

Efektifitas Pemanfaatan Limbah Cair Menggunakan Metode Aplikasi Lahan

Emadamayani^{1*}, T. Alief Aththorick¹, Erwin Nyak Akoeb¹

¹ *Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Jalan Dr.T. Manur No.9, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20222*

<p><i>Received</i> 20 May 2025</p> <p><i>Revised</i> 30 May 2025</p> <p><i>Accepted</i> 31 May 2025</p>	<p>Abstrak</p> <p>Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak penggunaan Limbah Cair Kelapa Sawit pada hasil produksi Tandan Buah Segar, terhadap pengurangan pemakaian pupuk anorganik, serta faktor faktor lingkungan. Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data primer meliputi data analisis vegetasi, mesofauna dan klorofil. Data sekunder merupakan data yang di peroleh dari perusahaan yang meliputi produktivitas tandan buah segar dan pemupukan 5 tahun terakhir. Teknik pengumpulan data primer menggunakan teknik purposive sampling. Analisis mesofauna dan klorofil dilakukan melalui uji laboratorium. Berat tandan buah segar dari masing-masing blok LA memiliki nilai rata-rata sebesar 25,47 kg. Kelompok LA tidak menggunakan pupuk kimia sama sekali selama lima tahun berturut-turut (0 kg/tahun). Penerapan Land Aplikasi memberikan pengaruh pada faktor lingkungan seperti vegetasi, mesofauna dan klorofil dimana menunjukkan nilai perbandingan yang signifikan.</p> <p>Kata kunci: <i>Land Aplikasi, tandan buah segar, pupuk anorganik, faktor lingkungan</i></p>
<p><i>*Correspondence</i> Emadamayani Email: emadamayani36@gmail.com</p>	<p>Abstract</p> <p><i>This study aims to analyze the impact of the use of Palm Oil Liquid Waste on the production of Fresh Fruit Bunches, on reducing the use of inorganic fertilizers, and environmental factors. This study uses primary and secondary data. Primary data includes vegetation, mesofauna and chlorophyll analysis data. Secondary data is data obtained from the company which includes fresh fruit bunch productivity and fertilization in the last 5 years. The primary data collection technique uses purposive sampling technique. Mesofauna and chlorophyll analysis was carried out through laboratory tests. The weight of fresh fruit bunches from each LA block has an average value of 25.47 kg. The LA group did not use chemical fertilizers at all for five consecutive years (0 kg/year). The application of Land Application has an effect on environmental factors such as vegetation, mesofauna and chlorophyll which show significant comparative values</i></p> <p>Keywords: <i>Land Application, fresh fruit bunches, inorganic fertilizer, environmental factors</i></p>

PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan di bidang industri pada era 21 ini terjadi begitu pesat. Sektor industri berperan sangat penting dalam pembangunan ekonomi di berbagai negara karena dalam hal akselerasi pembangunan sektor industri

memiliki beberapa keunggulan. Perkembangan industri memberikan efek yang positif pada perkembangan ekonomi negara. Namun, selain berdampak positif bagi perekonomian negara, perkembangan industri juga memberi dampak negatif khususnya terhadap lingkungan. Limbah

yang dihasilkan dari kegiatan industri jika tidak dikelola dengan baik dapat merusak keseimbangan lingkungan (Ulhaq, 2022).

Limbah cair merupakan salah satu jenis limbah yang dihasilkan dari aktivitas industri, pertanian, dan rumah tangga yang apabila tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama pencemaran air dan tanah (Putri et al., 2021). Pengelolaan limbah cair yang efektif menjadi sangat penting untuk mencegah kerusakan ekosistem dan menjaga keberlanjutan lingkungan.

Studi oleh Yadav et al. (2021) menekankan pentingnya pengolahan limbah cair sebelum digunakan dalam land application untuk mengurangi risiko kesehatan dan lingkungan. Land application menawarkan beberapa keuntungan, antara lain meningkatkan kesuburan tanah karena kandungan nutrisi dalam limbah cair seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, serta meningkatkan kandungan bahan organik tanah. Selain itu, metode ini relatif murah dan dapat menjadi solusi berkelanjutan dalam pengelolaan limbah. Namun, implementasi metode ini juga memiliki risiko, seperti akumulasi logam berat, patogen, dan kontaminan lain yang dapat merusak tanah dan tanaman serta mencemari air tanah (Morris, 2021).

