

**ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK KELAPA
SAWIT SEBAGAI PUPUK ORGANIK DALAM
PENGELOLAAN PERKEBUNAN KELAPA
SAWIT BERKELANJUTAN**

DISERTASI



Oleh:
TASLIM HAREFA
NPM. 221901009

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU PERTANIAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 13/4/26

Access From (repository.uma.ac.id)13/4/26

**ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK KELAPA
SAWIT SEBAGAI PUPUK ORGANIK DALAM
PENGELOLAAN PERKEBUNAN KELAPA
SAWIT BERKELANJUTAN**

Disertasi

Sebagai Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Doktor

Program Studi Ilmu Pertanian



Oleh:

TASLIM HAREFA
NPM. 221901009

**PASCASARJANA
PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 13/4/26

Access From (repository.uma.ac.id)13/4/26

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Disertasi : ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK
KELAPA SAWIT SEBAGAI PUPUK ORGANIK
DALAM PENGELOLAAN PERKEBUNAN KELAPA
SAWIT BERKELANJUTAN

Nama : TASLIM HAREFA

NPM 221901009

Disetujui oleh

Promotor:

Prof. Dr. Ir. Yusniar Lubis, MMA.



Co-Promotor:

Prof. Dr. Ir. Tri Martial, MP



Diketahui oleh

Ketua Program Studi :

Prof. Ir. Zulkarnain Lubis, MS., Ph.D



Direktur Pascasarjana :

Prof. Dr. Ir. Retna Astuti Kuswardani, MS

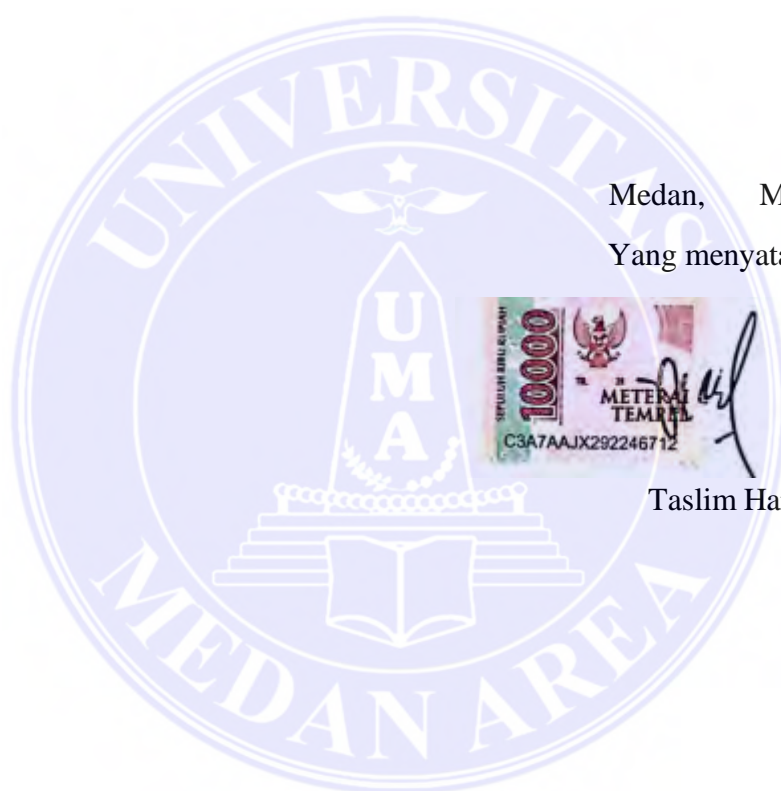


Tanggal Ujian : 29 Oktober 2025

Tanggal Lulus : 29 Oktober 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam disertasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar doktoral di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.



Medan, Mei 2025

Yang menyatakan

Taslim Harefa

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI DISERTASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Taslim Harefa
NPM : 221901009
Program Studi : Doktor Ilmu Pertanian
Program : Pascasarjana
Jenis karya : Disertasi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalti-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT SEBAGAI PUPUK ORGANIK DALAM PENGELOLAAN PERKEBUNAN KELAPA SAWIT BERKELANJUTAN. Dengan hak bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas disertasi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya perbuat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 28 Oktober 2025
Yang menyatakan,


Taslim Harefa

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penggunaan pupuk organik yang berasal dari limbah PPKS, untuk mengetahui penerimaan teknologi pupuk organik dari limbah PKS, serta untuk mengetahui peran kelembagaan dalam mendukung pemanfaatan pupuk organik dari bahan limbah PKS. Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Asahan, dengan studi kasus pada PT. Padasa Enam Utama. Tiga model yang digunakan dalam penelitian ini mencakup DEA (*Data Envelopment Analysis*) untuk menganalisis efisiensi pengelolaan perkebunan menggunakan limbah PKS, TAM (*Technology Acceptance Model*) untuk menganalisis penerimaan teknologi pengolahan limbah PKS menjadi pupuk organik, serta ISM (*Interpretive Structural Modeling*) untuk menganalisis kebijakan-kebijakan dominan yang mendukung pemanfaatan limbah tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan perkebunan kelapa sawit dengan pemanfaatan limbah PKS menjadi pupuk organik selama periode 2020- 2023 dapat dianggap "efisien" dengan kategori tinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa pemanfaatan limbah PKS secara signifikan meningkatkan efisiensi manajemen perkebunan, terutama melalui optimisasi variabel input dan output, seperti luas lahan, biaya operasional, biaya tenaga kerja, dan hasil produksi. Penggunaan limbah PKS sebagai pupuk organik memberikan kontribusi besar terhadap penurunan biaya operasional dan biaya tenaga kerja, mengingat pengurangan ketergantungan pada pupuk kimia yang lebih mahal serta pengurangan kebutuhan akan tenaga kerja dalam pengelolaan pupuk. Selain itu, penggunaan limbah ini juga turut meningkatkan hasil produksi dengan menyediakan pupuk yang lebih ramah lingkungan dan efisien dalam mendukung pertumbuhan tanaman kelapa sawit.

Kata Kunci: Efisiensi; Kelembagaan; Limbah Pabrik Kelapa Sawit; Keberlanjutan; Pupuk Organik

ABSTRACT

This research aims to assess the efficiency of using organic fertilizer derived from palm oil mill waste (PKS waste), to evaluate the acceptance of the organic fertilizer technology, and to identify the role of institutional support in promoting the utilization of organic fertilizer from PKS waste. The study was conducted in Asahan Regency, using a case study approach at PT. Padasa Enam Utama. Three models were employed in this research: Data Envelopment Analysis (DEA) to analyze the efficiency of plantation management using PKS waste; the Technology Acceptance Model (TAM) to examine the acceptance of the technology for processing PKS waste into organic fertilizer; and Interpretive Structural Modeling (ISM) to analyze the dominant policies supporting the utilization of the waste. The results indicate that the management of oil palm plantations through the use of organic fertilizer made from PKS waste during the period of 2020–2023 can be considered "efficient" with a high category. These findings suggest that utilizing PKS waste significantly enhances plantation management efficiency, especially through the optimization of input and output variables such as land area, operational costs, labor costs, and production yields. The use of PKS waste as organic fertilizer contributes greatly to reducing operational and labor costs by lowering dependency on more expensive chemical fertilizers and minimizing the labor needed for fertilizer management. Moreover, the application of this waste-based fertilizer also improves production output by providing a more environmentally friendly and effective nutrient source to support oil palm growth.

Keyword: Management Model; Palm Oil; Palm Oil Mill Effluent; Sustainability.

RINGKASAN

TASLIM HAREFA. NIM. 221901009. YUSNIAR LUBIS. TRI MARTIAL. ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT SEBAGAI PUPUK ORGANIK DALAM PENGELOLAAN PERKEBUNAN KELAPA SAWIT BERKELANJUTAN..

Perkebunan kelapa sawit di Indonesia terus mengalami perkembangan pesat dan menjadi komoditas unggulan nasional yang berkontribusi signifikan terhadap perekonomian Indonesia. Namun, perkembangan ini juga menimbulkan berbagai tantangan lingkungan dan agronomis, seperti degradasi tanah akibat ketergantungan pada pupuk kimia, konversi lahan hijau, serta meningkatnya serangan penyakit tanaman. Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan pendekatan yang berkelanjutan melalui pemupukan berimbang antara pupuk organik dan anorganik, penerapan teknologi efisien, serta optimalisasi pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit (PKS) sebagai pupuk organik. Kebijakan yang mendukung prinsip ISPO dan praktik agribisnis ramah lingkungan sangat diperlukan guna menjaga produktivitas, kelestarian lingkungan, serta kesejahteraan petani dalam jangka panjang. Penelitian ini bertujuan menganalisis efisiensi dan dampak penggunaan limbah PKS terhadap produksi, pendapatan, dan penerimaan teknologi, baik di tingkat di kalangan petani maupun perusahaan sebagai upaya mewujudkan sistem perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan.

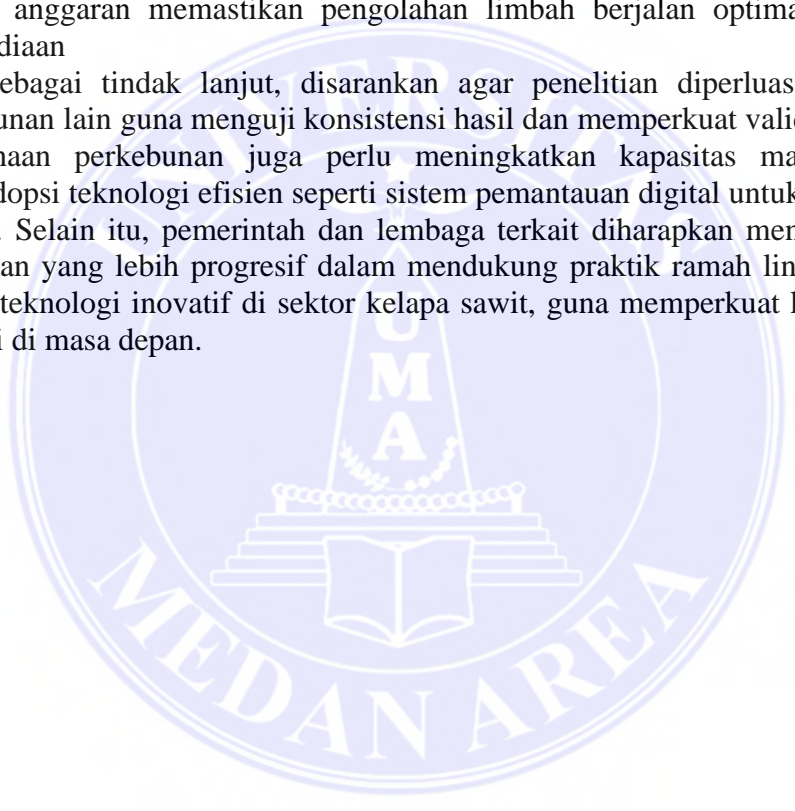
Penelitian ini dilaksanakan di PT. Padasa Enam Utama Asahan dengan metode *purposive sampling*. Data yang dikumpulkan meliputi aspek fisik wilayah, profil dan praktik budidaya kelapa sawit, pemanfaatan limbah cair pabrik sebagai pupuk organik, karakteristik sosial ekonomi petani, pendapatan, hingga aspek kelembagaan dan regulasi, melalui interview yang dipandu pertanyaan semi struktur (*semi-structure question*), observasi langsung, serta data sekunder meliputi demografis dan kondisi iklim lokal. Analisis data secara kuantitatif menggunakan pendekatan *Data Envelopment Analysis* (DEA) untuk mengukur efisiensi teknis dan ekonomi, dan analisis data kualitatif menggunakan metode induktif-deduktif dan teknik *constant comparative analysis*. Untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi adopsi teknologi pengolahan limbah cair, digunakan pendekatan *Technology Acceptance Model* (TAM) yang dianalisis dengan bantuan Smart PLS, dengan fokus pada persepsi kegunaan, kemudahan penggunaan, kebermanfaatan, dan penerimaan teknologi, guna mendukung pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa PT. Padasa Enam Utama berkomitmen dalam pemanfaatan limbah PKS menjadi pupuk organik, yang terbukti mampu meningkatkan efisiensi teknis dan ekonomi serta mendukung keberlanjutan usaha perkebunan. Pengolahan data dengan pendekatan DEA, TAM, dan SEM-PLS menghasilkan bahwa sebagian besar unit perusahaan telah beroperasi secara efisien dalam penggunaan input, meskipun persepsi kegunaan teknologi tidak signifikan terhadap adopsi, sementara kemudahan penggunaan dan dukungan manajemen terbukti menjadi faktor kunci. Pendekatan ISM mengidentifikasi bahwa keberhasilan sistem pengelolaan limbah sangat dipengaruhi oleh dukungan kebijakan, manajemen, alokasi anggaran, dan keselarasan persepsi antar

pemangku kepentingan. Untuk mendorong adopsi teknologi secara luas, diperlukan insentif kebijakan, regulasi, penguatan SDM, serta kolaborasi lintas sektor.

Berdasarkan hasil penelitian, disimpulkan bahwa Pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik mengalami efisiensi teknis yang konsisten ($VRS = 1$) selama empat tahun, namun efisiensi skala berfluktuasi dan hanya optimal pada tahun 2021. Intensitas dan jumlah pengguna berpengaruh signifikan terhadap peningkatan pengalaman dalam penerapan pupuk cair LCKS. Teknologi limbah cair dapat diterima karena intensitas dan kemudahannya terbukti mendorong peningkatan jumlah pengguna nyata, termasuk potensi adopsi oleh Perkebunan Rakyat. Namun, persepsi kegunaan dan kemudahan tidak berdampak signifikan terhadap pengalaman pengguna. Peran lembaga, terutama Dinas Lingkungan Hidup, sangat penting dalam pengelolaan limbah kelapa sawit melalui kebijakan, pengawasan, dan evaluasi. Sinergi antara kebijakan, dukungan manajemen, dan alokasi anggaran memastikan pengolahan limbah berjalan optimal, sementara ketersediaan

Sebagai tindak lanjut, disarankan agar penelitian diperluas ke wilayah perkebunan lain guna menguji konsistensi hasil dan memperkuat validitas temuan. Perusahaan perkebunan juga perlu meningkatkan kapasitas manajerial dan mengadopsi teknologi efisien seperti sistem pemantauan digital untuk pengelolaan limbah. Selain itu, pemerintah dan lembaga terkait diharapkan mengembangkan kebijakan yang lebih progresif dalam mendukung praktik ramah lingkungan dan adopsi teknologi inovatif di sektor kelapa sawit, guna memperkuat keberlanjutan industri di masa depan.



SUMMARY

TASLIM HAREFA. NIM. 221901009. YUSNIAR LUBIS. TRI MARTIAL. ANALYSIS OF PALM OIL MILL WASTE UTILIZATION AS ORGANIC FERTILIZER IN SUSTAINABLE PALM OIL PLANTATION MANAGEMENT.

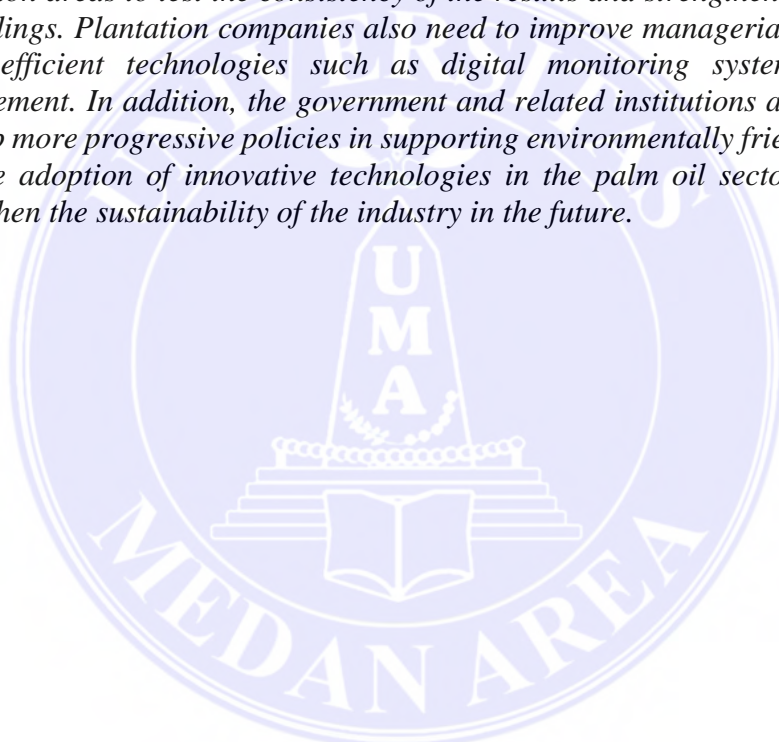
Oil palm plantations in Indonesia have undergone rapid expansion and become a leading national commodity that contributes significantly to the Indonesian economy. However, this growth is accompanied by several environmental and agronomic challenges, including soil degradation due to excessive reliance on chemical fertilizers, land conversion, and the increased prevalence of plant diseases. To overcome these challenges, a sustainable management approach is needed through balanced fertilization between organic and inorganic fertilizers, the implementation of efficient technology, and the utilization of palm oil mill (PKS) waste as organic fertilizer. Policies that support the principles of ISPO and environmentally friendly agribusiness practices are needed to maintain productivity, environmental sustainability, and farmer welfare in the long term. This study aimed to analyze the efficiency and impact of the use of PKS waste on production, income, and technology acceptance, both at the farmer and company levels as an effort to realize a sustainable oil palm plantation system.

This research was conducted at PT. Padasa Enam Utama Asahan using purposive sampling method. The data collected included physical aspects of the area, profile and practices of oil palm cultivation, utilization of factory wastewater as organic fertilizer, socio-economic characteristics of farmers, income, to institutional and regulatory aspects, through interviews guided by semi-structured questions, direct observation, and secondary data including demographics and local climate conditions. Quantitative data analysis used the Data Envelopment Analysis (DEA) approach to measure technical and economic efficiency, and qualitative data analysis used the inductive-deductive method and constant comparative analysis technique. To understand the factors influencing the adoption of liquid waste processing technology, the Technology Acceptance Model (TAM) approach was used which was analyzed with the help of Smart PLS, focusing on the perception of usefulness, ease of use, usefulness, and acceptance of technology, in order to support sustainable oil palm plantation management.

The results of the study indicate that PT. Padasa Enam Utama was committed to utilizing PKS waste into organic fertilizer, which has been proven to be able to increase technical and economic efficiency and support the sustainability of plantation businesses. Data processing with DEA, TAM, and SEM-PLS approaches resulted in most company units operating efficiently in the use of inputs, although the perception of the usefulness of technology was not significant to adoption, while ease of use and management support proved to be key factors. The ISM approach identified that the success of the waste management system was greatly influenced by policy support, management, budget allocation, and alignment of perceptions between stakeholders. To encourage widespread adoption of technology, policy incentives, regulations, strengthening of human resources, and cross-sector collaboration are needed.

Based on the research findings, it is concluded that the utilization of palm oil mill waste as organic fertilizer has shown consistent technical efficiency ($VRS = 1$) over four years, although scale efficiency fluctuated and was only optimal in 2021. The intensity and number of users significantly influence the improvement of experience in applying LCKS liquid fertilizer. Wastewater technology is deemed acceptable because its intensity and ease of use have been proven to drive an increase in the actual number of users, including the potential adoption by smallholder plantations. However, perceived usefulness and ease of use do not have a significant impact on user experience. The role of institutions, particularly the Environmental Agency, is crucial in managing palm oil mill waste through policy-making, supervision, and evaluation. Synergy between policies, managerial support, and budget allocation ensures optimal waste processing, while availability remains essential.

As a follow-up, it is recommended that the study be expanded to other plantation areas to test the consistency of the results and strengthen the validity of the findings. Plantation companies also need to improve managerial capacity and adopt efficient technologies such as digital monitoring systems for waste management. In addition, the government and related institutions are expected to develop more progressive policies in supporting environmentally friendly practices and the adoption of innovative technologies in the palm oil sector, in order to strengthen the sustainability of the industry in the future.



Improving the Efficiency and Sustainability of Oil Palm Plantations through Organic Fertilizer from Palm Oil Mill Waste

Taslim Harefa¹, Yusniar Lubis¹, Tri Martial²♥

¹Doktor of Agricultural Study Programme, Universitas Medan Area, Medan, Indonesia

²Department of Agribusiness, Universitas Medan Area, Medan, Indonesia

♥Corresponding author email: trimartial@gmail.com

Article history: submitted: August 19, 2024; accepted: November 18, 2024; available online: November 28, 2024

Abstract. The sustainable management of palm oil plantations poses significant challenges, particularly in ensuring long-term efficiency and environmental sustainability. This study explores the impact of using Palm Oil Mill (PKS) waste as an organic fertilizer on enhancing the management efficiency of palm oil plantations. Using Data Envelopment Analysis (DEA), we evaluated plantation management efficiency at PT. Padasa Enam Utama over the period 2020-2023. Strengths of the Data Envelopment Analysis model include its objectivity and capacity to rate efficiency using numerical data rather than subjective opinions. The input variables included labor costs, fertilizer use, and land area, while output variables encompassed productivity and financial profits. Results reveal that average efficiency in 2020 was 0.85, categorizing it as “inefficient.” By 2021, efficiency improved to 0.92, achieving a “moderately efficient” status, and further rose to 0.95 in 2022, reaching “efficient” status. In 2023, efficiency slightly decreased to 0.94, though it remained within the efficient range. Findings suggest that PKS waste application significantly enhances plantation management efficiency, particularly through optimizing input and output variables. Additionally, employing PKS waste as organic fertilizer provides an eco-friendly alternative that reduces dependency on chemical fertilizers, contributing to sustainable farming practices. Research implications can contribute to supporting policies on the utilization of PKS waste to support more sustainable oil palm plantations.

