, & Kristiyana, S. (2021). Penurunan Konsentrasi Minyak Lemak Dan Cod Pada Limbah Cair Secara Elektroflokulasi. *Jurnal Elektrikal*, 8(2), 10–16.
- Thompson-morrison, H., Ariantiningih, F., Arief, S. M., Gaw, S., & Robinson, B. (2023). Nutrients and Contaminants in Soils of Current and Former Oil Palm Production Systems from Indonesia. 1–19.
- Urquhart, E. A., Schaeffer, B. A., Stumpf, R. P., Loftin, K. A., & Werdell, P. J. (2017). A method for examining temporal changes in cyanobacterial harmful algal bloom spatial extent using satellite remote sensing. *Harmful Algae*, 67, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2017.06.001>