Metode aplikasi lahan memanfaatkan proses biologis tanah dan tanaman untuk menguraikan serta menyerap bahan pencemar yang terdapat dalam limbah cair. Proses ini tidak hanya mengurangi kadar polutan, tetapi juga dapat memanfaatkan nutrisi dalam limbah sebagai pupuk bagi tanaman sehingga memberikan nilai tambah ekonomi (Santoso & Wibowo, 2022). Studi terkini menunjukkan bahwa metode ini cukup efektif dalam menurunkan parameter pencemar seperti BOD, COD, dan logam berat, serta dapat meningkatkan kesuburan tanah (Rahmawati et al., 2020).

METODOLOGI

Tempat dan Waktu Penelitian

Perkebunan kelapa sawit Pt. X memiliki lahan HGU seluas 11.278 Ha. Secara administrasi Pt.X berada di beberapa kecamatan dalam wilayah Kabupaten Aceh Singkil. Penelitian dilakukan pada Pt. X desa Telaga Bhakti, Kec. Singkil Utara kab. Aceh singkil dilaksanakan pada April - Desember 2024.

Teknik Pengumpulan Data

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari perusahaan yang terdiri dari data profil perusahaan, peta kebun, luas

kebun, populasi, jumlah divisi, topografi kebun, data produksi tandan buah segar (ton/ha/tahun) 5 tahun terakhir, data produksi dan pemupukan dan data-data pendukung lainnya.

Data produksi menggunakan data sekunder dari tahun 2019-2023 pada blok yang di aliri limbah cair LA dan yang tidak di aliri non LA. Data sampel yang digunakan diambil dari 2 blok LA dan 2 blok non LA, lalu diambil perbandingan hasil TBS dari masing-masing blok untuk mengetahui nilai dari perbandingannya. Dampak pemanfaatan limbah cair kelapa sawit LA terhadap pengurangan pemakaian pupuk anorganik didapat dari data sekunder yang diperoleh dari perusahaan dimana diambil data pemupukan 5 tahun terakhir yaitu pada 2019- 2023 pada 2 blok lahan non LA dan di bandingkan dengan 2 blok LA untuk mengetahui berapa besar pengurangan penggunaan pupuk anorganik yang digunakan oleh perusahaan.

Analisis mesofauna dilakukan dengan menentukan plot pengamatan dengan metode purposive sampling pada blok LA dan blok non LA. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode plot. Lokasi penelitian dibagi

menjadi 4 blok yaitu 2 blok LA dan 2 blok non LA. Pengambilan sampel dilakukan dengan membersihkan serasah yang menutupi permukaan tanah pada titik sampel dan membuat petakan berukuran 30 x 30 cm dengan kedalaman yang dibagi menjadi tiga yaitu 0-10 cm, 10-20 cm dan 20-30 cm (Wasis, 2019). Mesofauna yang diperoleh selanjutnya diidentifikasi di Laboratorium Hewan FMIPA, USU, Medan.

Sampel daun kelapa sawit akan diambil dari kebun pada lahan LA dan lahan non LA. Sampel daun diambil dari pelepah ke-17 pada setiap titik pengamatan untuk memastikan konsistensi posisi daun. Daun sampel akan dibersihkan menggunakan aquades dan tisu. Daun sampel akan dimasukkan ke dalam amplop secara terpisah sesuai dengan kelompoknya yaitu daun dari pohon kelapa sawit yang di beri perlakuan LA dan non LA, dan dilakukan analisa klorofil (Juanda, 2020). Selanjutnya, analisis dilakukan di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan FMIPA, USU, Medan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produktivitas TBS Kelapa Sawit

Tabel 1
Produktivitas Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit.