Keywords: data envelopment analysis; efficiency; oil palm; PKS waste; sustainable plantation



p-ISSN: 2581-1339 | e-ISSN: 2615-4862
JURNAL AGRIBEST
Journal Homepage: <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/agribest>



Sustainable Palm Oil Plantation Management Model: Case Study Of Palm Palm Waste Utilization

Taslim Harefa¹, Yusniar Lubis¹, Tri Martial¹
¹ Universitas Medan Area
Email: lubisyusniar@gmail.com



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Copyright (c) 2024 Jurnal Agribest



Author: Yusniar Lubis, Universitas Medan Area, lubisyusniar@gmail.com

ABSTRACT

This study aimed to determine whether sustainable palm oil plantation processing through the utilization of palm oil waste itself is very effective. This is based on the many errors in processing palm oil land that result in land damage, such as excessive use of chemical fertilizers. Data collection in this study used qualitative methods. Data collection was carried out using observation, interview, and documentation techniques. The study was conducted at PT. Padasa Enam Utama and PT. Inti Kamparindo Sejahtera. The study's findings indicate that using liquid palm oil waste and palm fronds is also very efficient. Palm oil waste will become an organic material that does not damage the soil. On the other hand, palm oil waste will also be helpful in fertilizing oil palm plants. So, using palm oil fronds as an alternative to fertilization is very good. This is because palm oil fronds will not damage the nutrients in the soil. Therefore, palm oil fronds and liquid waste can be an option in sustainable palm oil processing.

Keywords: Model, Sustainable, Palm Oil Management, Benefits of Palm Oil Waste.

Analisis Kebijakan Usaha Perkebunan Kelapa Sawit Dengan Penggunaan Pupuk Limbah Pabrik

Taslim Harefa Universitas Medan Area

taslimharefa1@gmail.com **Yusniar Lubis** Universitas Medan Area

lubisyusniar@gmail.com

Tri Martial Universitas Medan Area

tirmartial@gmail.com

[mail.com](mailto:tirmartial@gmail.com)

Abstrak

Manajemen penggunaan pupuk pada perkebunan kelapa sawit selama ini tidak bijaksana sehingga menyebabkan ketergantungan kepada pupuk kimia. Penggunaan pupuk kimia yang berlebih berdampak buruk pada kelestarian lahan dan lingkungan. Pengelolaan yang tidak ramah lingkungan pada akhirnya mengancam keberlanjutan industri kelapa sawit dalam jangka Panjang. Pendekatan yang telah dilakukan adalah dengan pemanfaatan limbah Pabrik Kelapa Sawit (PKS) sebagai pupuk organik untuk menggantikan pupuk kimia. Namun pemanfaatan limbah PKS sebagai pupuk belum banyak diterima secara luas dalam perkebunan kelapa sawit. Oleh sebab itu penelitian ini mengkaji aspek-aspek kelembagaan terkait dengan penggunaan pupuk organik yang berasal dari limbah PKS sebagai pupuk di perkebunan kelapa sawit.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran kelembagaan dalam mendukung pemanfaatan pupuk organik dari bahan limbah PKS. Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Asahan, dengan studi kasus pada PT. Padasa Enam Utama. Model yang digunakan dalam penelitian ini mencakup ISM (*Interpretive Structural Modeling*) untuk menganalisis kebijakan-kebijakan dominan yang mendukung pemanfaatan limbah tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kebijakan yang ditetapkan, dukungan manajemen, dan alokasi anggaran yang memadai turut memperkuat pencapaian efisiensi tersebut. Selain itu, sarana dan prasarana yang tersedia, keseragaman struktur organisasi, serta keselarasan persepsi antar pemangku kepentingan juga memainkan peran penting dalam kelancaran proses pengolahan limbah PKS. Meskipun ketersediaan lahan terbuka hijau memiliki peran yang lebih rendah dibandingkan dengan faktor lainnya, kontribusinya tetap signifikan dalam menjaga keseimbangan ekosistem yang diperlukan untuk mendukung keberlanjutan pengelolaan limbah dan pengelolaan perkebunan kelapa sawit secara keseluruhan.

Kata Kunci *Kebijakan Lingkungan, Kelembagaan, dan Pengolahan Limbah*

Effectiveness of Using Organic and Liquid Fertilizers Based on Palm Oil Mill Waste

Taslim Harefa, Yusniar Lubis, Martial

Agricultural Science Doctoral Program, University of Medan Area, Indonesia

Management Science, University of Medan Area. Indonesia

Agricultural Science Doctoral Program, University of Medan Area. Indonesia

lubisyusniar@gmail.com

ABSTRACT

This study aimed to assess the effectiveness of organic and liquid fertilizers derived from palm oil mill waste as an alternative to improve soil quality and control Ganoderma in PT Padasa Enam Utama plantations. This study used the DEA model, one of three model approaches, to evaluate how effectively processing palm oil waste into organic fertilizer is. The results showed that using organic fertilizers from palm oil mill waste significantly improved soil quality, as indicated by increased organic matter content and soil microorganism activity. Compared to conventional methods, this treatment also reduced the level of Ganoderma attacks by 40% and increased production yields by 15%. This success was supported by policies that focused on the ease of use of technology, employee encouragement to use it properly, and synergy of encouragement.

Keyword : *Effectiveness, Using Organic, Liquid Fertilizers Based, Palm Oil Mill Waste*

Date: 04-03-2025
Paper Id: EATP_2025_149

ACADEMIC PAPER ACCEPTANCE LETTER

Dear Authors: ¹Taslim Harefa, ²Yusniar Lubis, ³Martial

¹Agricultural Science Doctoral Program, Universitas Medan Area, Indonesia

²Management Science, Universitas Medan Area. Indonesia

³Agricultural Science Doctoral Program, Universitas Medan Area. Indonesia

Title: Palm Oil Plantation Management Model With Palm Oil Waste Utilization

Date of Acceptance : 04-03-2025

Type of Paper : **Research Paper**

After peer review process, your article has been provisionally accepted for publication in **Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries** in the forthcoming Issue, 2025.

All papers are published in English language. All submitted manuscripts are subject to peer-review by the leading specialists for the respective topic.

Regards,
Magdy Khalil,
Editorial Manager
Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries, ISSN:1110-6131 E-ISSN:2536-

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan disertasi ini dengan judul Analisis Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Organik Dalam Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit: Studi Kasus Di PT Padasa Enam Utama. Disertasi ini disusun sebagai bagian dari pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar doktor dalam bidang Agribisnis di Universitas Medan Area.

Penyusunan disertasi ini tidak terlepas dari berbagai dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

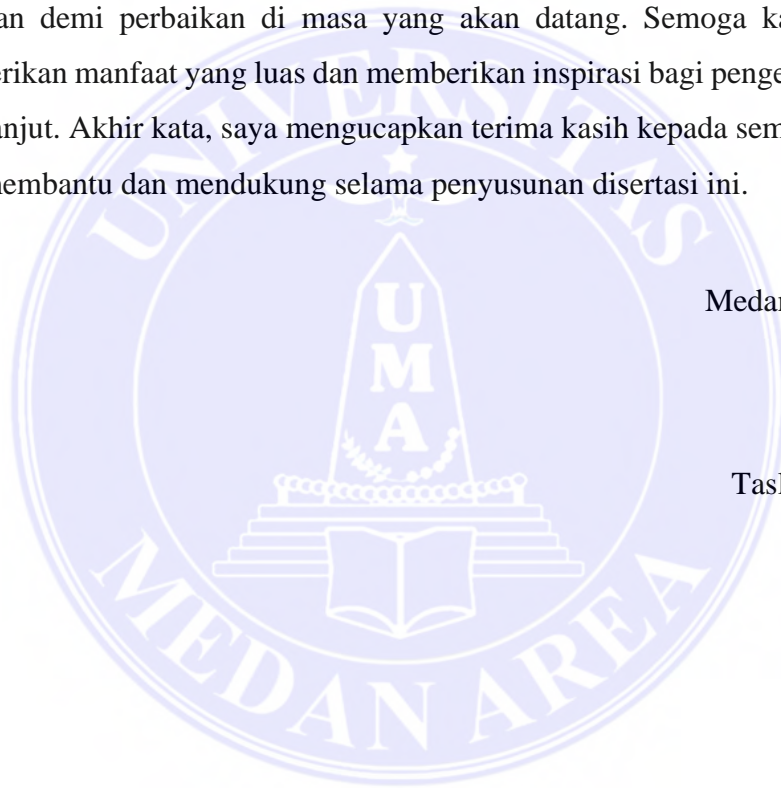
1. Rektor Universitas Medan Area, Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc.
2. Direktur Pascasarjana Universitas Medan Area, Prof. Dr.Ir. Hj. Retna Astuti Kuswardani, MS.
3. Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian, Prof. Dr. Ir. Zulkarnain Lubis, M.S
4. Prof. Dr. Ir. Yusniar Lubis, M.MA selaku Promotor yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi yang tiada henti sepanjang proses penelitian ini.
5. Prof. Dr. Ir. Tri Martial, M.P selaku Co-Promotor yang selalu memberikan insight yang berharga dan solusi atas setiap permasalahan yang dihadapi.
6. Keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, semangat, dan dukungan tanpa pamrih, baik secara moril maupun materil. Tanpa mereka, saya tidak akan mampu menyelesaikan tugas ini dengan baik.
7. Rekan-rekan peneliti dan kolega di Universitas Medan Area yang telah berbagi pengalaman, ide, dan pengetahuan yang sangat berharga dalam proses penelitian ini. Para responden dan pihak yang terlibat dalam penelitian ini, yang telah menyediakan data dan informasi yang diperlukan untuk kelancaran penelitian ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, namun yang telah memberikan bantuan dan dukungan secara langsung maupun tidak langsung.

Dalam disertasi ini, saya membahas mengenai “**Analisis pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan**”. Melalui penelitian ini, saya berusaha untuk memberikan kontribusi dalam pengelolaan Perkebunan kelapa sawit dengan pemanfaatan limbah kelapa sawit dan berharap temuan-temuan yang ada dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta aplikasinya dalam pertanian.

Tentu saja, saya menyadari bahwa disertasi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat saya harapkan demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat yang luas dan memberikan inspirasi bagi pengembangan riset lebih lanjut. Akhir kata, saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung selama penyusunan disertasi ini.

Medan, Mei 2025

Taslim Harefa



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Ir. Taslim Harefa. M.P lahir pada tanggal 26 Juni 1955, di Limapuluh Batubara, Sumatera Utara. Penulis tinggal di Jln. Pasir Mas 2 no.5 Tobekgodang Pekanbaru. Menyelesaikan pendidikan tinggi di bidang pertanian dengan Spesialisasi Proteksi Tanaman dan meraih gelar Sarjana Pertanian pada tahun 1984 dari Universitas Islam Sumatera Utara (UISU), gelar Strata 2 dalam bidang Agribisnis dari Universitas Medan Area pada tahun 2022.

Penulis mulai bekerja dalam berbagai bidang pertanian dan pengabdian masyarakat. Tahun 1980-1982 bekerja pada PT. Rolimex Corporation (Agronomist), 1982-1992 bekerja di Hoeschst Company (Agronomist), 1992-1997 bekerja di Agrevo Company (Area Manager), 1997-2000 bekerja di Aventis Cropscience (Area Manager), dan 2000-2004 bekerja di Bayer Cropscience Indonesia, 2005-sekarang sebagai konsultan bidang pertanian, perkebunan dan kehutanan. Penulis pemegang Paten IDP 0000555565 (Metode Pengendalian Penyakit *Ganoderma boninense* pada Tanaman Kelapa Sawit), penerima program penelitian tahun anggaran 2024 no.6014LLDIKTI wilayah I UMA (Model Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan). Taslim Harefa memiliki istri bernama Sri Zuwefa S.Pd. MM dan mempunyai dua orang anak Wijaya Kusuma Harefa, ST dan dr. Astri Yunita Harefa.

DAFTAR ISI

Halaman

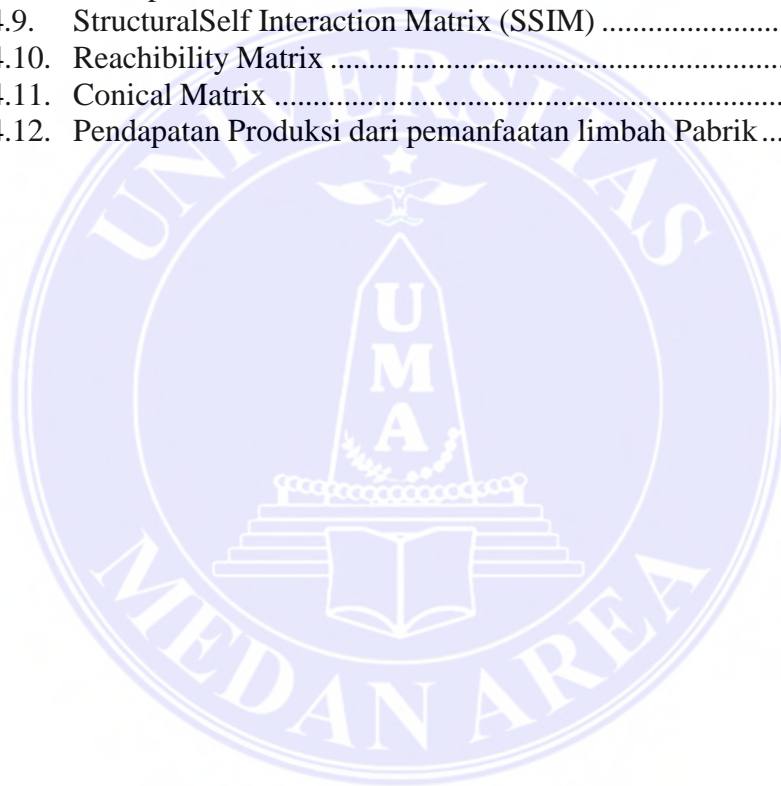
HALAMAN PENGESAHAN	i
PERNYATAAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
RINGKASAN	v
<i>SUMMARY</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah Penelitian.....	8
1.3. Tujuan Penelitian	14
1.4. Manfaat Penelitian	15
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	16
1.6. Keaslian Penelitian	16
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	18
2.1. Pengelolaan Perusahaan Perkebunan	18
2.2. Pendapatan Usahatani Kelapa Sawit.....	19
2.3. Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit.....	20
2.4. Konsep Pertanian Berkelanjutan.....	22
2.4.1. Studi Pendahuluan dan Hasil yang telah dicapai.....	28
2.5. Konsep Efisiensi dengan Model DEA	32
2.6. Technology Acceptance Model (TAM).....	34
2.6.1. Pendekatan TAM (Technology Acceptance Model).....	35
2.7. Model <i>Interpretive Structural Modelling</i> (ISM)	37
2.8. Penelitian Terdahulu	39
2.9. Kerangka Pemikiran.....	41
2.10. Hipotesis.....	42
BAB III. METODELOGI PENELITIAN	43
3.1. Pendekatan Penelitian	43
3.2. Lokasi Dan Waktu Penelitian.....	44
3.3. Tehnik Pengumpulan Data dan Analisis	45
3.3.1. Teknik Wawamcara.....	45
3.3.2. Teknik Observasi.....	46
3.4. Prosedur Kerja	45
3.4.1. Analisis Data kwantitatif (DEA).....	46

3.4.2. Analisis Deskriptif.....	49
3.4.2.1. Teknologi Acceptance Mode (TAM).....	50
3.4.2.2. Interpretative Struktur Model (ISM).....	56
BAB IV. HASIL PENELITIAN	58
4.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian	60
4.2. Efisiensi dengan pendekatan DEA	60
4.3. Persepsi Penerimaan Limbah PKS dengan Technology Acceptance Model (TAM).....	68
4.3.1. Uji Validitas Dan Realibilitas	68
4.3.2. Hasil Uji Model Pengukuran (<i>Outer Model</i>) untuk PT Padasa Enam Utama.....	69
4.3.3. Uji <i>Convergent Validity</i> (Validitas Konvergen).....	70
4.3.4. Hasil Uji <i>Convergent Validity</i>	71
4.4. Hasil Uji Model Struktural (<i>Inner Model</i>).....	70
4.4.1. Uji R. Square	72
4.4.2. Uji F. Square	74
4.4.3. Uji Q. Square.....	76
4.5. Hasil Pengujian.....	76
4.5.1. Persepsi Intensi Pengguna terhadap pengalaman dan Pengguna nyata	79
4.5.2. Persepsi Kemudahan Pengguna (PEU) terhadap pengalaman dan Pengguna Nyata (AU)	82
4.5.3. Persepsi Pengguna Nyata (AU) -> Pengalaman pengguna (PU).....	85
4.5.4. Persepsi Kegunaan (ATU) -> Pengguna Nyata (AU).....	88
4.6. Pendekatan Kebijakan dengan Model ISM	90
4.6.1. Structural Self Interaction Matrix (SSIM).....	90
4.6.2. Reachability Matrix (RM).....	91
4.6.3. Conical Matrix (Penentuan Level)	93
4.6.4. Diagram Matriks Dampak Silang pada Model Klasifikasi (MICMAC).....	96
BAB V. PEMBAHASAN UMUM.....	97
5.1. Efisiensi Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Organik Dalam Mensubstitusi Pupuk Buatan Pada Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan.	97
5.2. Pengaruh Intensitas, Kemudahan Pengguna, Persepsi Kegunaan terhadap Pengguna Nyata dan Pengalaman Pemanfaatan Limbah Cair Pada Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan.....	113
5.3. Peran Lembaga dalam Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit dengan Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit.	121
5.4. Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Organik Dapat Menjadi Alternatif Dalam Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan.....	128
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....	132
6.1. Kesimpulan.....	135
6.2. Saran	136
DAFTAR PUSTAKA	137
LAMPIRAN	159
Dokumentasi	181



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Variabel Input-Output	48
Tabel 3.2. Informan penelitian Informan Kedudukan dalam penelitian	50
Tabel 3.3. Contoh Matriks SSIM	56
Tabel 4.1. Hasil Data menggunakan Model DEA.....	65
Tabel 4.2. Dosis standar pupuk tanaman kelapa sawit menghasilkan TM..	67
Tabel 4.3. Hasil Uji Pilot Test Kuesioner	69
Tabel 4.4. Hasil Uji Convergent Validity	71
Tabel 4.5. Uji R-Square	73
Tabel 4.6. Uji F-Square	74
Tabel 4.7. Uji Q-Square	76
Tabel 4.8. Hasil path Coeficient.....	78
Tabel 4.9. StructuralSelf Interaction Matrix (SSIM)	90
Tabel 4.10. Reachibility Matrix	92
Tabel 4.11. Conical Matrix	94
Tabel 4.12. Pendapatan Produksi dari pemanfaatan limbah Pabrik.....	108



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Model Original <i>Technology Acceptance Model</i>	36
Gambar 2.2. Kerangka Pemikiran	42
Gambar 3.1. Alur Penelitian	45
Gambar 3.2. Interpretative Structural Modeling (ISM).....	58
Gambar 3.3. Diagram Fishbone Penelitian.....	59
Gambar 4.1. Hasil Uji Outer Model Penelitian pada SmartPLS 3. (2024)...	70
Gambar 4.2. Hasil Pengujian dengan bootstrapping menggunakan aplikasi SmartPLS 3.....	77
Gambar 4.3. MICMAC di Olah dengan aplikasi ISM-Profesional.	97
Gambar 4.4. Graph Level.	98
Gambar 4.5. Pendapatan Produksi dari penggunaan Limbah.....	133



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Angket Penelitian	161
Lampiran 2 Data Perolehan Efisiensi DEA.....	171
Lampiran 3 Hasil Kuesioner TAM	173
Lampiran 4 Hasil Kuesioner ISM	179
Lampiran 5 Dokumentasi	183



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkebunan kelapa sawit (*Elaeis guinensis*) di Indonesia telah berkembang mencapai 14,60 juta ha pada tahun 2019, dari sebelumnya 11,26 juta ha pada tahun 2015 (Badan Pusat Statistik, 2020). Luas areal kelapa sawit ini tersebar di 26 provinsi di Indonesia dengan luas terbesar terdapat di provinsi Riau (2,82 juta ha) diikuti oleh Kalimantan Barat (1,89 juta ha) dan Tengah Kalimantan (1,72 juta ha). Hal ini menunjukkan Kelapa sawit merupakan komoditas perkebunan utama di Indonesia yang luas lahannya semakin meningkat setiap tahunnya.

Kelapa sawit memiliki peran yang sangat penting dalam perekonomian global, terutama sebagai salah satu sumber utama minyak nabati dan bahan bakar biodiesel. Permintaan dunia terhadap produk kelapa sawit diperkirakan akan terus meningkat, seiring dengan penurunan penggunaan bahan bakar fosil dan penerapan kebijakan pemerintah China, seperti program B5 (Biodiesel campuran 5 persen dengan solar). Kebijakan ini diharapkan akan menciptakan permintaan minyak sawit mentah (CPO) sebesar 9 juta ton, yang tentunya akan berdampak positif bagi industri minyak sawit Indonesia. Hal ini terlihat dari peningkatan ekspor produk sawit Indonesia, terutama biodiesel, yang semakin mendominasi pasar global (Wahyudi, 2022).

Sektor perkebunan kelapa sawit memberikan kontribusi signifikan terhadap Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) tahunan, baik untuk perkebunan semusim maupun tahunan. Namun, dengan tingginya permintaan

pasar, sektor ini juga menghadapi dampak negatif yang besar, salah satunya adalah pengalihan fungsi lahan hijau yang mengancam kelestarian lingkungan. Pengalihan lahan tersebut menyebabkan kerusakan habitat alami serta mengurangi keanekaragaman hayati. Selain itu, semakin berkembangnya industri perkebunan kelapa sawit berimplikasi pada peningkatan emisi karbon yang tidak dapat diurai dengan cepat oleh hutan, sehingga memperburuk kualitas udara dan mengancam kesehatan lingkungan.

Di tengah tantangan tersebut, perubahan iklim menjadi permasalahan penting yang harus segera diatasi. Sejak Revolusi Industri, siklus iklim bumi telah mengalami perubahan yang signifikan. Untuk menanggulangi hal ini, pemerintah global dan organisasi internasional, seperti *United Nations* (UN), telah menginisiasi langkah-langkah pencegahan perubahan iklim melalui UN *Climate Change* dan *Paris Agreement*. Perjanjian ini, yang disepakati oleh 195 negara, bertujuan untuk menekan laju pemanasan global di bawah 2°C dan membatasi suhu bumi pada 1.5°C pada tahun 2050. Dalam perjanjian ini, terdapat beberapa kesepakatan penting, termasuk peningkatan kemampuan beradaptasi terhadap perubahan iklim, memperkuat ketahanan iklim, serta menerapkan pembangunan yang rendah emisi dan ramah lingkungan tanpa mengancam produksi pangan. Selain itu, UNDP (*United Nations Development Programme*) juga mendukung pembangunan berkelanjutan melalui 17 tujuan SDG (*Sustainable Development Goals*), dengan fokus pada konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab (Tanmaela dan Nur, 2022).

Dalam konteks agribisnis kelapa sawit, penggunaan pupuk kimia (anorganik) sering kali dianggap sebagai solusi untuk meningkatkan hasil produksi dalam jangka pendek. Namun, ketergantungan yang berlebihan terhadap pupuk anorganik justru dapat memperburuk kondisi jangka panjang perkebunan kelapa sawit dan merugikan sektor agribisnis itu sendiri. Pemakaian pupuk kimia yang tidak terkendali, jika tidak disertai dengan pengelolaan yang berkelanjutan, dapat menyebabkan degradasi tanah, yang pada gilirannya akan menurunkan kualitas dan kuantitas hasil produksi. Degradasi tanah ini tidak hanya mengancam keberlanjutan sektor perkebunan kelapa sawit, tetapi juga mengancam perekonomian negara yang bergantung pada kontribusi besar sektor ini (Galib dkk.,2022).

Selain itu, pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang kurang memperhatikan prinsip konservasi dan pemilihan bibit yang tepat dapat menyebabkan penurunan produksi yang terus menerus. Dalam hal ini, strategi penggunaan pupuk yang ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi sangat penting. Penggunaan pupuk organik, misalnya, dapat memberikan dampak positif terhadap perbaikan sifat fisik tanah, seperti peningkatan struktur tanah yang lebih baik dan kapasitas retensi air yang lebih tinggi. Namun, penggunaan pupuk organik memiliki kekurangan, yakni ketersediaan unsur hara yang relatif rendah, yang tidak dapat sepenuhnya memenuhi kebutuhan tanaman dalam hal kesuburan tanah. Oleh karena itu, pendekatan yang lebih berimbang antara pupuk organik dan anorganik perlu diterapkan untuk mencapai keseimbangan dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah.

Pemupukan yang efektif seharusnya tidak hanya berfokus pada penggunaan pupuk anorganik yang kaya akan unsur makro yang dibutuhkan tanaman, tetapi juga pada perbaikan sifat fisik dan biologi tanah. Pemberian pupuk organik menjadi pilihan utama untuk mencapai tujuan ini, karena pupuk organik dapat meningkatkan struktur tanah dan mendukung aktivitas mikroba yang sehat di dalam tanah, yang pada gilirannya akan meningkatkan kesuburan tanah secara alami (Harahap dkk.,2020). Oleh karena itu, penerapan sistem pemupukan yang berimbang antara pupuk organik dan anorganik menjadi kunci untuk memperbaiki kesuburan tanah dan memastikan keberlanjutan produksi kelapa sawit yang ramah lingkungan.

Namun, jika ketergantungan terhadap pupuk kimia tetap dipertahankan tanpa kontrol yang memadai, maka dampak negatifnya akan jauh lebih besar, salah satunya adalah terbentuknya lahan marginal yang tidak lagi produktif untuk pertanian. Ketergantungan berlebihan terhadap pupuk kimia dapat menyebabkan degradasi tanah yang mengurangi kesuburan tanah, sehingga mengancam kelestarian perkebunan kelapa sawit rakyat yang merupakan salah satu komponen penting dalam sektor agribisnis Indonesia. Degradasi tanah ini jika tidak segera ditanggulangi akan mengakibatkan penurunan hasil produksi kelapa sawit, yang pada gilirannya dapat menurunkan pendapatan petani kelapa sawit dan memperburuk kondisi perekonomian daerah. Oleh karena itu, sangat penting bagi para pelaku agribisnis kelapa sawit untuk mengadopsi praktik pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Praktik tersebut tidak hanya dapat menjaga kualitas lahan, tetapi juga meningkatkan daya saing produk kelapa sawit Indonesia di pasar global (Galib dkk.,2022).

Selain tantangan terkait penggunaan pupuk kimia, perkebunan kelapa sawit saat ini juga menghadapi kendala serius berupa serangan penyakit yang disebabkan

oleh jamur *Ganoderma boninense*, patogen utama yang menyebabkan busuk batang pada kelapa sawit. Serangan penyakit ini dapat mengakibatkan kematian tanaman kelapa sawit, yang secara langsung berdampak pada penurunan produksi dan pendapatan Perkebunan kelapa sawit. Penurunan produksi Tandan Buah Segar (TBS) yang dihasilkan dari tanaman yang terinfeksi *Ganoderma* ini berpotensi merugikan petani dan pengusaha kelapa sawit dalam jangka Panjang (Syahputra dan Purba, 2015).

Ketergantungan yang terus meningkat terhadap pupuk kimia dalam perkebunan kelapa sawit telah menimbulkan kekhawatiran sejak tahun 1970-an. Penggunaan bahan kimia yang masif di lahan perkebunan telah menyebabkan penurunan kesuburan tanah, yang tercermin dalam menurunnya produksi tanaman dan semakin meluasnya lahan terlantar. Dampak negatif ini tidak hanya berdampak pada kelapa sawit, tetapi juga pada sektor pertanian lainnya, seperti padi sawah, yang juga mengalami penurunan hasil akibat kerusakan tanah (Adrinoviarini, 2022; Nuro dkk.,2016).

Fenomena ketidakseimbangan penggunaan pupuk pada tanaman kelapa sawit dilaporkan juga berdampak negatif terhadap intensitas serangan hama penyakit, terutama penyakit yang menyebar di tanah seperti *Ganoderma*. Serangan *Ganoderma* pada perkebunan kelapa sawit dilaporkan semakin massif sehingga berdampak penurunan produktivitas tanaman (Widiastuti dkk.,2016; Semangun, 2000). Pengendalian *Ganoderma* tergolong sulit dilakukan, sebab penyebarannya melalui tanah. Selama ini pendekatan yang umum dilakukan oleh perkebunan kelapa sawit adalah dengan eradikasi tanaman yang terinfeksi, namun penyebaran yang masif menuntut pendekatan pengendalian dengan cara lebih berkelanjutan.

Penggunaan pupuk kimia di perkebunan kelapa sawit kerap dianggap

kurang efisien, terutama karena harganya yang mahal dan tidak seluruh nutrisi yang ditambahkan dapat diserap oleh tanaman. Pupuk menyumbang porsi biaya yang sangat besar dalam budidaya kelapa sawit berkisar antara 24%-30% dari total biaya produksi dan 40-60% dari biaya pemeliharaan kebun (Saprida & Wilson, 2021) bahkan dilaporkan mencapai 80% dari biaya operasional pada beberapa kasus. Ketidakefisienan pemupukan ini jelas merugikan secara ekonomi, sekaligus dapat memengaruhi kesuburan tanah serta kesehatan tanaman. Fertilisasi dikatakan efektif hanya jika sebagian besar unsur hara pupuk diserap oleh tanaman, sehingga upaya peningkatan efisiensi pemupukan menjadi fokus penting untuk menurunkan biaya produksi tanpa mengorbankan produktivitas.



Gambar 1. Tren Harga Pupuk

Gambar 1 menampilkan tren harga pasar estimasi pupuk di Indonesia periode 2000–2025 untuk empat jenis pupuk utama: Urea, TSP, KCl, dan Kieserit. Dari grafik terlihat bahwa urea mengalami kenaikan paling drastis, terutama setelah 2015. Dari harga sekitar Rp1.000/kg pada awal 2000-an, meningkat tajam hingga

menembus Rp14.000/kg pada 2025. Pola ini menunjukkan adanya lonjakan signifikan pada pupuk Urea yang dapat memicu ketidakseimbangan dalam biaya produksi, karena urea merupakan salah satu pupuk utama dalam perkebunan kelapa sawit.

Lonjakan harga tersebut meningkatkan beban biaya yang harus ditanggung oleh perusahaan maupun petani sawit, sementara efektivitas penyerapan hara oleh tanaman sering kali tidak sebanding dengan biaya yang dikeluarkan. Hal ini menyebabkan tingginya biaya input tidak sepenuhnya berkontribusi pada peningkatan produktivitas. Oleh karena itu, inovasi dalam teknologi pemupukan presisi, penggunaan pupuk organik, serta integrasi praktik agroekologi menjadi alternatif penting untuk meningkatkan efisiensi tanpa membebani biaya secara berlebihan.

Kenaikan harga pupuk berimplikasi langsung pada tingginya biaya produksi perkebunan kelapa sawit. Dengan kontribusi pupuk mencapai 24–30% dari total biaya produksi, bahkan hingga 80% dari biaya operasional pada beberapa kasus, fluktuasi harga pupuk dapat menjadi faktor penentu keberlanjutan usaha. Biaya produksi yang tinggi sering kali membuat margin keuntungan semakin tipis, terutama bagi petani kecil yang memiliki keterbatasan modal. Selain itu, kondisi ini juga dapat menurunkan daya saing produk kelapa sawit Indonesia di pasar global, memperbesar risiko alih fungsi lahan, serta menimbulkan masalah sosial-ekonomi di daerah sentra perkebunan.

Jika tren ini berlanjut tanpa intervensi, perusahaan besar akan menanggung tekanan profitabilitas, sementara petani kecil bisa terjebak pada kerentanan ekonomi. Oleh karena itu, strategi pengendalian harga pupuk, subsidi yang tepat

sasaran, dan pengembangan inovasi pupuk alternatif menjadi agenda mendesak untuk menjaga keberlanjutan industri kelapa sawit.

Dalam mendukung penerapan pertanian berkelanjutan dalam perkebunan kelapa sawit, maka pedoman yang harus dipatuhi adalah Peraturan Menteri Pertanian No 11 tahun 2015 tentang Sistem Sertifikasi Kelapa Sawit Berkelanjutan Indonesia yang sering disebut sebagai ISPO (*Indonesian Sustainable Palm Oil*). Alternatif rumusan kebijakan umum yang diperlukan dalam pembangunan kelapa sawit berkelanjutan menekankan pada aspek (i) promosi, advokasi dan kampanye publik tentang industri kelapa sawit; (ii) pengembangan dan peningkatan nilai tambah produk kelapa sawit; (iii) penguatan dan penegakan hukum pembangunan kelapa sawit berkelanjutan (ISPO) dan tata kelola perizinan; (iv) transparansi informasi pembangunan kebun kelapa sawit; (v) pengembangan aksesibilitas petani terhadap sumber daya; (vi) pengendalian konversi hutan alam dan lahan gambut; (vii) penerapan prinsip dan kriteria *Rountable Sustainable Palm Oil* (RSPO); dan (viii) pengembangan mekanisme resolusi konflik (Friskawati dan Sukhardin, 2022). Dengan penerapan kebijakan tersebut, diharapkan dapat tercipta sistem pertanian yang tidak hanya menghasilkan produk berkualitas, tetapi juga menjaga kelestarian lingkungan dan kesejahteraan sosial.

Sejalan dengan prinsip-prinsip tersebut, untuk mewujudkan pertanian kelapa sawit yang lebih efisien dan ramah lingkungan, penting untuk memaksimalkan penggunaan sumber daya secara optimal. Salah satu cara yang efektif untuk mencapai hal ini adalah dengan meningkatkan efisiensi teknis dengan pemanfaatan pengelolaan sumber daya seperti air, pupuk, dan tenaga kerja, yang pada akhirnya dapat menurunkan biaya produksi dan dampak negatif terhadap lingkungan. Penerapan teknologi modern dan praktik agronomi yang baik menjadi

kunci untuk meningkatkan efisiensi ini, baik dari segi teknis maupun ekonomis.

Pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit sebagai sumber nutrisi alternatif merupakan pendekatan yang mulai dikembangkan akhir-akhir ini. Pendekatan ini menjanjikan keberlanjutan pada perkebunan kelapa sawit, karena selain mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, juga mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan dan biaya terhadap penggunaan pupuk kimia. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit dapat mendukung prinsip-prinsip ISPO yang telah diterapkan sebelumnya, menciptakan hubungan yang saling mendukung antara kebijakan berkelanjutan dan peningkatan produksi.

Namun penerimaan limbah yang diolah menjadi pupuk organik sebagai pengganti pupuk buatan (kimia) belum sepenuhnya dapat diterima secara luas, sebab masih terdapat kekhawatiran dari pelaku usaha perkebunan terhadap kelangsungan produksi. Untuk mendukung penerapan efisiensi dan pemanfaatan limbah pabrik secara optimal, dibutuhkan kebijakan yang jelas dan terintegrasi. Kebijakan ini harus mencakup izin pengolahan limbah pabrik, alokasi anggaran sebagai prioritas, serta pengembangan infrastruktur yang mendukung pengolahan limbah menjadi pupuk berkualitas. Selain itu, penting juga untuk memperkuat kerangka hukum dan regulasi yang mengatur pengelolaan limbah, guna mendorong praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dengan mengintegrasikan efisiensi, persepsi penerimaan terhadap pemanfaatan limbah, dan kebijakan yang mendukung ISM, diharapkan dapat tercipta sinergi yang kuat dalam mencapai tujuan pertanian berkelanjutan di sektor kelapa sawit.

1.2 Perumusan Masalah Penelitian

Permasalahan pengelolaan perkebunan kelapa sawit rakyat ditengarai dapat berdampak terhadap produktivitas yang tidak berkelanjutan dan dapat

menimbulkan berbagai persoalan lingkungan lainnya seiring banyaknya konversi tanah yang dialihkan menjadi perkebunan kelapa sawit (Paramida dkk.,2019; Herudin dkk.,2021; Nasir dkk.,2021; Zamhari dkk.,2009). Pola tanam kelapa sawit umumnya secara monokultur, sebab tanaman ini termasuk jenis intoleran yang membutuhkan tingkat cahaya matahari penuh untuk memicu proses pembungaan dan buah. Kelapa sawit membutuhkan berbagai kondisi *site* yang sesuai untuk mendapatkan produksi yang maksimal. Sedangkan permasalahan tempat tumbuh (*site*) tidak banyak menjadi perhatian perkebunan. Perkebunan umumnya lebih memperhatikan tingkat kesuburan tanah semata tanpa memperhatikan keseluruhan elemen lingkungan tempat tumbuh yang berperan penting terhadap kelestarian lingkungan.

Dampak lingkungan dari pengolahan kelapa sawit (ADB, 2006) yaitu Pembakaran tandan buah kosong melepaskan partikel ke atmosfer, dan pembuangan tandan buah kosong sembarangan menghasilkan emisi metana tambahan ke atmosfer. Pencernaan anaerobik menghasilkan biogas, yang dilepaskan ke atmosfer dan mengandung sekitar 65% metana, salah satu gas rumah kaca yang paling kuat. Serta pembuangan POME (Palm Oil Mill Effluent) atau limbah cair pabrik kelapa sawit ilegal ke sungai mencemari air dan dapat membahayakan kehidupan air (Prakitri, 2022).

Variabel produksi kelapa sawit adalah salah satu faktor yang dapat menjadi ukuran dalam mempertahankan sustainabilitas perkebunan secara keseluruhan. Tingkat pendapatan yang ditunjukkan oleh produksi yang terus terjaga adalah kriteria utama bagi perkebunan. Oleh sebab itu untuk mengetahui seberapa tingkat sustainabilitas tersebut penting diketahui tingkat pendapatan dari perkebunan kelapa sawit. Dengan pendekatan kelestarian ekologis yang mempertahankan

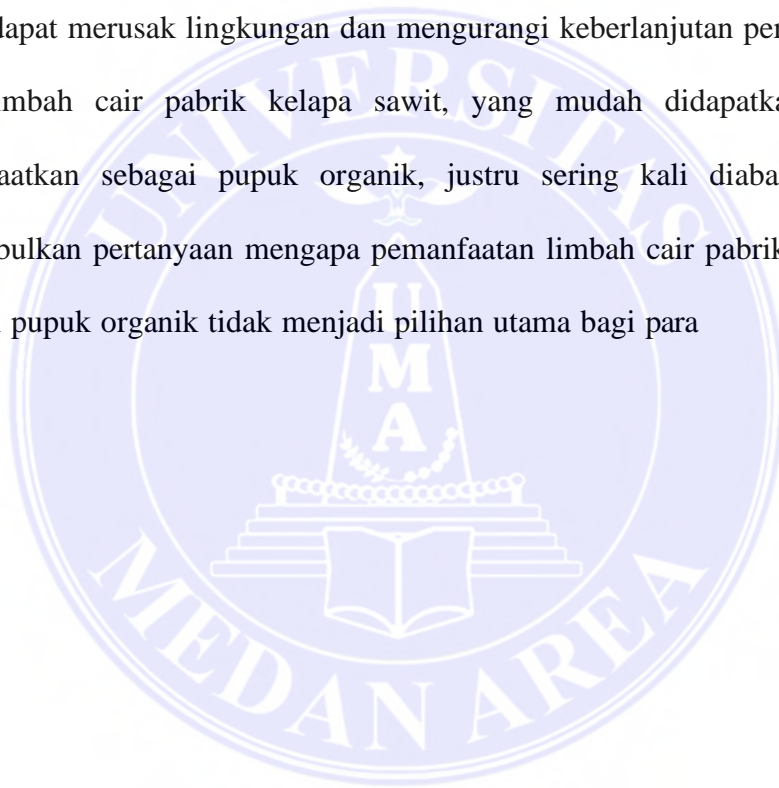
kondisi *site* sehingga tidak terjadi degradasi adalah variable lain ukuran kelestarian. Namun kedua factor ini umumnya dilakukan secara bertolak belakang dalam mempertahankan kelestariannya. Perkebunan umumnya sangat termotivasi untuk melakukan pemupukan kimia anorganik yang mempunyai dampak secara langsung secara cepat daripada penggunaan pupuk organik (Fawzy dkk.,2022) (I. Handayani dan Elfarisna, 2021) (Harahap dkk.,2020).

Sehingga dapat dikatakan upaya penggunaan pupuk organik bukan menjadi pilihan utama petani kelapa sawit untuk meningkatkan produksi tanamannya. Walaupun demikian penggunaan pupuk organik baik pupuk kandang maupun pupuk hijau terbukti telah banyak dipakai dalam upaya memperbaiki sistem budidaya pada beberapa tanaman. Penggunaan pupuk organik tersebut dilaporkan dapat menjaga kondisi hasil tanaman yang ditunjukkan dengan produksi yang terus tinggi. Secara teoritis penggunaan pupuk organik akan memperbaiki sifat fisik tanah, namun memiliki kandungan unsur hara yang jauh lebih sedikit dibanding dengan pupuk kimia (Handayani dan Elfarisna, 2021; Harahap dkk.,2020; Eliyanti dkk.,2021).

Dilema dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit semakin kompleks, terutama terkait dengan ketidakseimbangan antara pencapaian hasil produksi tinggi dan perlindungan kelestarian lingkungan. Isu ini semakin tajam ketika tanaman kelapa sawit di lapangan menghadapi serangan penyakit akar, seperti Ganoderma, yang dapat menyebabkan kerugian besar bagi para petani. Penyakit akar Ganoderma menjadi momok utama karena pengendaliannya yang sangat sulit, dan upaya untuk menanggulangnya hingga saat ini belum sepenuhnya berhasil. Oleh karena itu, salah satu pendekatan yang dianggap efektif adalah dengan memodifikasi lingkungan tanaman agar lebih tahan terhadap serangan jamur

penyebab penyakit akar tersebut. Dalam hal ini, pemakaian pupuk organik, termasuk limbah cair pabrik kelapa sawit, menjadi solusi potensial yang dapat meningkatkan ketahanan tanaman dan sekaligus mendukung pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan.

Meskipun demikian, penerapan pupuk organik masih sangat terbatas di lapangan. Praktik yang lebih umum dilakukan adalah penggunaan pupuk anorganik atau kimiawi, meskipun diketahui bahwa dalam jangka panjang, penggunaan pupuk kimia dapat merusak lingkungan dan mengurangi keberlanjutan pertanian. Di sisi lain, limbah cair pabrik kelapa sawit, yang mudah didapatkan dan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik, justru sering kali diabaikan. Hal ini menimbulkan pertanyaan mengapa pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik tidak menjadi pilihan utama bagi para



petani, padahal manfaatnya dalam mendukung pertanian berkelanjutan sangat besar. Salah satu faktor yang mempengaruhi rendahnya penerimaan terhadap penggunaan limbah cair ini adalah persepsi yang kurang positif terhadap pemanfaatan limbah sebagai pupuk, yang masih dipandang sebelah mata oleh sebagian besar pelaku industri kelapa sawit.