Blok	Tahun				
	2019	2020	2021	2022	2023
	Kg/ pokok	Kg/ pokok	Kg/ pokok	Kg/ pokok	Kg/ pokok
Rata-rata blok LA	184,6	218	223,8	185,3	189
	182,9	183,3	169,2	122,6	117,9
Total rata- rata LA					177,63
Rata-rata blok non LA	159,3	139,2	131,9	106,7	129,2
	148,8	123	118,3	84,7	90,6
Total rata- rata non LA					123,17

Rata-rata hasil pada blok LA mengalami fluktuasi yang relatif signifikan selama 5 tahun. Di tahun 2020 dan 2021, hasil blok LA meningkat cukup signifikan, dengan angka 218 kg/pokok 2020 dan 223,8 kg/pokok 2021. Namun, setelah itu terjadi penurunan pada tahun 2022 dan 2023, masing-masing menjadi 185,3 kg/pokok dan 189 kg/pokok. Puncak hasil blok LA tercatat pada tahun 2021 dengan angka 223,8 kg/pokok. Setelah 2021, terjadi penurunan yang cukup jelas, baik pada tahun 2022 185,3 kg/pokok maupun pada tahun 2023 189 kg/pokok, yang menunjukkan adanya penurunan hasil produksi pada dua tahun terakhir. Rata-rata total untuk blok LA selama 5 tahun adalah 177,63 kg/pokok. Ini menunjukkan bahwa hasil rata-rata

blok LA sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan blok Non LA.

Produksi TBS yang lebih tinggi pada blok LA dibandingkan blok non LA dapat dijelaskan dari beberapa aspek agronomis dan ekologis. Salah satunya limbah cair kelapa sawit yang digunakan dalam Land Aplikasi mengandung unsur hara penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), serta bahan organik yang dapat meningkatkan kesuburan tanah. Ketersediaan nutrisi yang lebih tinggi ini berdampak langsung pada pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman sawit dimana suplai nutrisi yang konsisten ini menjadikan tanaman memiliki cadangan unsur hara yang cukup untuk proses pembentukan bunga dan buah, sehingga

meningkatkan produktivitas TBS secara signifikan. (Nasution et al.,2017).

Pengurangan pemakaian pupuk Anorganik pada blok LA

Tabel 2.

Penggunaan pupuk anorganik

Berdasarkan data pemupukan tahunan selama periode 2019–2023, terlihat perbedaan yang sangat signifikan dalam penggunaan pupuk anorganik (NPK) antara kelompok blok Non LA dan kelompok blok LA. Kelompok Non LA

demikian, data ini juga mencerminkan ketergantungan tinggi terhadap input anorganik, yang berimplikasi pada peningkatan biaya operasional dan potensi dampak lingkungan seperti akumulasi residu kimia di tanah serta eutrofikasi

Blok	2019	2020	2021	2022	2023	Rata-rata/tahun (Kg)
Non-LA	10.596 Kg NPK	10.596 Kg NPK	10.596 Kg NPK	21.194 Kg NPK	10.596 Kg NPK	12.715,6
LA	0	0	0	0	0	0

secara konsisten menggunakan pupuk NPK setiap tahun, dengan rata-rata penggunaan sebesar 12.715,6 kg per tahun. Sebaliknya, kelompok LA tidak menggunakan pupuk kimia sama sekali selama lima tahun berturut-turut (0 kg/tahun). Namun dan pengurangan penggunaan pupuk anorganik seperti pupuk Npk dapat memberikan kesuburan tanah yang lebih optimal, ketersediaan unsur hara yang dapat di manfaatkan tumbuhan kelapa sawit. Pernyataan ini didukung oleh Sholeh

perairan di sekitar areal perkebunan.

Pemanfaatan Land Aplikasi juga membantu memperbaiki senyawa-senyawa organik dan memperbaiki sifat kimia dan fisika tanah sehingga penggunaan pupuk cair yang sesuai dengan strandar baku mutu et al (2016) yang menyatakan bahwa pemberian pupuk cair limbah kelapa sawit dengan sistem Land Aplikasi memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan tinggi, diameter, jumlah daun, berat kering akar dan berat kering tajuk.