Kendala lainnya adalah kebijakan yang belum sepenuhnya mendukung penggunaan limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik. Meskipun penggunaan pupuk organik mendukung konsep pertanian berkelanjutan, implementasi yang efektif masih terhambat oleh kurangnya regulasi yang memadai dan kebijakan yang tidak terintegrasi dengan baik. Hal ini mengarah pada kebutuhan untuk merumuskan kebijakan yang dapat mendorong efisiensi dalam pengelolaan limbah, serta mengubah persepsi manajemen perkebunan dan pelaku industri kelapa sawit mengenai manfaat penggunaan limbah pabrik sebagai pupuk organik. Selain itu, kebijakan tersebut juga harus mencakup dukungan terhadap pengembangan infrastruktur yang memadai, serta adanya insentif yang dapat meningkatkan daya tarik pemanfaatan limbah sebagai pupuk yang ramah lingkungan.

Untuk mencapai perkebunan kelapa sawit berkelanjutan, selain membangun kebijakan yang mendukung, perlu ada pendekatan yang mengintegrasikan berbagai faktor, terutama efisiensi dalam pengelolaan sumber daya, perubahan persepsi terhadap penggunaan limbah, dan penerapan kebijakan yang jelas terkait pengolahan limbah menjadi pupuk organik. Optimalisasi pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik menjadi

aspek krusial dalam mewujudkan sistem pengelolaan perkebunan yang berkelanjutan. Pendekatan ini dapat diterima jika menguntungkan secara ekonomi, serta mempertimbangkan faktor lingkungan, sosial, dan kelembagaan guna memastikan implementasi yang efektif serta penerimaan oleh berbagai pemangku kepentingan. Dengan demikian, penting dilakukan penelitian untuk mengetahui pemanfaatan limbah PKS sebagai pupuk organik dapat berkontribusi terhadap produktivitas perkebunan kelapa sawit.

Oleh sebab itu rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik efisien pada pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan?
2. Bagaimana pengaruh intensitas, kemudahan penggunaan, dan persepsi kegunaan terhadap pengguna nyata dan pengalaman pemanfaatan limbah cair pada pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan?
3. Bagaimana peran kelembagaan dalam pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah:

1. Untuk menganalisis efisiensi pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik efisien pada pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan.
2. Untuk menganalisis pengaruh intensitas, kemudahan penggunaan, dan persepsi kegunaan terhadap pengguna nyata dan pengalaman pemanfaatan limbah cair pada pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan.

3. Untuk menganalisis peran kelembagaan dalam pengelolaan Perkebunan kelapa sawit dengan pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting bagi sektor agribisnis kelapa sawit dengan memberikan wawasan baru mengenai pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik. Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Peningkatan Pemahaman Teknologi Pemupukan Berkelanjutan dengan memberikan pemahaman lebih dalam mengenai potensi pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai teknologi pemupukan yang ramah lingkungan, serta kemampuan limbah tersebut untuk mensubstitusi pupuk buatan, yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan kimia dan mendukung pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan.
2. Efisiensi dengan pemanfaatan Limbah sebagai pengganti pupuk buatan dalam Pengelolaan Perkebunan sehingga dapat mengurangi biaya produksi, sekaligus mempertahankan keberlanjutan produk kelapa sawit.
3. Pemahaman Persepsi dan Pengalaman Pengguna terkait pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit.
4. Identifikasi Peran Lembaga Terkait yang mendominasi dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit dengan pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit.
5. Pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik dapat menjaga produksi kelapa sawit yang berkelanjutan, sekaligus mempertahankan pendapatan petani dan pengusaha perkebunan kelapa sawit.
6. Alternatif dalam Pengelolaan Perkebunan Berkelanjutan dengan

mengurangi penggunaan pupuk kimia dan meningkatkan keberlanjutan sumber daya alam.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini berfokus pada pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit (POME) sebagai pupuk organik untuk mendukung pengelolaan perkebunan berkelanjutan di Sumatera Utara, dengan menganalisis aspek teknis, ekonomi, sosial, dan kebijakan. Penelitian mencakup evaluasi dampak aplikasi POME terhadap produktivitas tanaman dan efisiensi biaya, persepsi serta adopsi petani terkait kemudahan penggunaan dan manfaat nyata, peran kelembagaan dan regulasi dalam mendukung pengelolaan limbah, serta dampak sosial-ekonominya terhadap kesejahteraan petani dan lingkungan. Melalui pendekatan multidisiplin, studi ini bertujuan merumuskan model pemanfaatan POME yang optimal guna menciptakan sistem perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

1.6 Keaslian Penelitian

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan telah banyak dilakukan, terutama berfokus pada aspek pengujian terhadap tanaman dan kualitas tanah. Namun, kajian-kajian tersebut masih terbatas pada evaluasi teknis dan agronomis semata, tanpa menyentuh aspek-aspek penting lainnya yang berperan dalam keberhasilan implementasi teknologi ini secara menyeluruh.

Penelitian ini memiliki keaslian yang menonjol karena mengisi kekosongan kajian yang selama ini belum banyak disentuh, yaitu:

1. Analisis Efisiensi Pemanfaatan Limbah

Penelitian ini tidak hanya menilai dampak pupuk organik dari limbah kelapa

sawit terhadap tanaman dan tanah, tetapi juga mengkaji efisiensi penggunaan limbah tersebut dalam konteks pengelolaan perkebunan kelapa sawit. Hal ini mencakup evaluasi biaya operasional, biaya tenaga kerja, luas lahan dibutuhkan untuk mengoptimalkan pemanfaatan limbah sebagai pupuk dalam meningkatkan produksi dan pendapatan.

2. Penerimaan Teknologi oleh Petani dan Pengelola Perkebunan

Kajian ini juga meneliti tingkat penerimaan teknologi pupuk organik berbasis limbah kelapa sawit oleh para petani dan pengelola perkebunan. Aspek ini penting untuk memastikan bahwa teknologi yang dikembangkan dapat diadopsi secara luas dan berkelanjutan, hal ini mencakup kemudahan pengguna, persepsi kegunaan, intensitas, pengguna nyata, dan pengalaman.

3. Aspek Kelembagaan dalam Pengelolaan Limbah

Penelitian ini menyoroti peran kelembagaan, baik formal maupun informal, dalam mendukung pengelolaan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik. Hal ini meliputi kebijakan, dukungan, alokasi anggaran, ketersediaan lahan, ketersediaan sarana prasarana, struktur organisasi dan kesamaan persepsi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengelolaan Perusahaan Perkebunan

Upaya menuju pengelolaan perkebunan kelapa sawit diutamakan dapat memenuhi metode standar untuk menjamin keberlanjutan usahatani kelapa sawit. Untuk mencapai tujuan tersebut pemerintah Indonesia telah menerbitkan sisi Peraturan Presiden No. 44 Tahun 2020 tentang Sistem Sertifikasi Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan Indonesia. Landasan pembangunan perkebunan kelapa sawit rakyat berkelanjutan saat ini dipentingkan untuk memenuhi standar pengelolaan berkelanjutan dengan sertifikasi ISPO.

Upaya untuk mendorong perkebunan kelapa sawit secara berkelanjutan telah memasuki periode yang urgen untuk dikembangkan. Berdasarkan tenggang waktu yang disyaratkan bagi perkebunan rakyat untuk mencapai pengelolaan berkelanjutan harus dapat dicapai pada tahun 2025. Setelah periode tersebut kewajiban pemenuhan prinsip dan kriteria ISPO menjadi syarat wajib.

Dalam mekanisme sertifikasi ISPO wajib memenuhi 5 prinsip dan 30 indikator. Implementasi ISPO tidak mudah karena tingkat kesiapan dari perkebunan untuk melakukan sertifikasi masih sangat rendah. Namun upaya penerapan sertifikasi ISPO tanpa diikuti dengan perbaikan dan pendampingan pengelolaan perkebunan kelapa sawit justru berpotensi mengeksklusi (mendiskriminasi) petani sawit karena mereka masih belum siap dan banyak menghadapi kendala pemenuhan aspek penilaian.

Kelapa sawit memiliki nilai ekonomi tinggi karena buahnya dapat diolah menjadi produk setengah jadi seperti *Crude Palm Oil (CPO)* dan *Palm Kernel Oil (PKO)*. Namun, perkebunan kelapa sawit juga berhadapan dengan masalah lingkungan yang signifikan. Sekitar setengah dari delapan juta hektar perkebunan yang saat ini produktif telah dikembangkan melalui deforestasi sebelumnya. Untuk menjaga kualitas, kuantitas, dan daya saing kelapa sawit di pasar internasional, pemerintah Indonesia mengembangkan standarisasi sertifikasi yang dikenal sebagai ISPO (Imansari, 2015). ISPO diatur melalui Peraturan Menteri Pertanian No. 11/Permentan/OT.140/3/2015 tentang Sistem Sertifikasi Kelapa Sawit Berkelanjutan Indonesia (*Indonesian Sustainable Palm Oil Certification System/ISPO*). ISPO mencakup tujuh prinsip yang meliputi legalitas usaha perkebunan, manajemen perkebunan, perlindungan terhadap pemanfaatan hutan alam primer dan lahan gambut, pengelolaan dan pemantauan lingkungan, tanggung jawab terhadap pekerja, tanggung jawab sosial dan pemberdayaan ekonomi masyarakat, serta peningkatan usaha secara berkelanjutan (Dewi, 2014).

Tiga prinsip ISPO yang dijelaskan adalah prinsip legalitas usaha kebun, manajemen perkebunan, dan pemantauan serta pengelolaan lingkungan. Prinsip legalitas usaha penting untuk menjaga kegiatan perusahaan agar sah secara hukum dan diakui oleh negara. Prinsip manajemen perkebunan diperlukan guna menjaga kualitas dan kuantitas Tandan Buah Segar (TBS), CPO, dan kernel. Sementara itu, prinsip pemantauan dan pengelolaan lingkungan merupakan tanggung jawab perusahaan terhadap lingkungan, sehingga TBS, CPO, dan kernel yang dihasilkan dapat dianggap ramah lingkungan. Dengan menerapkan prinsip-prinsip ini, perusahaan dapat memastikan pengelolaan perkebunan yang baik (Imansari, 2015).

2.2. Pendapatan Usahatani Kelapa Sawit

Sektor pertanian di Indonesia memegang peranan penting dalam pembangunan ekonomi nasional, mengingat lebih dari 55% penduduk Indonesia menggantungkan hidupnya pada kegiatan pertanian, termasuk di antaranya petani kelapa sawit (Pranoto, 2002; Setyamidjaja dan Djoehana, 1991). Oleh karena itu, pendapatan dari sektor ini umumnya dikenal sebagai pendapatan usahatani. Pendapatan usahatani sendiri dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu: (1) pendapatan kotor, yang merupakan total penghasilan petani dalam satu tahun dan dapat dihitung dari hasil penjualan atau pertukaran hasil panen yang dinilai berdasarkan harga pasar per satuan berat saat panen; dan (2) pendapatan bersih, yaitu pendapatan total dikurangi seluruh biaya produksi yang dikeluarkan selama proses Bertani (Gustiyana, 2004). Dalam perhitungan pendapatan usahatani, terdapat dua komponen utama, yakni penerimaan dan pengeluaran. Penerimaan dihitung dari hasil perkalian antara jumlah total produk dengan harga jual per satuan, sedangkan pengeluaran mencakup semua biaya yang dikeluarkan selama proses produksi, termasuk penggunaan sarana produksi (Ahmad, 2001). Secara umum, konsep produksi dalam pertanian berhubungan erat dengan penerimaan dan biaya, di mana pendapatan dihitung dari selisih antara total penerimaan dan total biaya produksi (Mubyarto, 1989).

Pendapatan pelaku Perkebunan kelapa sawit jika di bandingkan dengan pendapatan di luar Perkebunan kelapa sawit, maka pendapatan pelaku usaha masih tergolong lebih kecil (Andriani, 2017), tetapi pendapatan usaha perkebunan dapat di tingkatkan dengan melakukan peningkatan produksi pertanian seperti pemupukan, sebab dengan pemupukan misal dengan pupuk NPK dapat meningkatkan produktifitas pertanian dan meningkatkan kesejahteraan petani dari

segi pendapatan (Pulungan dkk.,2020), selain itu pendapatan perkebunan dapat ditingkatkan dengan melakukan percepatan pendapatan melalui peningkatan kinerja pemasaran dan strategi bersaing yang bisa diterapkan pada perkebunan misalnya petani sawit dengan memberikan pelatihan dan pendampingan keterampilan, Keunggulan bersaing, inteligen pesaing, (Savitri dan Natariasari, 2021). Peningkatan kinerja pemasaran, modal dan luas lahan juga dianggap dapat mempengaruhi dalam meningkatkan pendapatan para petani secara signifikan (Kosmayanti dan Ermia, 2017; Damanik, 2014). Modal dalam perkebunan dapat diklasifikasikan sebagai bentuk kekayaan baik berupa uang maupun barang yang digunakan untuk menghasilkan sesuatu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam suatu proses produksi (Soekartawi, 2002).

Penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi et al judul Analisis pendapatan Usahatani Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Kecamatan Waru Kabupaten Penajam Paser Utara. Didapat hasil Rata-rata pendapatan usahatani kelapa sawit sebesar Rp. 19.882.641,92 tahun⁻¹ ha⁻¹ (Pratiwi, D.A. Maryam, S. Balkis, 2020). Usahatani kelapa sawit di Kecamatan Waru secara ekonomi menguntungkan berdasarkan nilai rasio R/C sebesar 4,44 atau lebih besar dari 1. Hal ini berarti bahwa untuk setiap tambahan Rp. 1.000,00 biaya yang dikeluarkan oleh pelaku usaha akan menghasilkan pendapatan sebesar Rp. 4.440,00, selain dari luas lahan Sistem Integrasi Sapi Dan Kelapa Sawit juga dapat meningkatkan pendapatan usaha tani kelapa sawit (Sirait dkk.,2015). Sehingga dapat jelaskan bahwa Budidaya kelapa sawit dapat meningkatkan taraf hidup dan pendapatan perusahaan besar dan rumah tangga petani kecil (Chrisendo dkk.,2022).

Jelaslah bahwa pendapatan perkebunan kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh produksi kebun perhektar. Produksi ditentukan oleh penampilan tanaman

dilapangan yang dicirikan oleh variable buah per tanaman. Kualitas dan kuantitas buah kelapa sawit ditentukan secara genetic dari induknya. Jenis-jenis yang memiliki genetic baik hanya didapatkan dari sumber benih yang baik pula. Selain itu variable pengelolaan dilapangan yang sangat beragam akan menentukan hasil akhir produk sawit yang diharapkan. Penurunan produksi terutama terjadi ketika pertanaman terkena serangan penyakit, khususnya penyakit agar ganoderma.

Upaya yang dilakukan untuk mengatasi penyakit ganoderma telah dilakukan dengan berbagai pendekatan mekanik dan kimia, tetapi tidak mampu menekan pertumbuhan jamur secara signifikan. Dalam prinsip-prinsip pertanian berkelanjutan pemakaian obat-obatan kimia dapat berdampak buruk bagi tanaman dan lingkungan dalam jangka panjang. Pendekatan yang terintegrasi dengan pemanfaatan pupuk organik dapat menjadi strategi pendekatan baru dalam menekan pertumbuhan penyakit akar tersebut (Mulia Raja dkk.,2021; Ideriah, dkk., 2007).

2.3. Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Salah satu strategi yang umum dilakukan oleh pihak perkebunan dalam mengatasi serangan penyakit adalah dengan pemakaian fungisida sintetis. Para petani cenderung memilih fungisida berbahan kimia sintetis sebagai metode utama pengendalian penyakit karena kemudahan penggunaannya serta hasil yang relatif cepat terlihat (Angraini, 2017). Namun demikian, efektivitas fungisida sintetis dalam menekan pertumbuhan patogen seperti *Ganoderma boninense* (Widiastuti dkk.,2016) dan *Curvularia sp.* (Susanto, 2013) masih dipertanyakan. Penggunaan dalam jangka panjang justru berisiko menimbulkan resistensi, terjadinya resurgensi, serta meninggalkan residu yang membahayakan lingkungan (Susanto, 2013). Oleh karena itu, penting untuk mencari alternatif pengendalian yang lebih ramah

lingkungan. Salah satu opsi yang mulai dilirik adalah pemanfaatan limbah cair dari pabrik kelapa sawit sebagai bahan aktif fungisida untuk menghambat patogen penyebab penyakit busuk pangkal batang dan bercak daun pada tanaman kelapa sawit (Retno, 2014).

Limbah cair ini termasuk limbah organik yang dihasilkan selama proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi minyak sawit mentah atau *crude palm oil* (CPO) di pabrik kelapa sawit (PKS). Setiap satu ton TBS yang diproses dapat menghasilkan antara 0,50 hingga 0,75 ton limbah cair (Yacob dkk.,2005). Limbah cair kelapa sawit merupakan hasil samping dari pengolahan tanaman kelapa sawit yang bukan merupakan produk utama. Proses pengelolaan limbah cair di PKS meliputi beberapa tahap, yakni melalui kolam *fat pit*, kolam pendinginan, kolam inokulasi bakteri, kolam pengasaman, kolam dekomposisi anaerobik, kolam aerobik, kolam sedimentasi, hingga aplikasi ke lahan (Hanim dkk.,2020). Limbah cair ini kaya akan unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), magnesium (Mg), dan kalsium (Ca), sehingga memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi bagi tanaman kelapa sawit. Selain membantu menjaga kelembapan tanah, limbah ini juga dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah serta meningkatkan kandungan hara dalam tanah (Mulia Raja dkk.,2021).

Limbah cair yang dihasilkan oleh Pabrik kelapa sawit ini dapat dimanfaatkan sebagai pupuk mengingat kandungan hara yang terkandung di dalamnya dapat digunakan oleh tanaman sebagai sumber hara adapaun unsur yang terdapat di dalamnya meliputi nitrogen, fosfor, kalium, magnesium dan calcium. Unsur-unsur hara yang banyak terdapat dalam limbah cair pabrik kelapa sawit adalah N (450-590 mg L⁻¹), P (92-104 mg L⁻¹), K (1,246-1,262 mg L⁻¹) dan Mg

(249- 271 mg L⁻¹) (Ideriah, T.J.K., P.U Adiukwu, H.O. Stainley, 2007).

2.4. Konsep Pertanian Berkelanjutan

Pertanian berkelanjutan menjadi isu penting dalam pembangunan pertanian saat ini, apalagi pada perkebunan kelapa sawit rakyat. Telah disadari akhir-akhir ini pendekatan keberlanjutan menjadi syarat bagi berbagai sistem agribisnis kelapa sawit. Seperti contoh dimana dunia internasional seringkali mempermasalahkan perkebunan kelapa sawit sebagai anasir perusak hutan dan lingkungan. Sumatera utara khususnya adalah salah satu daerah penting dalam pembangunan perkebunan kelapa sawit. Daerah ini menjadikan perkebunan sebagai komoditi unggulan daerah yang telah dikembangkan sejak era kolonial. Ditambah dengan berbagai isu konversi perkenunan non-sawit menjadi kelapa sawit menambah isu keberlanjutan ekosistem menjadi demikian penting.

Berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian Republik Indonesia (Ditjenbun, 2022), perkebunan kelapa sawit di Sumatera Utara mencapai luas 441.400 Ha, atau 7,3 persen dari total luas perkebunan rakyat

Indonesia mencapai 6.044.058 Ha. Produksi total kelapa sawit rakyat 1.583.945 Ton, atau mencapai 10,2 persen dari total produksi perkebunan kelapa sawit rakyat secara nasional 15.495.427 Ton. Jumlah orang yang bekerja pada perkebunan kelapa sawit rakyat mencapai 2.558.741, dan di Sumatera Utara 192.307 orang. Walaupun dalam areal luas masih dibawah propinsi Riau, Jambi, kalbar dan Sumsel, namun produktifitas perkebunan kelapa sawit, Sumatera Utara cukup tinggi sebesar 4.124 kg/ha dibawah Bengkulu dan Sumsel.

Tingginya minat pengembangan perkebunan kelapa sawit tersebut, jika tidak disertai dengan pendekatan pertanian/perkebunan secara berkelanjutan dikhawatirkan dalam jangka panjang berdampak negatif terhadap sistem ekologi dan sosial ekonomi masyarakat. Sistem yang tidak dikelola secara lestari, cepat atau lambat akan terjadi degradasi dan pada akhirnya akan menurunkan kualitas dan kuantitas hasil. Secara ekonomi merugikan petani dan daerah yang mengandalkan PAD dari perkebunan seperti propinsi Sumatera Utara ini. Dampak lain degradasi lahan adalah penurunan kualitas lahan dan kawasan dan dapat memicu muncul lahan-lahan kritis yang tidak lagi produktif. Hal itu menjadi masalah laten bagi wilayah ini dan Indonesia umumnya. Dengan demikian implementasi konsep pertanian berkelanjutan pada perkebunan kelapa sawit merupakan urgen untuk dilakukan.

Pembangunan perkebunan kelapa sawit secara berkelanjutan pada dasarnya menitik beratkan kepada tiga faktor, yaitu ekologis, ekonomis dan sosial-budaya. Pertanian berkelanjutan tidak dapat berdiri sendiri sebagai aksi ekologis semata tanpa disertai penerimaan secara sosial budaya pada masyarakat

setempat. Oleh sebab itu kegiatan pertanian berkelanjutan pada dasarnya tidak dapat dipisahkan dengan perilaku masyarakat (petani) setempat. Telah banyak penelitian yang fokus pada perkebunan berkelanjutan terhadap variable-variabel fisik, tetapi jarang melihat sebagai suatu aktifitas sosial masyarakat.

Berdasarkan pemaknaan diatas dapat disebutkan tujuan Pertanian berkelanjutan adalah menjamin pendapatan perkebunan dalam hal ini tidak terjadi penurunan hasil pertanian dalam bentuk income. Pendapatan yang terjadi dalam jangka pendek-menengah-panjang adalah strategi utama pendekatan pertanian berkelanjutan. Selama ini aspek pendapatan perkebunan sering terjadi bertolak belakang dengan kelestarian secara ekologis. Upaya meningkatkan pendapatan umumnya dilakukan dengan meningkatkan input kelahan setiap tahun. Jadi upaya untuk mempertahankan hasil kebun selalu disertai upaya penambahan input kelahan. Sedangkan input secara terus-menerus akan merusak tanah sebagai media tumbuh tanaman, dimana tanah memiliki keterbatasan daya dukung lahan. Tanah-tanah pertanian umumnya telah dimasukkan berbagai input tinggi dalam bentuk anorganik dan kimia lainnya. Secara singkat dan cepat aktifitas ini dapat berdampak peningkatan hasil tanaman, tetapi dalam jangka panjang justru sebaliknya menurunkan daya dukung lahan. Bahkan kasus perubahan tanah-tanah produktif menjadi lahan terlantar karena turunnya tingkat kesuburan yang ditandai dengan pertumbuhan alang-alang secara massif telah menjadi temuan umum didunia pertanian.

Pembangunan pertanian berkelanjutan adalah bagian dari pembangunan berkelanjutan dengan tujuan memenuhi kebutuhan generasi saat ini dan tidak

berdampak terhadap kemampuan sistem memenuhi kebutuhan pada masa yang akan datang. Pembangunan berkelanjutan dikatakan berhasil jika tidak terjadi penurunan kemampuan sistem dalam jangka panjang. Model ini dikenal sebagai pembangunan yang berpusat pada manusia yang berarti meletakkan manusia sebagai subjek dalam pembangunan. Jadi pembangunan berkelanjutan bertujuan untuk memenuhi pengembangan struktur kebutuhan masyarakat menjadi maju, mandiri dan sejahtera.

Dilihat secara ekologis, pembangunan berkelanjutan lebih berfokus kepada sistem ekologi yang mampu bertahan dalam jangka panjang. Dengan kata lain ekosistem tidak rusak oleh tujuan-tujuan mendapatkan hasil dari lahan dan pertanian. Berbagai pendekatan pertanian untuk tujuan mempertahankan ekosistem tidak rusak telah dilakukan seperti pertanian konservasi, tumpang sari, atau pertanian model lorong yang menggabungkan berbagai jenis tanaman pertanian. Penggabungan jenis-jenis tersebut akan menurunkan tingkat erosi pada lahan yang difasilitasi oleh strata tajuk yang multistarata. Akibatnya tanah dapat menerima jatuhnya air hujan (*rain fall*) dan terus terserap kedalam tanah.

Dipandang dari sisi ekonomi maka keberlanjutan disini ditunjukkan oleh produktivitas terus menerus dalam jangka panjang bahkan antar generasi (secara ekonomi *viabel*). Keberlanjutan produktivitas tidak akan kontinu jika terjadi degradasi lahan usaha tani. Berlanjut secara ekonomi ini berarti perkebunan dapat cukup menghasilkan untuk pemenuhan kebutuhan dan atau pendapatan yang cukup untuk mengembalikan tenaga dan biaya yang telah dikeluarkan (Gips, 1986 dalam Budjang Rusman, 2004).

Secara ekologi keberlanjutan diartikan tidak terjadi degradasi pada tanah dan lingkungan atau mantap secara ekologi. Kualitas sumberdaya alam dan agroekosistem mampu dipertahankan secara keseluruhan. Pendekatannya adalah dengan melakukan perbaikan dalam manajemen usaha perkebunan melalui pertanian konservasi. Menurut Sinukaban (1999) system usaha perkebunan konservasi dapat menjamin suatu perkebunan berkelanjutan dengan melengkapi usaha perkebunan dengan praktek konservasi sebagai pelaku usaha yang telah diperbaiki (*improved farming system*) dimana dapat menjamin produktivitas dan *income* yang tinggi, laju erosi rendah, dan teknologi pertanian yang mudah diadopsi dan di praktekkan. Kombinasi pengetahuan lokal petani dalam menetapkan praktek pertanaman (konservasi) yang cocok terhadap permasalahan lokal merupakan faktor penting agar sistem dapat berkelanjutan, termasuk pemahaman tentang agroekologi setempat dan praktek budidaya tanaman yang mengedepankan unsur-unsur konservasi juga menentukan keberhasilan sistem ini (Partohardjono, 1999).

Aspek sosial budaya menekankan pada nilai-nilai masyarakat dimana pola usaha tani tersebut sesuai dan cocok dengan kondisi masyarakat, dan memberikan stabilitas dan pembangunan komunitas dan masyarakat (Adulavidhaya dan Jitsangun, 1993). Kecocokan budaya, tradisi dan struktur sosial adalah faktor yang sangat penting dalam keberlanjutan sistem. Dibutuhkan pendekatan yang melibatkan masyarakat setempat dalam menentukan teknologi dan manajemen usaha tani yang dibutuhkan. Tujuan peningkatan produksi dan pendapatan menjadi tidak penting bagi perkebunan jika bukan sebagai jawaban terhadap permasalahan perkebunan itu sendiri (Raintree, 1990).

Beberapa penelitian tentang praktek pertanian berkelanjutan seperti pertanian organik yang dianggap cocok dengan dimensi ekonomi, sosial dan

lingkungan di Sub-Sahara Afrika (Kleemann, 2013). Model lain yang dilakukan seperti diversifikasi jenis tanaman di Malaysia dalam suatu usaha tani untuk memenuhi kebutuhan berbagai permintaan yang meningkat untuk pangan, serat, kayu bahak, dan makanan ternak untuk menyehatkan lingkungan dengan petani mendapatkan penghasilan yang lebih menjanjikan (Bachal Jamali dkk.,2011).

Hasil penelitian (Knutson dkk.,2011) bahwa pertanian berkelanjutan mampu mengadaptasi berbagai perubahan lingkungan, tetapi faktor pembatas sosial ekonomi kurang dipertimbangkan/ diatasi, bahkan sering tidak ditengarai. Menurut (Biggelaar, 2000) Praktek dan teknologi pertanian berkelanjutan mampu secara konvensional meningkatkan produksi tanaman dan ternak dengan sedikit kerusakan lingkungan, namun dampak terhadap kelembagaan dan sosial dimana pertanian tersebut dilaksanakan kurang jelas. Sedangkan Kumbhar dkk., (2012) dan Bruges dkk., (2008) menyoroti pentingnya kebijakan untuk efektifitas transfer teknologi pertanian berkelanjutan dan pengelolaan sumber daya alam.

Faktor petani merupakan pelaku yang terpenting dalam Perkebunan berkelanjutan. Untuk itu harus memiliki mental positif dan pengetahuan yang cukup, serta disupport oleh pihak-pihak lain untuk mendukung praktek pertanian berkelanjutan (Azman dkk.,2013). Menurut (Owubah dkk.,2001) sedikit petani mengarah kepada praktek berkelanjutan dalam mengelola sumber daya ketika kurang insentif buat mereka. Kompensasi ekonomi adalah tenure yang signifikan dalam adopsi dan implementasi praktek berkelanjutan.

Pendekatan pertanian berkelanjutan menitik beratkan keberadaan ketiga variabel tersebut secara simultan. Berbagai permasalahan karet rakyat seperti produksi rendah yang didominasi porsi karet tua, belum efisiennya pemasaran, serta pengadaan bibit unggul dan saprodi lainnya (Siregar dkk.,2012) merupakan dampak

pengelolaan yang parsial dan tidak berkelanjutan. Hal ini berkaitan dengan penguasaan sumber daya yang bersangkutan, dalam hal ini perkebunan kelapa sawit rakyat. Ketika sistem penguasaan tersebut mampu menjamin hak-hak masyarakat dalam pengelolaannya maka kreatifitas petani dalam mengembangkan sistem dapat dilakukan, termasuk pengelolaan berkelanjutan.

2.4.1 Studi Pendahuluan dan Hasil yang Telah Dicapai

Berbagai upaya untuk penggunaan pupuk organik telah dilakukan untuk mendukung sistem berkelanjutan. Penggunaan pupuk organik menunjukkan berbagai dampak positif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman. Penggunaan bahan-bahan organik terbukti dapat mendorong peningkatan hasil pada tanaman padi (Bachtiar dkk.,2020; Amiroh dkk.,2018; Galib dkk.,2022).

Pemakaian pupuk organik ditemukan dapat menurunkan penggunaan pupuk anorganik, seperti yang dilakukan pada penelitian Eliyanti dimana dapat menurunkan penggunaan pupuk anorganik (Eliyanti dkk.,2021). Upaya untuk meningkatkan produk perkebunan seringkali juga dibatasi oleh permasalahan modal (Hariyadi dkk.,2009).

Strategi perimbangan pemakaian pupuk organik dan anorganik dapat dijadikan metode untuk mendorong pengelolaan berkelanjutan pada perkebunan kelapa sawit. Tanaman tahunan umumnya tidak hanya tergantung kepada kesuburan tanah semata, tetapi variabel lingkungan lain yang cocok akan mendorong pertumbuhan dan perkembangannya. Prinsip ini dapat dilakukan pelaku usaha kelapa sawit melalui berbagai pendekatan budidaya. Pemahaman petani dituntut sehingga dapat mengimplementasikan berbagai pendekatan teknologi perimbangan pupuk untuk memperbaiki kondisi lingkungan tanaman dan bukan semata-mata untuk meningkatkan kesuburan tanah saja. Dasar pemikiran tersebut

menunjukkan bahwa perlakuan penggunaan pupuk sangat ditentukan oleh kondisi sosial, ekonomi dan budaya perkebunan, dan bukan hanya bertujuan untuk meningkatkan hasil tanaman.

Pemupukan dalam budidaya kelapa sawit merupakan pekerjaan yang menyangkut penyaluran unsur hara secara efisien dan seimbang yang disampaikan langsung ke tanaman atau tidak langsung ke tanah untuk menjaga kesuburan. Tujuannya adalah produksi tandan buah segar (TBS) dan kualitas minyak yang optimal tergantung tanamannya. Potensi. Kurangnya nutrisi tunggal menyebabkan keterlambatan pertumbuhan vegetatif, penurunan produktivitas tanaman dan ketahanan terhadap hama dan penyakit. Pemupukan merupakan suatu upaya untuk menyediakan unsur hara yang cukup guna mendorong pertumbuhan vegetatif yang sehat dan produksi TBS hingga mencapai produktivitas maksimum (Sutarta & Winama, 2002). Dengan melakukan Pemupukan maka dapat menggantikan unsur hara yang diabsorpsi tanaman ataupun hilang karena pencucian serta menjaga kondisi tanah yang ideal bagi pertumbuhan dan perkembangan kelapa sawit (Arsyad & Junedi, 2012)

Pemupukan merupakan faktor yang sangat penting dalam meningkatkan produksi. Biaya yang ditimbulkan oleh pemupukan bervariasi antara 40-60% dari biaya pemeliharaan tanaman, dan bahkan dianggap lebih dari 50% digunakan untuk kegiatan ini (Hakim, 2007). Pemupukan tanaman kelapa sawit harus dapat menjamin pertumbuhan vegetatif dan reproduktif yang normal untuk mencapai produksi buah segar (TBS) yang optimal dan kualitas dan kuantitas minyak sawit yang tinggi (Adiwiganda, 2007).

Efektivitas pemupukan berhubungan dengan persentase hara pupuk yang diserap tanaman. Pemupukan dikatakan efektif jika sebagian besar hara pupuk

diserap tanaman sedangkan efisiensi pemupukan berkaitan dengan hubungan antara biaya (bahan pupuk, alat kerja, dan upah) dengan tingkat produksi yang dihasilkan selanjutnya ketepatan dalam Pemupukan akan memperhatikan ketepatan dosis, jenis, waktu, cara, dan harga, efektivitas dan efisiensi pemupukan dapat dicapai dengan mengacu lima tepat pemupukan (kaidah 5T), yaitu tepat jenis, tepat dosis, tepat waktu, tepat cara, dan tepat sasaran (Pardamean, 2014).

Kebutuhan tanaman atas unsur hara dapat tercukupi dengan tepat maka diadakan pemupukan terlebih dahulu perlu analisis kebutuhan unsur hara tanaman tersebut melalui analisis tanah dan daun (Pahan, 2008). Ketidakseimbangan hara di dalam tanah saat pemupukan dapat menyebabkan produksi TBS mengalami variasi peningkatan dan penurunan berat TBS per pohon Dosis pemupukan berdasarkan potensi produksi dapat meningkatkan produksi TBS pada dosis B4 dan B6 (Ar dkk., 2012), Setiap ton TBS mengandung hara yang setara dengan 6.3 kg Urea, 2.1 kg TSP, 7.3 kg KCL dan 4.9 kg Kieserite, hara tersebut harus dikembalikan dalam bentuk pupuk sehingga untuk menjamin ketersediaannya perlu upaya manajemen pemupukan yang tepat. 1 Ton Limbah mengandung 1.56 kg Urea, 0.25 kg TSP, 2.5 kg MOP, 1 kg Kiserite.

2.5. Konsep Efisiensi dengan Model DEA

Secara umum, efisiensi merujuk pada tingkat kinerja organisasi yang menunjukkan hubungan antara hasil yang dicapai (*output*) dengan sumber daya yang digunakan (*input*). Hal ini menggambarkan bagaimana sebuah perusahaan dapat mengoptimalkan hasil yang diperoleh dengan memanfaatkan sumber daya yang ada, seperti sumber daya alam, modal, dan tenaga kerja, dalam jangka waktu tertentu. Efisiensi tercapai ketika perusahaan mampu menghasilkan output yang lebih besar dengan input yang sama, atau mempertahankan jumlah output yang

sama dengan input yang lebih kecil, maupun meningkatkan output seiring dengan peningkatan input.

Gagasan mengenai efisiensi pertama kali dikembangkan oleh Farrell pada tahun 1957, yang merupakan kelanjutan dari pendekatan yang dikemukakan oleh Debreu (1951) dan Koopmans dan T.C (1951). Dalam pendekatannya, Farrell memperkenalkan konsep efisiensi yang melibatkan penggunaan berbagai jenis input secara simultan. Menurut Farrell, efisiensi perusahaan terdiri atas dua bagian utama: efisiensi teknis dan efisiensi alokatif. Efisiensi teknis mencerminkan kemampuan perusahaan dalam memaksimalkan output dari sejumlah input tertentu, sedangkan efisiensi alokatif berkaitan dengan bagaimana perusahaan memilih kombinasi input yang paling optimal sesuai dengan struktur harga input. Kedua jenis efisiensi ini digabungkan untuk memperoleh ukuran efisiensi total atau efisiensi ekonomi.

Untuk menilai tingkat efisiensi tersebut, digunakan alat analisis bernama Data Envelopment Analysis (DEA). DEA diperkenalkan oleh Charnes, Cooper, dan Rhodes pada tahun 1978 sebagai metode evaluasi kinerja aktivitas di dalam suatu unit organisasi atau entitas. Metode ini bekerja dengan membandingkan data input dan output dari satu unit pengambilan keputusan (*Decision Making Unit/DMU*) dengan unit-unit lain yang serupa, guna menilai efisiensi relatif dari masing-masing DMU.

DEA merupakan pendekatan yang berbasis program linier dan dirancang khusus untuk menilai efisiensi relatif unit kegiatan ekonomi (UKE) yang mengelola berbagai input dan output secara kompleks, di mana penggabungan input-output secara konvensional tidak memungkinkan. Pengukuran efisiensi menggunakan DEA memiliki tiga manfaat utama: pertama, sebagai alat pembanding efisiensi

relatif antar unit ekonomi yang sejenis; kedua, untuk menggali informasi terkait perbedaan efisiensi antar unit dan mengidentifikasi penyebabnya; serta ketiga, untuk memberikan dasar dalam merumuskan kebijakan guna meningkatkan efisiensi unit-unit yang dianalisis.

Dasar pengukuran efisiensi dengan DEA adalah program linier,

Transformasi program linier yang kita sebut dengan DEA adalah sebagai berikut:

Maksimum:

$$H_t = \sum_{r=1}^m V_{rt} q_{rt}$$

2.6. Technology Acceptance Model (TAM)

Model Penerimaan Teknologi (*Technology Acceptance Model* atau TAM) merupakan kerangka teori yang digunakan dalam penelitian ini untuk memahami bagaimana individu menerima dan menggunakan teknologi. TAM diperkenalkan oleh Davis pada tahun 1989 sebagai pengembangan dari Theory of Reasoned Action (TRA), dan secara khusus dirancang untuk menjelaskan perilaku penerimaan pengguna terhadap teknologi. Seiring waktu, model ini telah disempurnakan oleh berbagai peneliti guna meningkatkan relevansinya dalam berbagai konteks.

TAM menggambarkan hubungan sebab-akibat antara keyakinan pengguna, seperti persepsi terhadap manfaat dan kemudahan penggunaan sistem informasi, dengan perilaku serta kecenderungan penggunaan teknologi. Model ini bertujuan untuk menjelaskan dan memprediksi sejauh mana pengguna akan menerima suatu sistem informasi, termasuk sistem informasi akuntansi. Dalam konteks ini, TAM digunakan untuk menganalisis sejauh mana persepsi terhadap kegunaan dan

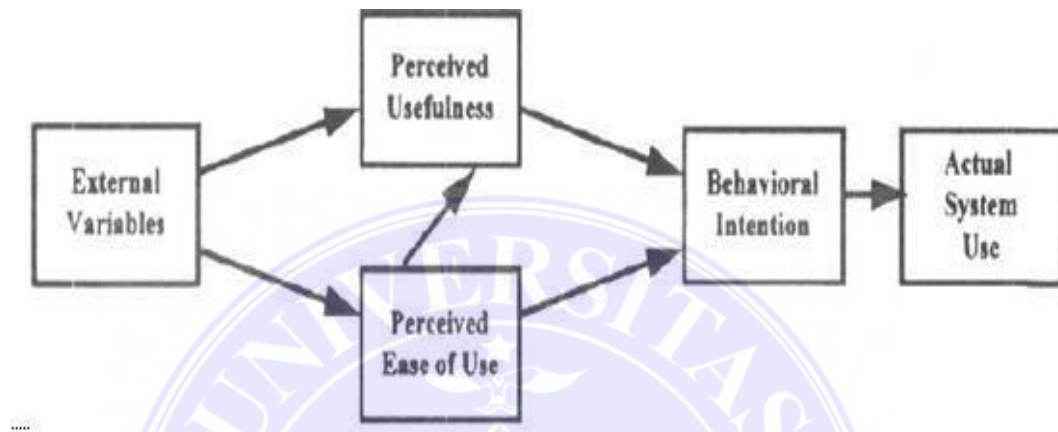
kemudahan sistem informasi memengaruhi minat individu dalam memanfaatkan teknologi informasi.

Terdapat lima ciri utama yang memengaruhi penerimaan terhadap teknologi, yaitu: (1) Keunggulan relatif (*relative advantage*) – sejauh mana teknologi menawarkan perbaikan dibandingkan metode sebelumnya. (2) Kesesuaian (*compatibility*) – keselarasan teknologi dengan nilai, norma sosial, dan praktik yang berlaku bagi pengguna. (3) Kompleksitas (*complexity*) – tingkat kemudahan dalam mempelajari dan menggunakan teknologi. (4) Dapat diuji (*trialability*) – ketersediaan kesempatan bagi pengguna untuk mencoba teknologi sebelum penerapan penuh. (5) Dapat diamati (*observability*) – sejauh mana manfaat teknologi dapat dilihat secara langsung oleh pengguna.

Transformasi dalam teknologi informasi telah mengubah baik cara kerja kita maupun jenis pekerjaan itu sendiri. Dalam praktiknya, setiap individu memiliki persepsi yang berbeda dalam menyikapi penerapan teknologi informasi. Model penerimaan teknologi seperti TAM menggabungkan sikap pengguna di lingkungan kerja dengan perilaku aktual mereka. Untuk memprediksi adopsi teknologi dalam jangka panjang, penting untuk mengukur respons afektif individu terhadap penggunaan teknologi baru.

Dalam kerangka TAM, tingkat penerimaan penggunaan teknologi informasi dipengaruhi oleh empat konstruk utama: persepsi kemudahan penggunaan (*perceived ease of use*), persepsi kegunaan (*perceived usefulness*), sikap terhadap penggunaan sistem (*attitude toward actual system usage*), dan niat untuk menggunakan teknologi (*behavioral intention to use*). Dalam penelitian ini, TAM

yang telah dimodifikasi digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi minat karyawan dalam menerima sistem informasi akuntansi, khususnya bagi mereka yang terlibat langsung dengan sistem tersebut di rumah sakit di Bandar Lampung.