Menganalisis faktor lingkungan

Indeks nilai penting vegetasi

Tabel 3
Indeks nilai penting vegetasi blok LA

Suku	Jenis	INP%
Blechnaceae	<i>Stenochlaena palustris</i>	36,49
Polypodiaceae	<i>Nephrolepis biserrata</i>	29,39
Acanthaceae	<i>Asystasia gangetica</i>	21,90
Melastomataceae	<i>Clidemia hirta</i>	19,46
Cyperaceae	<i>Kyllinga monocephala</i>	18,85
Aspleniaceae	<i>Onoclea sp.</i>	15,17
Lamiaceae	<i>Ocimum sp.</i>	13,34
Poaceae	<i>Isachne sp.</i>	11,63
Davalliaceae	<i>Davallia sp.</i>	11,87
Amaranthaceae	<i>Cyathula sp.</i>	11,38

Analisis terhadap struktur vegetasi tumbuhan bawah di blok LA menunjukkan bahwa spesies *Stenochlaena palustris* (Blechnaceae) merupakan spesies paling dominan dengan INP sebesar 36,49%. Dominasi tinggi ini menunjukkan bahwa spesies ini memiliki adaptasi yang sangat baik terhadap kondisi lingkungan di sistem Land Aplikasi, kemungkinan karena sifat habitatnya yang lembap dan kemampuannya menyesuaikan diri terhadap tanah yang mengandung bahan organik dari limbah cair.

Dominasi spesies paku seperti *Stenochlaena palustris* dan *Nephrolepis biserrata* di blok LA menunjukkan bahwa sistem Land Aplikasi berpotensi

meningkatkan kelembapan tanah dan kandungan bahan organik, yang pada gilirannya mendukung keberadaan vegetasi khas lingkungan lembap. Hal ini memberikan sinyal positif terhadap fungsi ekologis dari sistem Land Aplikasi, khususnya dalam mempertahankan struktur vegetasi bawah yang lebih stabil dan mendekati kondisi alami. Selain itu, keanekaragaman yang cukup tinggi dengan sebaran nilai INP yang tidak terlalu timpang antara beberapa spesies juga mencerminkan bahwa sistem Land Aplikasi mungkin menciptakan kondisi yang lebih seimbang dan mendukung berbagai spesies vegetasi.

Tabel 4
Indeks nilai penting vegetasi blok non LA

Suku	Jenis	INP%
Gleicheniaceae	<i>Dicranopteris linearis</i>	42,03
Melastomataceae	<i>Clidemia hirta</i>	25,56
Rubiaceae	<i>Diodella sarmentosa</i>	24,54
Acanthaceae	<i>Asystasia gangetica</i>	23,56
Polypodiaceae	<i>Nephrolepis biserrate</i>	22,75
Melastomataceae	<i>Melastoma malabathricum</i>	20,33
Asteraceae	<i>Ageratum conyzoides</i>	19,73
Verbenaceae	<i>Stachytarpheta indica</i>	15,68
Cyperaceae	<i>Cyperus sp.</i>	14,59
Davalliaceae	<i>Davallia sp.</i>	13,08

Hasil analisis komposisi vegetasi berdasarkan nilai INP menunjukkan bahwa komunitas tumbuhan bawah di blok non LA didominasi oleh spesies *Dicranopteris linearis* dari suku Gleicheniaceae, dengan

INP sebesar 42,03%. Nilai ini menunjukkan bahwa spesies ini memiliki kontribusi paling besar terhadap struktur dan keberadaan vegetasi bawah

**Indeks keanekaragaman dan
kemerataan Vegetas**

Tabel 5
Indeks keanekaragaman dan kemerataan vegetasi

Nilai indeks keanekaragaman untuk blok non LA adalah 2,98, sedangkan untuk	Nilai indeks keanekaragaman		Indeks kemerataan menunjukkan
	Blok	Keanekaragaman (H')	Kemerataa (E)
	Non LA	2,98	0,92
	LA	2,92	0,96

nilai 0,92 untuk blok non LA dan 0,96 untuk blok LA.

blok LA adalah 2,92. Keduanya tergolong dalam kategori keanekaragaman tinggi ($H' > 2$). Hal ini menunjukkan bahwa baik pada blok Non LA maupun blok LA, komunitas vegetasi menunjukkan keragaman spesies yang relatif kompleks. Meskipun nilai H' pada blok non LA sedikit lebih tinggi, perbedaannya sangat kecil, yang mengindikasikan bahwa keberadaan limbah cair pada blok LA tidak menurunkan keanekaragaman spesies secara signifikan.