Gambar 2.1. Model Original *Technology Acceptance Model*

Model Penerimaan Teknologi (TAM) menyatakan bahwa tindakan seseorang dipengaruhi oleh dua kelompok keyakinan, yakni *behavioral beliefs* dan *normative beliefs*. Kedua keyakinan ini membentuk penilaian atas konsekuensi (*outcome evaluation*) serta dorongan untuk mematuhi (*motivation to comply*), yang kemudian melahirkan sikap (*attitude*) dan norma subjektif (*subjective norms*). Sikap dan norma subjektif tersebut mendorong terbentuknya niat berperilaku (*behavioral intention*), yang pada akhirnya terwujud sebagai perilaku aktual (*behavior*).

Seiring perkembangannya, TAM digunakan untuk mengkaji faktor-faktor penentu penggunaan sistem informasi. Temuan riset menunjukkan bahwa pemakaian sistem informasi ditentukan oleh niat untuk memanfaatkan sistem, sedangkan niat itu terutama dipengaruhi oleh persepsi kegunaan (*perceived usefulness*) dan persepsi kemudahan penggunaan (*perceived ease of use*).

2.6. Model *Interpretive Structural Modelling* (ISM)

Interpretative Structural Modeling (ISM) merupakan pendekatan pemodelan yang dikembangkan untuk merancang kebijakan strategis. Teknik ini membantu menyusun urutan tujuan dalam jaringan hubungan yang rumit, menelusuri sub-elemen kunci beserta karakteristiknya, dan menampilkan struktur hierarki secara nyata melalui pendapat para ahli. Dengan ISM, model yang awalnya kabur dan kurang terdefinisi dapat diubah menjadi struktur yang jelas dan terstruktur (Sushil, 2012).

Dalam praktiknya, ISM digunakan untuk mengidentifikasi organisasi/aktor yang paling berpengaruh dalam suatu sistem. Metode ini merangkum penilaian para ahli untuk menetapkan hierarki sub-elemen pada setiap elemen sistem, sekaligus menegaskan keterkaitan di antaranya. Karena itu, ISM efektif dipakai untuk merumuskan dan mengevaluasi kebijakan strategis (Kholil dkk., 2008).

Strukturisasi program penguatan kelembagaan dapat dianalisis melalui sembilan elemen (Nursal, 2020), yakni: (1) tujuan program; (2) kebutuhan program; (3) kendala utama; (4) tolok ukur keberhasilan tiap tujuan; (5) lembaga pelaksana; (6) sektor masyarakat yang terdampak; (7) perubahan yang diharapkan; (8) aktivitas yang diperlukan untuk perencanaan tindakan; dan (9) ukuran/evaluasi hasil setiap aktivitas.

Dalam penelitian, tidak semua elemen wajib digunakan. Pemilihannya menyesuaikan fokus riset; peneliti kerap hanya menganalisis dua hingga lima elemen, bahkan ada yang memakai satu elemen saja (Fadhil dkk., 2018). Tahap ISM umumnya terbagi dua: penyusunan hierarki dan klasifikasi sub-elemen, dengan langkah-langkah penerapan yang dirinci dalam Fadhil dkk. (2018).

Identification of element, setiap elemen dan sub-elemen dari suatu sistem

akan diidentifikasi melalui wawancara, observasi dan kajian literatur.

Contextual relationship, merumuskan hubungan kontekstual dan disusun menggunakan *structural self interaction matrix* (SSIM). Penyusunan SSIM menggunakan simbol V, A, X, dan O. Pengertian simbol-simbol tersebut ialah:

- V : Kendala (1) mempengaruhi kendala (2), tapi tidak sebaliknya, $V : e_{ij} = 1$ dan $e_{ji} = 0$
- A : Kendala (2) mempengaruhi kendala (1), tapi tidak sebaliknya, $A : e_{ij} = 0$ dan $e_{ji} = 1$
- X : Kendala (1) dan kendala (2) saling berhubungan, $X : e_{ij} = 1$ dan $e_{ji} = 1$
- O : Kendala (1) dan kendala (2), tidak saling mempengaruhi, $O : e_{ij} = 0$ dan $e_{ji} = 0$

Simbol 1 adalah terdapat atau ada hubungan kontekstual, sedangkan simbol 0 tidak terdapat atau tidak ada hubungan kontekstual antara sub elemen i dan j, serta sebaliknya (Murod dkk., 2018).

Reachability matrix (RM). Tahap ini mengubah simbol pada SSIM menjadi bentuk biner, yakni menerjemahkan V, A, X, dan O menjadi angka 1 atau 0. Selanjutnya diterapkan *transitivity rule* untuk memperbaiki hubungan hingga terbentuk matriks yang tertutup. Setelah RM memenuhi kaidah transitivitas, matriks tersebut digunakan untuk menentukan jenjang (*level partition*) tiap elemen.

Conical/Canonical matrix. Pada tahap ini, elemen-elemen yang berada pada jenjang yang sama dikelompokkan bersama ke dalam satu matriks konikal. Hasil pengelompokan kemudian disajikan kembali dalam bentuk tabel sebagai final *reachability matrix*.

Analisis MICMAC. Digunakan untuk mengevaluasi kekuatan penggerak

(*driver power*) dan tingkat ketergantungan (*dependence power*) setiap variabel sehingga faktor kunci sistem dapat diidentifikasi. Variabel diklasifikasikan ke dalam empat kuadran: (1) *autonomous*—penggerak lemah, ketergantungan lemah; biasanya kurang terkait dengan sistem dan dapat dikeluarkan; (2) *dependent*—penggerak lemah, ketergantungan kuat; variabel cenderung tidak mandiri; (3) *linkage*—penggerak kuat, ketergantungan kuat; hubungan tidak stabil sehingga setiap intervensi berpotensi menimbulkan umpan balik kuat ke sistem; (4) *independent*—penggerak kuat, ketergantungan lemah; inilah variabel kunci dalam pembentukan model.

Digraf dan model struktural. Digraf menyajikan hubungan langsung antar elemen pada tiap tingkat hierarki. Dari digraf tersebut kemudian disusun model struktural dengan mengganti nomor elemen menjadi deskripsi elemen yang sebenarnya, sehingga representasi sistem—beserta aliran keterkaitannya—tampak jelas dan mudah ditafsirkan.

2.7. Penelitian Terdahulu

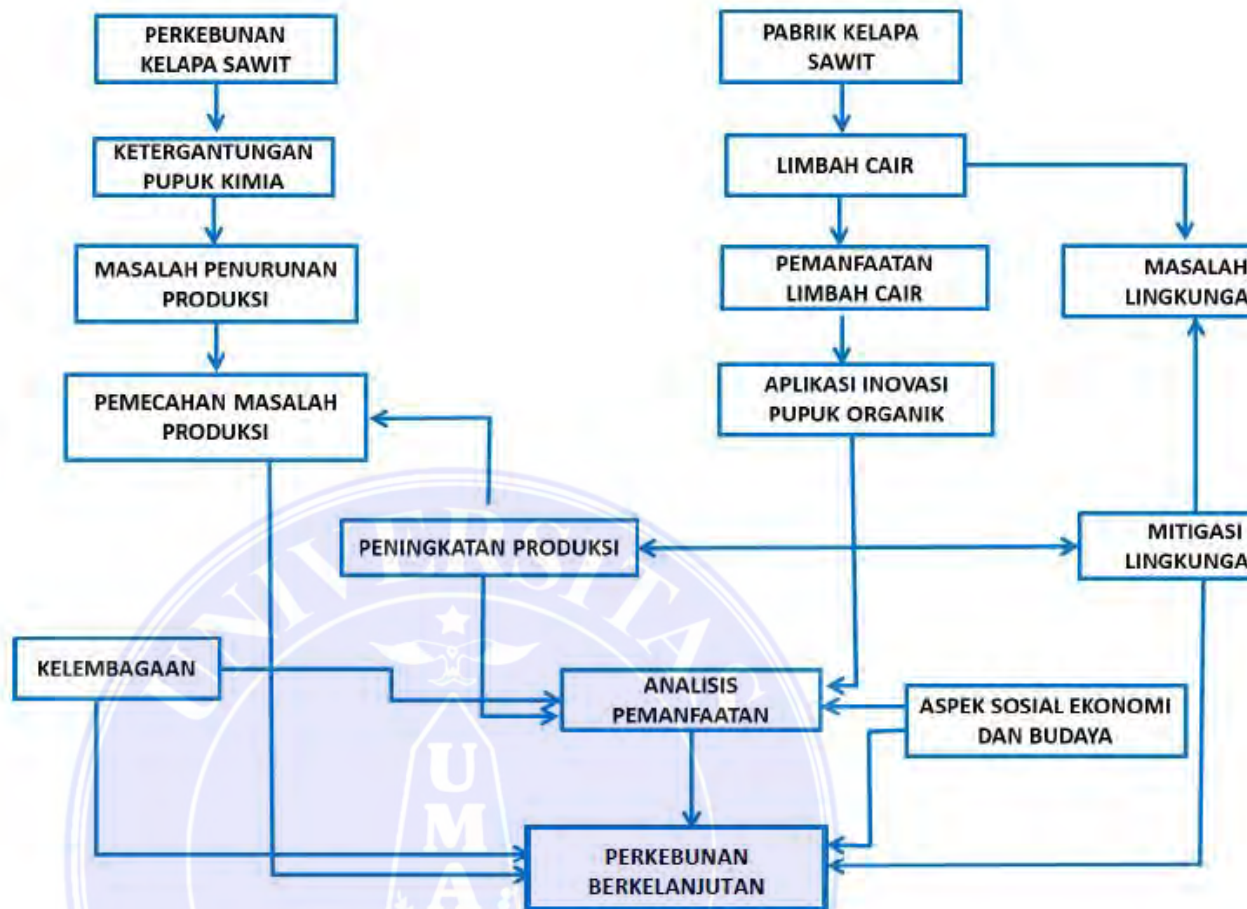
(Abogunrin-olafisoye dkk.,2024) dalam penelitiannya yang berjudul Pemanfaatan residu dan limbah kelapa sawit yang berkelanjutan di Nigeria: praktik-praktiknya, prospek, dan pertimbangan lingkungan menjelaskan pengelolaan limbah, dan membangun kota yang berkelanjutan, melibatkan mengubah limbah menjadi kekayaan melalui *biorefinery* residu alga/sawit yang terintegrasi. Dengan metode membangun *biorefinery* baru atau memperbaiki yang sudah ada melalui sistem hibrida sehingga dapat mengatasi masalah energi dan limbah sambil memanfaatkan bioenergi, biofarmasi, dan biokimia melalui kilang alga/kelapa sawit yang terintegrasi.

(Parveez dkk.,2021) meneliti tentang Kinerja ekonomi kelapa sawit di

Malaysia dan kemajuan penelitian dan pengembangan pada tahun 2020. Adapun hasilnya yaitu Valorisasi melalui konsep 'limbah menjadi kekayaan' telah mendorong serangkaian inovasi dalam memanfaatkan produk sampingan kelapa sawit untuk bioenergi dan oleokimia, dan sumber fitonutrien untuk menghasilkan pendapatan yang lebih tinggi tanpa harus sangat bergantung pada perdagangan minyak kelapa sawit sebagai komoditas. Pemberlakuan wajib skema sertifikasi Minyak Sawit Berkelanjutan Malaysia (MSPO) telah menggambarkan sebuah kisah sukses dalam menunjukkan komitmen penuh terhadap keberlanjutan. Dengan dedikasi yang gigih, industri kelapa sawit diharapkan dapat mandiri, di tengah-tengah tantangan yang tak kunjung usai terkait ekonomi, kesejahteraan, dan lingkungan.

2.8. Kerangka Pemikiran

Perkebunan berkelanjutan adalah tujuan utama dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit rakyat. Kondisi ini telah sampai kepada titik kritis dimana diperlukan berbagai pendekatan untuk membangun sistem berkelanjutan seperti yang diamanatkan oleh RSPO. Berbagai pendekatan pertanian berkelanjutan pada dasarnya dapat diterapkan dalam tujuan pengelolaan perkebunan kelapa sawit. Selama ini pendekatan untuk mendorong pertanian berkelanjutan selalu didekati dengan berbagai variable fisik tanpa banyak melibatkan faktor-faktor sosial ekonomi masyarakat dan budaya. Misalnya mendorong pemakaian pupuk organik sebagai faktor pendukung utama mencapai tujuan berkelanjutan. Jadi model yang dibangun untuk menuju perkebunan kelapa sawit berkelanjutan berdasarkan pendekatan pengelolaan perkebunan. Berikut kerangka pemikiran penelitian



Gambar 2.2. Kerangka Pemikiran

Gambar 2.2. Kerangka Pemikiran

Berdasarkan Gambar 2.2 di atas, dapat dijelaskan bahwa pendapatan perkebunan kelapa sawit sangat ditentukan oleh pengelolaan kebun. Pengelolaan kebun untuk tujuan berkelanjutan pada prinsipnya menerapkan pendekatan agar pendapatan kebun dapat terus menerus dipertahankan dengan memberikan input-input pupuk ke lahan dalam bentuk pupuk organik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) dan anorganik. Perimbangan pemupukan menjadi kata kunci keberhasilan dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit lestari yang ditunjukkan oleh perimbangan penggunaan jenis pupuk tersebut. Strategi yang menerapkan perimbangan pupuk dilandasi oleh berbagai variabel sosial ekonomi dan budaya

petani yang menjadi penentu terhadap pilihan penggunaan pupuk. Perkebunan pada dasarnya akan memaksimalkan penggunaan input pupuk dipengaruhi oleh berbagai variable sosial ekonomi dan budaya. Jadi perimbangan penggunaan pupuk yang dilatarbelakangi oleh berbagai variable tersebut juga menjadi penentu terhadap keberhasilan pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan.

2.9. Hipotesis

Adapun hipotesis yang dapat di Tarik dari penelitian ini adalah:

1. Pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik efisien pada pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan.
2. Pengguna nyata dan pengalaman pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit menjadi pupuk organik dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan dipengaruhi oleh intensitas, kemudahan penggunaan, dan persepsi kegunaan.
3. Lembaga memiliki peran yang dominan dalam pengelolaan Perkebunan kelapa sawit dengan pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit.

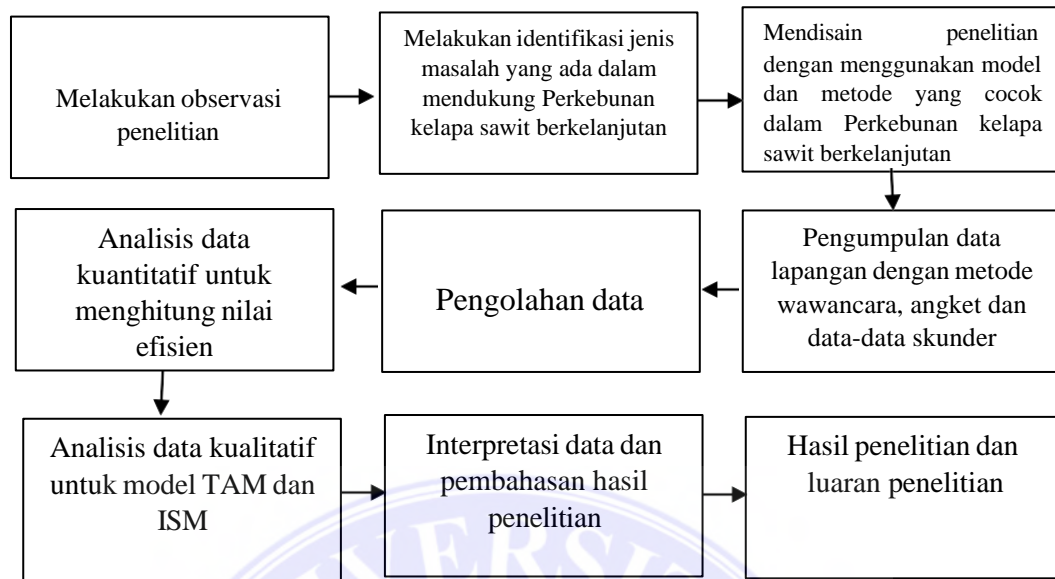
BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Dalam penelitian ini, digunakan metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan studi kasus untuk mengeksplorasi pemanfaatan limbah kelapa sawit dalam pengelolaan Perkebunan sawit berkelanjutan. Tujuan dari penggunaan pendekatan studi kasus adalah untuk menganalisis masalah ini secara holistik dan memberikan gambaran tentang bagaimana membangun perkebunan kelapa sawit berkelanjutan (Patton, 2002, Morse, 2003; Creswell, 2010; DeCuir-Bunby, 2008). Metode penelitian kuantitatif dipilih karena kemampuannya untuk memberikan data yang objektif, dapat diukur, dan dapat dianalisis secara statistik.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi wawancara, dokumentasi, observasi dan pengumpulan data sekunder perusahaan. Wawancara digunakan untuk mengumpulkan data mengenai pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit, termasuk aspek sosial ekonomi, pertanian berkelanjutan, dan efisiensi sumber daya. Informasi yang diberikan adalah sesuai dengan perspektif informan dan sekiranya informasi tersebut berkenaan dengan suatu peristiwa yang sudah terjadi, kualitas informasi itu tergantung dari sejauh mana informan mengingat dan mau memberikan atau berbagi informasi tersebut (Taylor dan Bogdan, 1998; Akhbar, 2004; Silverman 2006; Lim, 2007; Emzir, 2009). Selain itu, penelitian ini melibatkan beberapa proses untuk mencapai tujuan penelitian yang telah ditentukan. Data sekunder yang digunakan adalah daya biaya, pendapatan serta produksi yang ada pada perusahaan.



Gambar 3.1. Alur Penelitian

3.2. Lokasi Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini melibatkan informan dari PT. Padasa Enam Utama serta pihak terkait. Pemilihan perusahaan tersebut ditentukan berdasarkan *purposive sampling* yaitu dengan kriteria perusahaan yang menggunakan limbah pabrik menjadi pupuk organik. Waktu pelaksanaan penelitian direncanakan pada Bulan Februari hingga April 2024.

3.3. Tehnik Pengumpulan Data dan Analisis

Pengumpulan data dilakukan dengan *Interview* dipandu pertanyaan semi struktur (*semi-structure question*). Sedangkan peranan kelembagaan petani dilakukan interview dengan ketua dan anggota lembaga yang bersangkutan. Data sekunder didapatkan dari instansi terkait (lembaga desa dan pemerintah). Data sehubungan dengan demografis dan kondisi iklim lokal sebagai penunjang.

3.3.1. Teknik Wawancara

Peneliti melakukan wawancara secara langsung dengan beberapa informan yang terdiri dari karyawan dan pimpinan di lokasi penelitian. Proses wawancara

dilakukan dengan panduan kuesioner yang dibuat oleh peneliti untuk memastikan bahwa wawancara lebih terarah dan mendalam serta mengurangi bias data yang tidak relevan.

Berikut adalah contoh beberapa pertanyaan untuk wawancara semi-terstruktur yang dapat digunakan untuk menjawab masalah penelitian "Analisis Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Organik dalam Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan.

3.3.2. Teknik Observasi

Peneliti sendiri yang melaksanakan observasi terhadap situasi di perkebunan kelapa sawit dan informannya, baik itu perkebunan atau pun pihak terkait. Observasi mencakup pemanfaatan limbah cair kelapa sawit dan hal-hal yang berkaitan.

3.4. Prosedur Kerja

3.4.1 Analisis Data Kuantitatif (*Data Envelopment Analysis/ DEA*)

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah model *Data Envelopment Analysis* (DEA), yang diterapkan untuk mengukur efisiensi dalam pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik dalam rangka pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan. Model DEA ini sangat relevan untuk menilai dua dimensi efisiensi yang saling terkait, yaitu efisiensi teknis dan efisiensi ekonomi, yang masing-masing memainkan peran krusial dalam mendukung keberlanjutan operasional perkebunan kelapa sawit. Dengan menggunakan model ini, penelitian bertujuan untuk mengukur sejauh mana pemanfaatan limbah cair dapat berkontribusi terhadap produksi yang lebih tinggi, pendapatan yang lebih baik, dan pengurangan dampak lingkungan.

Dalam efisiensi teknis, model DEA mengukur output yang dihasilkan,

seperti peningkatan produktivitas kelapa sawit dan pendapatan hasil produksi, terhadap input yang digunakan, yaitu beban tenaga kerja, luas lahan dan biaya operasional yang dikeluarkan. Efisiensi teknis ini mencerminkan kemampuan perkebunan untuk menggunakan sumber daya secara optimal, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan hasil tanpa menambah input yang tidak perlu. Hal ini mendukung tujuan penelitian yaitu untuk menganalisis dampak pemanfaatan limbah kelapa sawit terhadap keberlanjutan produksi kelapa sawit serta Pemanfaatan limbah cair sebagai pupuk organik diharapkan dapat meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi kerusakan lingkungan yang sering disebabkan oleh penggunaan pupuk kimia, dengan demikian menjaga dan bahkan meningkatkan produksi kelapa sawit dalam jangka panjang.

Di sisi lain, efisiensi ekonomi dalam model DEA mengacu pada biaya input (seperti biaya pengolahan limbah cair menjadi pupuk organik yang berupa biaya operasional) dan manfaat ekonomi yang dihasilkan, yang meliputi penghematan biaya pupuk kimia, peningkatan hasil produksi, serta penurunan biaya perawatan tanaman. Efisiensi ekonomi ini penting karena dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang ada, mengurangi biaya operasional, dan secara bersamaan meningkatkan pendapatan petani. Dengan demikian, tujuan penelitian kedua, yaitu menganalisis dampak pemanfaatan limbah kelapa sawit terhadap pendapatan perkebunan kelapa sawit, sangat relevan dengan efisiensi ekonomi. Hasil dari analisis ini diharapkan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan keuntungan finansial dan keberlanjutan jangka panjang operasional perkebunan.