Nilai ini menggambarkan bagaimana distribusi individu antar spesies dalam komunitas. Nilai E yang mendekati 1 menunjukkan bahwa individu dari setiap spesies tersebar relatif merata. Katuwal (2020) menjelaskan bahwa sistem dengan tekanan ekologis rendah cenderung memiliki struktur komunitas dengan nilai kemerataan tinggi, mencerminkan stabilitas dan kesehatan ekosistem.

Kehadiran Mesofauna

Tabel 6
 Kehadiran mesofuna tanah pada setiap blok LA dan non LA

Jenis	LA	Non LA
<i>Odontoponera denticulate</i>	15	13
<i>Rhipicephalus sanguineus</i>	5	3
<i>Oribatida sp.</i>	4	2
<i>Orchesella cincta</i>	11	3
<i>Curinus coeruleus</i>	8	0

Terdapat 5 spesies mesofuna tanah pada lokasi penelitian. pada blok LA terdapat *Odontoponera denticulata* dengan jumlah 15, sedangkan pada blok Non LA yaitu 13. Berbeda dengan spesies *Rhipicephalus sanguineus* yang hanya terdapat pada blok LA yaitu 5, dan berjumlah 3 pada blok Non LA. Hal yang tidak jauh berbeda pada spesies *Oribatida sp* yang hanya terdapat 4 pada blok LA, dan hanya 2 pada blok Non LA. Pada blok LA terdapat Spesies *Orchesella cincta* dengan jumlah 11, sedangkan blok Non LA yaitu 3. Untuk spesies *Curinus coeruleus* terdapat perbedaan karena hanya di temukan pada blok LA dengan jumlah 8.

Perbedaan jenis mesofauna tanah antar blok penelitian juga disebabkan karena mesofauna tanah tersebut bersifat bergerak, sehingga ketika kondisi

lingkungan tidak baik maka mesofauna tanah akan bergerak untuk berpindah tempat. Hal ini mencerminkan bahwa distribusi mesofauna sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan mikro, seperti kelembaban, suhu, dan ketersediaan bahan organik (Indriyanto & Fitriana, 2016). Keberadaan masing-masing spesies dengan jumlah yang berbeda juga di pengaruhi oleh kompetensi dari masing-masing spesies untuk bertahan hidup, dan bersaing mendapatkan makanan. (Rahmat, 2021).

Indeks keanekaragaman dan kemerataan Mesofauna

Tabel 7
Indeks keanekaragaman dan pemerataan mesofauna tanah

Indikator	LA	Non LA
Indeks Keanekaragaman (H')	1.50	1.08
Indeks Kemerataan (E)	0.93	0.78

Nilai keanekaragaman (H') pada blok LA 1.50 lebih tinggi dibandingkan dengan blok Non LA 1.08. Hal ini menunjukkan bahwa blok LA memiliki keanekaragaman spesies yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa blok LA memiliki keanekaragaman spesies yang lebih tinggi, artinya terdapat jumlah spesies yang lebih banyak dan/atau distribusi individu antar spesies yang lebih seimbang (Fitriani et al., 2021).

Nilai pemerataan (E) yang lebih tinggi pada blok LA 0.93. Pemerataan yang tinggi menandakan tidak adanya dominasi signifikan oleh satu spesies

tertentu sehingga komunitas di blok LA lebih seimbang (Wahyuni & Putra, 2022).

Fenomena ini sesuai dengan temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa tingkat keanekaragaman dan pemerataan dipengaruhi oleh kualitas habitat dan faktor lingkungan mikro yang mempengaruhi distribusi spesies (Zhao et al., 2021). Selain itu, distribusi yang merata dapat membantu menjaga kestabilan ekosistem dan meningkatkan resistensi komunitas terhadap perubahan lingkungan (Chao et al., 2020).

Klorofil

Tabel 8
 Kandungan klorofil daun kelapa sawit

LA	Korofil a	Klorofil b	Total klorofil
P	0,525	0,511	1,036
P1	0,505	0,682	1.187
P2	0,499	0,781	1.280
P3	0,503	0,657	1.160
P4	0,5	0,786	1.287
P5	0,501	0,69	1.191
P6	0,505	0,682	1.187
P7	0,5	0,838	1.338
P8	0,496	0,847	1.342
P9	0,494	0,846	1.340
P10	0,495	0,851	1.345
P11	0,496	0,856	1.351
Rata-rata	0,501583333	0,75225	1,253666667
Non LA			
Q	0,495	0,84	1,335
Q1	0,482	0,533	1,015
Q2	0,498	0,417	0,916
Q3	0,482	0,536	1.018
Q4	0,483	0,538	1.021
Q5	0,499	0,417	0.916
Q6	0,519	0,322	0,841
Q7	0,505	0,433	0.938
Q8	0,501	0,484	0.985
Q9	0,499	0,524	1.023
Q10	0,496	0,562	1.058
Q11	0,494	0,561	1.056
Rata-rata	0,496083333	0,513916667	1,010166667

Klorofil a sebagai pigmen utama memiliki selisih yang kecil antara blok LA 0,502 dengan blok non LA 0,496 yang dimana artinya kandungan klorofil utama cukup mirip antara kedua perlakuan. Namun, dibandingkan dengan blok non LA blok LA tetap sedikit lebih tinggi nilainya.

Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan LA tidak secara drastis mempengaruhi konsentrasi klorofil a, yang juga menunjukkan bahwa kondisi dasar lingkungan dan genetika tanaman tetap memegang peranan utama dalam sintesis pigmen ini (Kim et al., 2021).

Klorofil b sebagai pigmen pembantu memiliki nilai yang cukup jauh lebih tinggi pada blok LA dibanding dengan blok non LA dengan nilai 0,752 pada blok LA dan 0,514 pada blok non LA. Ini menunjukkan peningkatan pigmen b, yang dapat meningkatkan efisiensi penangkapan cahaya dan adaptasi terhadap kondisi lingkungan. Peningkatan klorofil b ini dapat diartikan sebagai respon adaptif tanaman terhadap perlakuan LA yang mungkin menciptakan kondisi lingkungan

yang lebih optimal bagi aktivitas fotosintesis (Jiang, 2023).

Nilai total Klorofil pada blok LA sebesar 1,254 mg/g dan pada blok non LA sebesar 1,010 mg/g. Peningkatan total klorofil sebesar 24% pada perlakuan Land Aplikasi sangat signifikan dari segi fisiologi tanaman. Hal ini menunjukkan peningkatan kapasitas fotosintetik tanaman, yang sejalan dengan peningkatan pertumbuhan dan produktivitas (Jaborova et al., 2021).

KESIMPULAN

Penerapan Land Aplikasi memberikan pengaruh peningkatan yang signifikan pada produktivitas Tandan Buah Segar (TBS). Pengaruh terhadap pengurangan pemakaian pupuk Anorganik yang menunjukkan pengurangan yang sangat signifikan. Dan memberikan pengaruh pada faktor lingkungan seperti vegetasi, mesofauna dan klorofil dimana menunjukkan nilai perbandingan yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

Chao, A., Chiu, C. H., & Jost, L., 2020. Quantifying evenness and linking it to diversity, beta

diversity, and similarity. *Ecological Monographs*, 90(2): e01343

Fitriani, D., Santoso, E., & Handayani, S., 2021. Analisis keanekaragaman dan pemerataan spesies tanaman di kawasan hutan lindung. *Jurnal Biodiversitas Indonesia*, 12(2): 112-120.

Indriyanto, R., & Fitriana, Y., 2016. Keanekaragaman mesofauna tanah daerah pertanian apel Desa Gubugklakah, Kecamatan Poncokusumo, Kabupaten Malang. *Prosiding*

- Seminar Nasional Biologi (PROSBI), Universitas Sebelas Maret.*
- Jabborova, D., Annapurna, K., Choudhary, R., Bhowmik, S. N., & Desouky, S. E., 2021. Interactive Impact of Biochar and Arbuscular Mycorrhizal on Root Morphology, Physiological Properties of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and Soil Enzymatic Activities. *Agronomy*, 11(11): 2341.
- Jiang, C., et al., 2023. Enhancing alfalfa photosynthetic performance through arbuscular mycorrhizal fungi inoculation across varied phosphorus application levels. *Frontiers in Plant Science*, 14: 1256084.
- Juanda, A., Roosmawati, F., & Haswen, K. 2020. *Analisa jumlah klorofil daun terhadap produksi kelapa sawit (Elaeis guineensis) pada elevasi 300–600 mdpl di Kebun Pabatu*. ResearchGate.
- Katuwal, H., Sharma, H. P., & Neupane, P. R., 2020. Species diversity and evenness: Important metrics for conservation planning in tropical forests. *Forest Ecology and Management*, 475: 118426.
- Kim, E., Lee, D., Sakamoto, S., Jo, J.-Y., Vargas, M., Ishizaki, A., Minagawa, J., & Kim, H., 2021. Network analysis with quantum dynamics clarifies why photosystem II exploits both chlorophyll a and b. *Nature Communications*, 12(1): 1–10.
- Morris, J. C., 2021. Barriers in Implementation of Wastewater Reuse: Identifying the Way Forward in Closing the Loop. *Circular Economy and Sustainability*, 1: 413–433.
- Nasution, A., Ginting, G., 2017. Pengaruh aplikasi limbah cair kelapa sawit (POME) terhadap sifat kimia tanah dan pertumbuhan tanaman kelapa sawit. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, 19(1): 45-52.
- Panggabean, N. H., Rulia, D., Khairani, M., & Nuzalifa, Y. U. 2021. Analisis Vegetasi Gulma pada Lahan Kosong di Kawasan Universitas Islam Negeri

- Sumatera Utara. *Jurnal Agroekoteknologi*, 13(2): 125–132.
- Putri, A. D., Hidayat, R., & Nugroho, A., 2021. Pengelolaan limbah cair industri menggunakan aplikasi lahan untuk mencegah pencemaran lingkungan. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan*, 12(1): 45-53.
- Rahmat, F., 2021. Pengaruh Land Application Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Terhadap Kualitas Air Tanah. [Skripsi]. Padang: Stikes Alifah Padang.
- Rahmawati, L., Sari, D., & Purwanto, A., 2020. Pengaruh aplikasi limbah cair industri terhadap penurunan kadar BOD dan COD pada lahan pertanian. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 8(3): 120-128.
- Santoso, B., & Wibowo, T., 2022. Efektivitas aplikasi limbah cair domestik pada lahan pertanian dalam meningkatkan kesuburan tanah. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 15(2): 87-95.
- Sholeh, M., Suryani, E., & Hidayat, S., 2016. Pengaruh Pemberian Pupuk Cair Limbah Kelapa Sawit dengan Sistem Land Aplikasi terhadap Pertumbuhan Tanaman Kelapa Sawit. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 44(2), 85-92.
- Ulhaq, N. D., Eltivia, N., & Oktavia, F. Z. F., 2022. Analisis penerapan akuntansi manajemen lingkungan pada pengelolaan sampah di PT Perkebunan Nusantara X Pabrik Gula Meritjan. *Jurnal Akuntansi Bisnis dan Humaniora*, 9(2): 57–63.
- Wahyuni, R., & Putra, M., 2022. Studi keanekaragaman dan pemerataan komunitas tumbuhan pada lahan restorasi di wilayah perkotaan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(1): 45-54.
- Wasis, B., Nugroho, S., & Wahyuni, T. S., 2019. Perbandingan karakteristik tanah pada empat jenis tutupan lahan pascatambang kapur, Ciampea. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 20(2): 95–102.
- Yadav, K. K., et al., 2021. *Wastewater Treatment and Reuse: A Review of its Applications and Health Implications*. Water, Air, & Soil Pollution, 232(208).

Zhao, J., Zhang, X., & Liu, Y., 2021.
Diversity and evenness indices
as indicators for ecological
assessment of restored
wetlands. *Ecological
Indicators*, 129, 107998.