Selanjutnya, tujuan penelitian yang lainnya adalah untuk menganalisis dampak pemanfaatan limbah kelapa sawit dalam mempertahankan produksi kelapa

sawit. Efisiensi teknis dan ekonomi berperan untuk menilai seberapa efektif pemanfaatan limbah cair dalam meningkatkan kualitas tanah, yang pada gilirannya akan menunjang produksi kelapa sawit yang lebih sehat dan produktif. Dengan meningkatkan kualitas tanah melalui pupuk organik berbasis limbah cair, tanaman kelapa sawit akan tumbuh lebih optimal, yang mendukung kelestarian hasil pertanian dan memastikan produktivitas jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus untuk menggali kontribusi pemanfaatan limbah cair terhadap keberlanjutan produksi dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit.

Proses analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software STATA 13, yang memungkinkan pengolahan data kuantitatif untuk menghitung efisiensi teknis dan ekonomi secara akurat. Dalam model DEA yang diestimasi, output (O) yang diukur meliputi produktivitas kelapa sawit dan pengendalian penyakit, sementara input (I) yang digunakan adalah limbah cair. Melalui analisis ini, dapat dilihat seberapa efisien sumber daya tersebut digunakan untuk mencapai tujuan produktivitas yang lebih tinggi, pendapatan yang lebih baik, dan pengelolaan perkebunan yang berkelanjutan. DEA yang diestimasi terdiri atas 1 *output* (O) dan 1 *input* (I), masing-masing merupakan penjumlahan dari variabel sebagai berikut:

Tabel 3.1. Variabel Input-Output

Variabel input-output dalam penelitian		
	Defenisi	Sumber
	Jumlah dari	
O	Jumlah produksi	PT. Padasa Enam Utama
	Pendapatan produksi	PT. Padasa Enam Utama
	Jumlah dari	
I	Biaya Operasional (pupuk, pengelolaan, bahan)	PT. Padasa Enam Utama
	Beban Tenaga Kerja	PT. Padasa Enam Utama
	Luas Lahan	PT. Padasa Enam Utama

Efisiensi teknik dalam memanfaatkan limbah cair kelapa sawit di Perkebunan kelapa sawit PT. Padasa Enam Utama diukur dengan menghitung rasio antara output dan input. DEA akan menghitung PT. Padasa Enam Utama yang menggunakan input n untuk menghasilkan output m yang berbeda (Miller dan Noulas, 1996 dalam Etty Puji Lestari, 2001). Efisiensi diukur sebagai berikut (Lestari, 2001):

$$\text{Maksimasi } h_t = \frac{\sum_{r=1}^m \mu_{rk} Y_{rk}}{\sum_{i=1}^n V_{rk} X_{rk}}$$

dimana

h_t = Efisiensi teknik Pengelolaan perkebunan;

m = Output PT. Padasa Enam Utama pada (O1, O2, O3);

n = Input PT. Padasa Enam Utama (I1, I2, I3);

y_{rk} = jumlah output r yang diproduksi oleh PT. Padasa Enam Utama;

X_{rk} = Jumlah input r yang digunakan oleh PT. Padasa Enam Utama;

μ_{rk} = Merupakan bobot output r yang dihasilkan oleh PT. Padasa Enam Utama;

v_{rk} = Bobot input r yang diberikan oleh PT. Padasa Enam Utama k ; dan r dihitung dari 1 ke m serta i dihitung dari 1 ke n .

DEA akan menghitung petani yang menggunakan n input untuk menghasilkan m output yang berbeda (Hosen dan Rahmawati, 2014).

3.4.2 Analisis Deskriptif

Penerapan analisis induktif terhadap data wawancara untuk mengidentifikasi tema-tema utama yang muncul dari data tersebut. Di sisi lain, metode deduktif dapat diterapkan bersamaan dengan analisis perbandingan konstan secara simultan untuk menjawab pertanyaan penelitian secara umum dan menganalisis berbagai perspektif informan mengenai isu-isu sentral yang berkaitan dengan aspek ekonomi, sosial,

dan lingkungan (Guba dan Lincoln, 2009). Proses perbandingan konstan ini kemudian dapat mengarah pada pembentukan kategori deskriptif, yang pada gilirannya meningkatkan validitas internal dari temuan penelitian melalui refleksi mendalam terhadap data yang telah dikumpulkan.

Sebaliknya, menurut Kreswell (2009), analisis data wawancara dalam metode kualitatif dapat dilakukan sejak tahap pengumpulan data. Oleh karena itu, peneliti dapat melakukan analisis data wawancara secara berkelanjutan, dimulai dari wawancara pertama hingga keseluruhan data wawancara yang diperoleh. Peneliti dapat melakukan eksplorasi secara menyeluruh pada data wawancara untuk menganalisis secara mendalam sikap pelaku usaha terkait implementasi penerapan limbah cair.

Informan penelitian yang dibutuhkan adalah sebagai berikut

Tabel 3.2. Informan penelitian Informan Kedudukan dalam penelitian

Informan	Kedudukan dalam penelitian
Pengedali dokumen	Informan kunci
Pimpinan	Informan kunci
Bagian Tanaman	Informan kunci
Bagian sub-pengolahan pabrik	Informan kunci
Pemanen	Informan pendukung
Karyawan pabrik	Informan pendukung

3.4.2.1 Technology Acceptance Model (TAM)

Technology Acceptance Model (TAM) merupakan kerangka teori yang digunakan untuk menganalisis dan memprediksi penerimaan serta adopsi teknologi oleh individu dalam berbagai konteks (Mulyono dkk.,2020). Salah satu penerapannya adalah dalam pemanfaatan limbah cair untuk pengelolaan

perkebunan kelapa sawit. Untuk memahami persepsi pengguna terhadap teknologi ini, pendekatan *Structural Equation Modeling* (SEM) digunakan, yang memungkinkan analisis hubungan antar variabel yang relevan. Dalam konteks penelitian ini, *Technology Acceptance Model* (TAM) dianalisis menggunakan Smart PLS, yang merupakan perangkat lunak untuk *Partial Least Squares Structural Equation Modeling* (PLS-SEM). Pendekatan PLS-SEM dipilih karena kemampuannya dalam menangani berbagai jenis skala data, termasuk data interval, ordinal, nominal, dan rasio, serta sifat asumsi yang lebih fleksibel, yang membuatnya cocok untuk penelitian dengan ukuran sampel terbatas, seperti pada penelitian ini yang melibatkan 70 responden (Nurjanah, 2021).

Tujuan utama dari penerapan Smart PLS dalam kerangka TAM adalah untuk menguji hubungan struktural antara variabel-variabel yang mempengaruhi penerimaan teknologi oleh pengguna. Variabel yang dianalisis dalam model ini meliputi *perceived ease of use* (persepsi kemudahan penggunaan), *perceived usefulness* (persepsi kebermanfaatan), dan *acceptance of IT* (penerimaan terhadap teknologi informasi). Dengan menggunakan Smart PLS, hubungan antar variabel dapat dianalisis secara komprehensif, memberikan wawasan yang mendalam mengenai faktor-faktor yang berperan dalam adopsi teknologi, khususnya dalam penerapan pemanfaatan limbah cair untuk pengelolaan perkebunan kelapa sawit.

Sejalan dengan tujuan penelitian ini, yang bertujuan untuk menganalisis persepsi perusahaan perkebunan kelapa sawit dalam pemanfaatan limbah cair pada pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan, model TAM dapat digunakan untuk menggali bagaimana persepsi perusahaan terhadap kemudahan penggunaan dan kebermanfaatan teknologi ini mempengaruhi penerimaan dan adopsi teknologi tersebut. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk

menganalisis model perimbangan penggunaan pupuk organik dan norganik, yang merupakan aspek penting dalam mendukung kelestarian perkebunan kelapa sawit secara berkelanjutan. Dengan menganalisis persepsi terkait penggunaan pupuk dan teknologi limbah cair, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai praktik pertanian yang berkelanjutan di sektor perkebunan kelapa sawit.

Untuk mengukur variabel-variabel tersebut, penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan skala Likert, yang merupakan alat pengukuran yang banyak digunakan dalam ilmu sosial untuk menilai sikap, pengetahuan, dan perilaku individu terhadap suatu objek, dalam hal ini, teknologi pemanfaatan limbah cair. Skala Likert memungkinkan pengukuran persepsi terhadap dua dimensi utama dalam TAM, yaitu kemudahan penggunaan dan kebermanfaatan teknologi. Setiap pertanyaan dalam skala Likert dirancang untuk mengidentifikasi tingkat persetujuan atau ketidaksetujuan responden terhadap pernyataan-pernyataan yang relevan, yang kemudian menghasilkan skor yang menggambarkan sikap dan persepsi individu terhadap teknologi yang dianalisis. Skor komposit yang diperoleh dari agregasi semua item dalam skala Likert digunakan untuk menggambarkan karakteristik individu terkait variabel yang diukur. Skor ini, yang dapat berupa jumlah atau rata-rata, kemudian dianalisis untuk mengevaluasi tingkat keberterimaan teknologi yang diterima oleh pengguna dan untuk memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi adopsi teknologi dalam konteks pengelolaan perkebunan kelapa sawit. Penggunaan skor komposit dari semua item pertanyaan ini dianggap sah karena setiap butir pertanyaan bertindak sebagai indikator dari variabel yang diwakilinya (Budiaji, 2013).

Menurut Jamu (2018), analisis SEM-PLS terdiri dari dua sub-model: model pengukuran (outer model) dan model struktural (inner model).

A. Model Pengukuran (Outer Model)

Evaluasi outer model menilai validitas dan reliabilitas data.

Uji Validitas. Digunakan untuk memastikan instrumen (kuesioner) benar-benar mengukur konstruk yang dimaksud (Abdullah, 2015). Dua jenis yang digunakan:

Validitas Konvergen: indikator suatu konstruk harus saling berkorelasi tinggi; terpenuhi bila loading $> 0,70$ dan AVE $> 0,50$ (artinya konstruk menjelaskan $\geq 50\%$ varians indikator).

Validitas Diskriminan: menguji perbedaan antarkonstruk; nilai cross-loading pada konstruk yang diukur harus lebih besar daripada loading pada konstruk lain (umumnya $> 0,70$), sehingga tiap konstruk memiliki diskriminasi yang memadai (Arya Pering, 2020).

Uji Reliabilitas. Menilai konsistensi alat ukur (Abdullah, 2015). Dua ukuran yang lazim adalah Cronbach's Alpha dan Composite Reliability (CR); CR sering direkomendasikan karena Alpha cenderung konservatif. Reliabilitas dinilai memadai bila CR $> 0,70$. Secara umum, CR dihitung dari bobot loading (λ), varians faktor (F), dan varians galat (θ); dengan:

λ_i = loading factor indikator ke-i

F = factor variance

θ_{ii} = error variance indikator ke-i

B. Model Struktural (Inner Model)

Tahap ini menguji hubungan antar-konstruk (Sukmawati dkk., 2021) melalui R^2 , f^2 , dan Q^2 .

a) R-Square (R^2)

Menunjukkan proporsi varians konstruk endogen yang dijelaskan konstruk eksogen. Semakin besar R^2 , semakin baik kemampuan prediksi model. Kategori (Ghozali, 2015 dalam Nurjanah, 2021): kuat $> 0,75$; moderat $> 0,50 - < 0,75$; lemah $> 0,25 - < 0,50$.

b) F-Square (f^2)

Menggambarkan besarnya efek prediktif konstruk eksogen terhadap endogen, dihitung dari perubahan R^2 saat konstruk eksogen dimasukkan (R^2 include) dan dikeluarkan (R^2 exclude). Kriteria: 0,02 (kecil), 0,15 (sedang), 0,35 (besar) (Sukmawati dkk., 2021).

c) Q-Square (Q^2)

Mengukur relevansi prediktif model untuk konstruk endogen. $Q^2 > 0$ menunjukkan prediktif yang baik; $Q^2 < 0$ mengindikasikan relevansi prediktif yang kurang. Estimasi Q^2 biasanya diperoleh melalui prosedur blindfolding di SmartPLS (Sukmawati dkk., 2021).

3.4.2.2 Interpretative Structural Model (ISM)

Interpretative Structural Model (ISM) merupakan sebuah model untuk melihat peran sebuah Lembaga yang paling dominan dalam pengelolaan Perkebunan kelapa sawit dengan pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit. Adapun langkah-langkah model ISM meliputi sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi setiap parameter menjadi beberapa elemen dalam sistem
2. Menentukan dan membangun hubungan kontekstual antar sub elemen;

3. Menyusun Matriks Interaksi Tunggal Terstruktur (*Structural Self Interaction Matrix/SSIM*). Contoh matriks SSIM disajikan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3. Contoh Matriks SSIM

Sub Elemen Tujuan	Sub Elemen Tujuan ke-j								
ke-i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	X	V	V	A	X	O	O	X	V
2		X	O	O	X	V	V	V	V
3			X	A	A	X	X	V	V
4				X	V	O	O	O	V
5					X	V	V	V	O

Lanjutan

Sub Elemen Tujuan	Sub Elemen Tujuan ke-j								
ke-i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6						X	A	A	A
7							X	X	X
8								X	O
9									X

Hubungan kontekstual dalam SSIM menggunakan simbol V, A, X, dan O yang mengandung pengertian sebagai berikut :

V : Ada hubungan Sub Elemen Ei terhadap Sub Elemen Ej, tapi tidak sebaliknya.

A : Ada hubungan Sub Elemen Ej terhadap Sub Elemen Ei, tapi tidak sebaliknya

X : Sub Elemen Ei dan Sub Elemen Ej saling berhubungan interalasi

O : Sub Elemen Ei dan Sub Elemen Ej tidak saling berhubungan.

Simbol 1 menyatakan terdapat atau adanya hubungan kontekstual, sedangkan simbol 0 menyatakan tidak terdapat atau tidanya hubungan kontekstual antar sub

elemen i dan j dan sebaliknya.

4. Menyusun Matriks *Reachability* (*Reachability Matrix* /RM), yaitu dengan mengubah simbol-simbol V , A , X , dan O pada matriks SSIM menjadi matriks biner bilangan 1 atau 0 berdasarkan aturan berikut :

V jika $E_{ij} = 1$ dan $E_{ij} = 0$

A jika $E_{ij} = 0$ dan $E_{ij} = 1$

X jika $E_{ij} = 1$ dan $E_{ij} = 1$

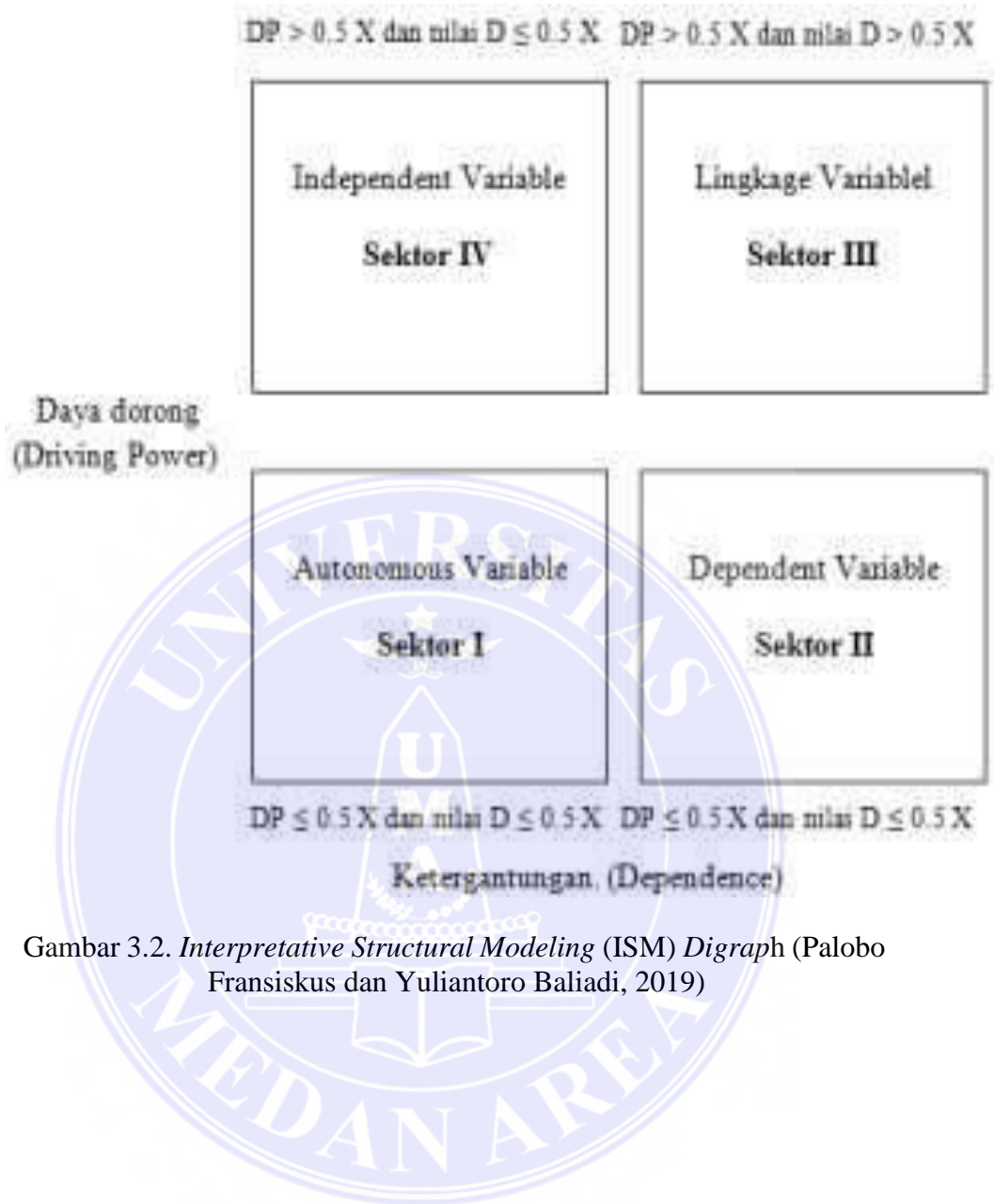
O jika $E_{ij} = 0$ dan $E_{ij} = 0$

Keterangan :

Nilai $e_{ij} = 1$ adalah ada hubungan kontekstual antara subelemen ke- i dan ke- j Nilai

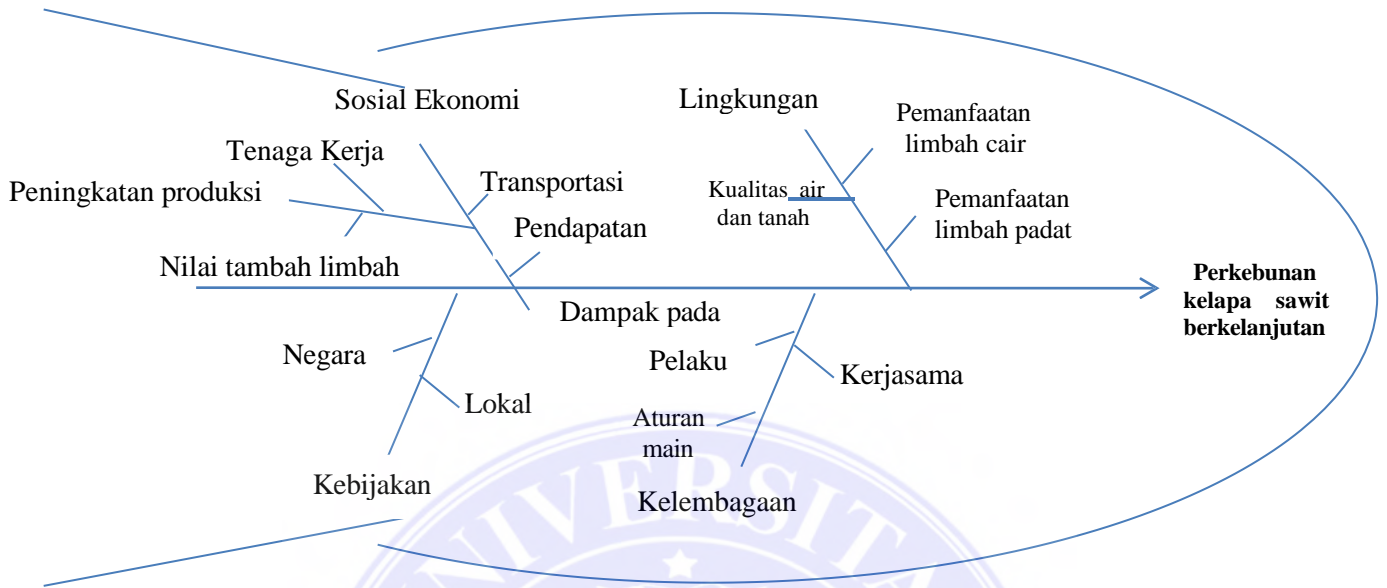
$e_{ji} = 0$ adalah tidak ada hubungan kontekstual antara subelemen ke- i dan ke- j

5. Menyusun *Diagraph*, yaitu grafik dari elemen-elemen yang saling berhubungan secara langsung dan level hierarki. Pada dasarnya untuk menyusun hirarki setiap sub elemen pada elemen yang dikaji kemudian membuat klasifikasi ke dalam 4 (empat) sektor untuk menentukan sub elemen mana yang termasuk ke dalam variable menurut (Kholil, 2005) dan (Eriyatno, 1998): autonomous (sektor 1), dependent (sector 2), linkage (sektor 3), dan independent (sector 4) seperti terlihat pada Gambar 6



Gambar 3.2. *Interpretative Structural Modeling (ISM) Digraph* (Palobo Fransiskus dan Yuliantoro Baliadi, 2019)

Secara keseluruhan fishbone diagram penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3. Diagram Fishbone Penelitian

BAB V

PEMBAHASAN UMUM

5.1 Efisiensi Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Organik Dalam Mensubstitusi Pupuk Buatan Pada Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan.

Pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik dalam menggantikan pupuk kimia pada pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan menawarkan berbagai keuntungan yang tidak hanya berfokus pada efisiensi teknis tetapi juga pada efisiensi ekonomi dan keberlanjutan (Ginting, 2020). Limbah pabrik kelapa sawit, seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang, ampas, dan lainnya, sering kali dianggap sebagai bahan buangan yang tidak dimanfaatkan secara maksimal (Prayitno Susanto dkk.,2017). Namun, limbah ini memiliki potensi yang luar biasa jika diolah dengan tepat menjadi pupuk organik. Proses pengolahan limbah ini menjadi pupuk organik tidak hanya mengurangi jumlah limbah yang harus dibuang atau dibakar, tetapi juga memberikan manfaat bagi tanah dan tanaman kelapa sawit itu sendiri (Ganestri dkk.,2021). Pupuk organik yang terbuat dari limbah kelapa sawit mengandung unsur hara yang dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air, serta memperbaiki keseimbangan mikroorganisme tanah yang mendukung pertumbuhan tanaman secara alami (Kurniawan dkk.,2017).

Seiring dengan pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik, efisiensi ekonomi menjadi salah satu aspek utama yang dapat dicapai dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit (S. Handayani dkk.,2023). Salah satu manfaat utama dari penggantian pupuk kimia dengan pupuk organik berbahan limbah pabrik kelapa sawit adalah pengurangan biaya operasional (Binsar

Pakpahan dkk.,2025). Penggunaan pupuk kimia dalam jumlah besar selama setahun dapat menelan biaya operasional lebih dari 30 miliar rupiah, sedangkan dengan penggunaan pupuk organik, biaya tersebut dapat ditekan hingga di bawah 20 miliar rupiah. Penghematan biaya ini terjadi karena bahan baku pupuk organik, yaitu limbah pabrik kelapa sawit, tersedia di sekitar area perkebunan dan tidak memerlukan biaya impor atau biaya transportasi yang tinggi, seperti halnya pupuk kimia yang sering kali dipengaruhi oleh fluktuasi harga di pasar global. Pengurangan biaya operasional ini tentu memberikan dampak yang signifikan bagi perusahaan, karena dana yang hemat dapat dialokasikan untuk kebutuhan lain, seperti investasi dalam teknologi pertanian, pengembangan infrastruktur, atau bahkan untuk meningkatkan produktivitas kebun.

Dari sisi efisiensi teknis, penggunaan pupuk organik juga memberikan dampak positif yang tidak kalah penting. Pupuk organik yang terbuat dari limbah pabrik kelapa sawit memiliki kemampuan untuk meningkatkan kualitas tanah secara berkelanjutan (Halawa, 2024). Berbeda dengan pupuk kimia yang cenderung mengandung bahan-bahan yang bisa menyebabkan kerusakan jangka panjang pada struktur tanah, penggunaan pupuk organik justru meningkatkan kapasitas tanah untuk menyerap air dan unsur hara (Anna Pertiwi, Agustinus Mantong, 2025). Selain itu, pupuk organik ini juga mendukung keberagaman mikroorganisme dalam tanah, yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem tanah dan memperbaiki kesuburan tanah secara alami (F. M. Siregar dkk.,2024). Dengan demikian, meskipun pupuk kimia dapat memberikan hasil yang cepat, penggunaan pupuk organik membawa dampak jangka panjang yang lebih baik bagi kualitas tanah dan keberlanjutan hasil panen (Syamsul, 2024).

Hasil efisiensi yang ditunjukkan pada tabel 4.1, bahwa efisiensi dari tahun

2020 hingga 2023 dengan fokus pada nilai CRS (*Constant Returns to Scale*), VRS (*Variable Returns to Scale*), dan Scala. Pada tahun 2020, nilai CRS perusahaan adalah 0.950304, yang menunjukkan bahwa perusahaan dapat memaksimalkan penggunaan input untuk menghasilkan output secara optimal. Hal ini mencerminkan efisiensi yang baik pada periode tersebut, di mana perusahaan berhasil mengelola sumber daya yang tersedia, baik lahan, tenaga kerja, maupun bahan baku (Masinambow dan Sumual, 2024).

Namun, seiring berjalannya waktu, terdapat penurunan signifikan dalam nilai CRS yang tercatat pada tahun 2022 (nilai CRS 0,520891) dan 2023 (nilai CRS 0,829687). Penurunan ini mengindikasikan adanya penurunan efisiensi dalam proses produksi, yang menunjukkan ketidaksesuaian antara jumlah input yang digunakan dengan *output* yang dihasilkan (Wilujeng dan Fauziah, 2021). Meskipun perusahaan mampu meningkatkan output, penggunaan sumber daya, seperti lahan, tenaga kerja, dan bahan baku, tidak mencapai tingkat efisiensi yang optimal (Indrawati dkk.,2024). Hal ini mencerminkan adanya potensi inefisiensi yang perlu dievaluasi lebih lanjut. Oleh karena itu, penting bagi perusahaan untuk melakukan analisis berbagai faktor yang berkontribusi terhadap penurunan efisiensi, seperti pengelolaan lahan yang kurang optimal, penggunaan tenaga kerja yang tidak maksimal, atau proses produksi yang sub optimal (Wahyuningsih dkk.,2018).

Sementara itu, nilai VRS menunjukkan angka 1.000000 setiap tahun, yang menandakan bahwa perusahaan beroperasi pada titik efisiensi skala variabel yang optimal. Tidak adanya fluktuasi dalam nilai VRS mengindikasikan bahwa perusahaan mampu menyesuaikan penggunaan input dengan skala produksi yang lebih besar tanpa mengalami penurunan efisiensi. Dengan kata lain, perusahaan

dapat mengoptimalkan sumber daya sesuai dengan perubahan skala produksi yang terjadi, yang merupakan indikator positif dalam pengelolaan produksi yang fleksibel. Walaupun nilai VRS tetap stabil, perbedaan antara nilai CRS dan VRS menunjukkan adanya ruang bagi perusahaan untuk meningkatkan efisiensi dalam memaksimalkan hasil dari input yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun perusahaan dapat beradaptasi dengan perubahan skala produksi, ada potensi untuk meningkatkan efisiensi dalam penggunaan sumber daya yang tersedia, khususnya dalam jangka panjang. Di sisi lain, nilai *Scala* yang mirip dengan CRS pada setiap tahun juga menunjukkan konsistensi dalam menggambarkan efisiensi teknis perusahaan, yang memperkuat hasil evaluasi yang dilakukan dengan menggunakan kedua indikator tersebut.

Fluktuasi yang terjadi pada nilai CRS pada tahun 2022 dan 2023 menjadi indikator penting bahwa perusahaan perlu meninjau kembali operasionalnya dan melakukan evaluasi menyeluruh terhadap strategi pengelolaan sumber daya. Penurunan CRS ini menandakan adanya pemborosan dalam penggunaan input yang perlu segera diatasi. Jika tidak ditangani dengan cepat dan tepat, hal ini dapat berdampak pada penurunan profitabilitas perusahaan dan melemahkan daya saingnya di pasar (Gurusinga dkk.,2022). Oleh karena itu, langkah-langkah perbaikan yang tepat harus diterapkan untuk mengembalikan efisiensi operasional perusahaan ke level yang lebih tinggi (Wahyuningsih dkk.,2018).

Untuk mengatasi masalah ini, perusahaan perlu mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang ada. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan identifikasi yang lebih akurat terkait kebutuhan nutrisi tanaman, yang memungkinkan penggunaan pupuk lebih efisien. Dengan meningkatkan efisiensi dalam penggunaan input, seperti pupuk dan tenaga kerja,

perusahaan dapat memperbaiki hasil produksi dan menurunkan pemborosan yang terjadi. Selain itu, implementasi teknologi yang tepat juga dapat membantu mengurangi ketergantungan pada input eksternal yang mahal dan terbatas, sehingga meningkatkan efisiensi teknis secara keseluruhan.

Implementasi teknologi untuk mengolah limbah kelapa sawit menjadi produk bernilai, seperti pupuk organik, dapat menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan efisiensi (Rizal dkk.,2024). Selain mengurangi pemborosan sumber daya, strategi ini berpotensi memberikan keuntungan ekonomis tambahan bagi perusahaan. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada input eksternal, yang sering kali mahal dan sulit didapatkan. Oleh karena itu, transformasi limbah menjadi produk yang bermanfaat dapat menciptakan nilai tambah yang signifikan bagi perusahaan, serta mendukung keberlanjutan operasional dalam jangka panjang (Fuad dkk.,2024).

Sejalan dengan itu, evaluasi menyeluruh terhadap seluruh proses produksi sangat penting untuk meningkatkan nilai CRS dan memperbaiki efisiensi perusahaan. Proses evaluasi ini harus mencakup analisis terhadap setiap tahap produksi, dari pengelolaan input hingga teknik budidaya yang diterapkan. Identifikasi area yang memerlukan perbaikan, seperti penggunaan teknologi yang lebih efisien atau praktik agronomi yang lebih baik, akan memungkinkan perusahaan untuk meningkatkan produktivitas dan kembali ke tingkat efisiensi CRS yang lebih optimal. Langkah-langkah perbaikan yang tepat dapat

diimplementasikan setelah evaluasi menyeluruh ini, yang akan membantu meningkatkan kinerja perusahaan secara keseluruhan.

Dari perspektif efisiensi ekonomi, meskipun biaya operasional dan tenaga kerja mengalami peningkatan, pendapatan yang dihasilkan tetap menunjukkan tren pertumbuhan yang positif. Namun, penurunan pendapatan yang terjadi pada tahun 2023, meskipun produksi tetap meningkat, mengindikasikan bahwa pengelolaan biaya yang lebih efisien sangat diperlukan untuk menjaga keberlanjutan profitabilitas perusahaan. sehingga, perusahaan harus fokus pada pengendalian biaya yang lebih baik agar dapat memastikan bahwa efisiensi ekonomi tetap terjaga meskipun terdapat tantangan dalam pengelolaan sumber daya.

Diversifikasi sumber bahan baku dan penerapan teknologi yang lebih efisien dalam proses produksi juga dapat mengurangi ketergantungan pada input yang mahal. Dengan memanfaatkan bahan baku lokal atau alternatif serta mengoptimalkan proses produksi menggunakan teknologi yang lebih canggih, perusahaan dapat menekan biaya produksi dan meningkatkan efisiensi operasional. Selain itu, diversifikasi ini juga memungkinkan perusahaan untuk lebih fleksibel dalam menghadapi fluktuasi harga bahan baku, sehingga dapat meningkatkan daya saing di pasar yang semakin kompetitif.

Praktik pengelolaan limbah yang inovatif juga dapat berkontribusi pada pengurangan biaya. Mengubah limbah menjadi produk bernilai yang dapat dijual atau digunakan kembali dalam produksi akan mengurangi biaya bahan baku dan mengurangi dampak lingkungan (Hasibuan dkk.,2023). Pengelolaan limbah yang

efisien juga memperkuat posisi kompetitif perusahaan di pasar, karena semakin banyak konsumen yang mengutamakan keberlanjutan dan tanggung jawab lingkungan dalam memilih produk.

Evaluasi berkala terhadap strategi pengelolaan biaya ini sangat penting untuk memastikan perusahaan dapat beradaptasi dalam memastikan bahwa efisiensi biaya tetap terjaga. Dengan evaluasi yang teratur, perusahaan dapat mengidentifikasi potensi masalah atau ketidakefisienan lebih awal, sehingga dapat segera mengambil langkah-langkah korektif yang diperlukan.

Indikator Returns to Scale (Rts) menunjukkan pergeseran dari *increasing returns to scale (IRS)* ke *decreasing returns to scale (DRS)* pada tahun 2022 dan 2023. Pergeseran ini menunjukkan bahwa meskipun produksi meningkat, efisiensi dalam skala besar tidak terjaga dengan optimal. DRS mengindikasikan kondisi di mana tambahan input menghasilkan peningkatan output yang lebih kecil, yang dapat berujung pada pemborosan sumber daya dan penurunan profitabilitas. Oleh karena itu, perusahaan perlu segera menindaklanjuti pergeseran ini untuk mencegah kerugian yang lebih besar.

Beberapa faktor yang dapat berkontribusi terhadap DRS antara lain inefisiensi dalam penggunaan lahan, kurangnya inovasi dalam teknik budidaya, serta pengelolaan tenaga kerja yang tidak optimal. Untuk mengatasi hal ini, perusahaan harus melakukan analisis menyeluruh terhadap setiap aspek produksi dan manajemen sumber daya. Dengan memahami penyebab DRS secara mendalam, perusahaan dapat merumuskan strategi yang tepat untuk kembali ke kondisi IRS, yang mencakup investasi dalam teknologi yang lebih efisien dan pelatihan tenaga kerja.

Pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik berpotensi memberikan dampak positif efisiensi produksi dan keberlanjutan pertumbuhan ekonomi pada perkebunan kelapa sawit (Ginting, 2020). Dengan menggunakan limbah sebagai bahan baku pupuk organik, diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada penggunaan pupuk kimia yang lebih mahal dan memiliki dampak lingkungan yang merugikan (Hidayat dkk.,2023). Selain itu, pengelolaan limbah kelapa sawit yang optimal juga dapat memberikan kontribusi terhadap pengurangan biaya produksi, yang pada akhirnya berpengaruh pada peningkatan pendapatan bagi pelaku usaha Perkebunan (Halimah, 2024).

Pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik dan dampaknya terhadap peningkatan pendapatan pada perkebunan kelapa sawit, dengan mengacu pada data yang tersedia mengenai luas lahan, biaya pembuatan kompos, biaya aplikasi dan angkut Pupuk Organik Cair (POC), serta produksi dan pendapatan yang diperoleh dalam beberapa tahun terakhir. Data yang disajikan dalam tabel 4.11 menggambarkan pendapatan perkebunan kelapa sawit dengan pemanfaatan limbah kelapa sawit serta kontribusinya terhadap hasil produks sehingga mendukung pencapaian keberlanjutan.

Tabel 4.12. Pendapatan Produksi dari pemanfaatan limbah Pabrik

Tahun	Luas Lahan (Ha)	Biaya pembuatan Kompos	Biaya Aplikasi dan angkut POC (rupiah)	Liter penggunaan POC	Jumlah _Produksi (Kg)	Pendapatan_ Pro duksi (milyar)
2000	1,923	306,691,193	1,054,220,750	5,803,050	4,787,370	10,116
2021	2,153	244,898,655	841,814,993	4,633,844	5,639,000	15,034
2022	4,568	493,986,308	1,698,034,700	9,346,950	6,005,961	16,372
2023	2,924	667,597,501	2,294,800,617	12,631,930	6,354,000	14,519

Sumber: Data Primer di Olah (2024)

Pada tahun 2000, luas lahan perkebunan kelapa sawit yang menerapkan pupuk organik cair (POC) berbahan baku limbah organik tercatat seluas 1.923 hektar dengan biaya produksi kompos mencapai 306,69 juta IDR. Meskipun biaya produksi kompos tergolong signifikan, implementasi POC dan aplikasinya tetap memegang peran krusial dalam proses pemupukan tanaman kelapa sawit. Volume penggunaan POC pada tahun tersebut mencapai 5.803.050 liter, yang berkontribusi terhadap produksi kelapa sawit sebesar 4.787.370 kilogram. Dari hasil produksi tersebut, diperoleh pendapatan sebesar 10,116 miliar IDR. Data ini mengindikasikan bahwa penggunaan POC tidak hanya mendukung produktivitas tanaman, tetapi juga memberikan dampak ekonomi yang signifikan bagi sektor perkebunan kelapa sawit (Lauwinata dkk.,2024).

Pada tahun 2021, terjadi peningkatan luas lahan perkebunan kelapa sawit yang menerapkan pupuk organik cair (POC) menjadi 2.153 hektar, mengalami kenaikan sebesar 11,96% dibandingkan tahun 2000. Meskipun terjadi penurunan biaya produksi kompos menjadi 244,89 juta IDR (penurunan sebesar 20,15% dari tahun 2000), volume penggunaan POC tetap tinggi, yaitu mencapai 4.633.844 liter. Peningkatan luas lahan dan efisiensi biaya produksi kompos berkontribusi terhadap kenaikan produksi kelapa sawit sebesar 5.639.000 kilogram, atau meningkat 17,79% dari tahun 2000. Dampak ekonomi dari peningkatan produksi ini tercermin dari pendapatan yang mencapai 15,034 miliar IDR, menandakan pertumbuhan signifikan dalam produktivitas dan profitabilitas.

Pada tahun 2022, terjadi lonjakan signifikan dalam luas lahan perkebunan kelapa sawit yang mencapai 4.568 hektar, meningkat sebesar 112,17% dari tahun 2021. Peningkatan ini diikuti oleh kenaikan biaya produksi kompos menjadi 493,99 juta IDR (naik 101,69% dari tahun 2021) serta biaya aplikasi dan pengangkutan

POC yang melonjak menjadi 1,698 triliun IDR. Volume penggunaan POC juga mengalami peningkatan drastis, mencapai 9.346.950 liter (naik 101,73% dari tahun 2021). Peningkatan ini berdampak positif pada produksi kelapa sawit, yang mencapai 6.005.961 kilogram (naik 6,51% dari tahun 2021), dengan pendapatan yang tercatat sebesar 16,372 miliar IDR. Data ini menunjukkan bahwa investasi dalam biaya produksi dan aplikasi POC mampu mendorong peningkatan produktivitas dan pendapatan.

Meskipun luas lahan perkebunan pada tahun 2023 mengalami penurunan menjadi 2.924 hektar (turun 36,00% dari tahun 2022), biaya produksi kompos dan aplikasi POC justru mengalami peningkatan yang signifikan. Biaya produksi kompos tercatat sebesar 667,59 juta IDR (naik 35,14% dari tahun 2022), sementara biaya aplikasi dan pengangkutan POC meningkat menjadi 2,295 triliun IDR (naik 35,16% dari tahun 2022). Volume penggunaan POC mencapai angka tertinggi dalam periode yang diamati, yaitu 12.631.930 liter (naik 35,15% dari tahun 2022). Meskipun terjadi penurunan luas lahan, produksi kelapa sawit tetap meningkat menjadi 6.354.000 kilogram (naik 5,80% dari tahun 2022), dengan pendapatan mencapai 14,519 miliar IDR. Hal ini mengindikasikan bahwa efisiensi penggunaan POC dan peningkatan biaya produksi mampu mengompensasi penurunan luas lahan, sehingga tetap mendorong pertumbuhan produksi (Wilujeng dan Fauziyah, 2021).

Secara komprehensif, pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik cair (POC) telah menunjukkan dampak signifikan terhadap peningkatan pendapatan perkebunan kelapa sawit, terutama melalui efisiensi biaya produksi yang lebih unggul dibandingkan dengan penggunaan pupuk kimia (Nanda, 2022).

Biaya produksi pupuk kimia cenderung lebih tinggi akibat ketergantungan pada

bahan baku yang harganya fluktuatif dan proses produksi yang memerlukan energi intensif (Syamsiyah dkk.,2023). Sebaliknya, pupuk organik berbasis limbah kelapa sawit memanfaatkan bahan baku lokal yang tersedia secara melimpah dan relatif murah, sehingga mampu menekan biaya produksi secara substansial. Efisiensi biaya ini berkontribusi langsung terhadap peningkatan margin keuntungan, sebagaimana tercermin dari kenaikan pendapatan dari 10,116 miliar IDR pada tahun 2000 menjadi 16,372 miliar IDR pada tahun 2022.

Penggunaan pupuk organik juga mengurangi ketergantungan perkebunan terhadap pupuk kimia, yang selain mahal juga menimbulkan dampak negatif jangka panjang terhadap lingkungan, seperti degradasi tanah, pencemaran air, dan emisi gas rumah kaca (Fauzan dkk.,2021). Pupuk organik berbasis limbah kelapa sawit tidak hanya lebih ramah lingkungan tetapi juga mampu meningkatkan kesuburan tanah melalui penambahan bahan organik dan mikroorganisme yang menguntungkan. Dengan demikian, transisi dari pupuk kimia ke pupuk organik tidak hanya menurunkan biaya operasional tetapi juga menciptakan sistem produksi yang lebih berkelanjutan dan kompetitif.

Penghematan biaya yang dihasilkan dari penggunaan pupuk organik dapat dialokasikan untuk investasi dalam teknologi dan infrastruktur pendukung peningkatan produktivitas (Ariawan, 2023). Misalnya, alokasi dana yang sebelumnya digunakan untuk pembelian pupuk kimia dapat dialihkan ke pengembangan sistem kolam limbah atau program pelatihan bagi petani dalam mengoptimalkan aplikasi pupuk organik. Selain itu, peningkatan produktivitas yang dihasilkan dari penggunaan pupuk organik memungkinkan perkebunan untuk meningkatkan kapasitas produksi tanpa perlu ekspansi lahan, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan pendapatan secara

keseluruhan (Sinabang dkk.,2021). Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik tidak hanya menekan biaya produksi tetapi juga membuka peluang untuk meningkatkan skala dan profitabilitas produksi (Kan dkk.,2024).

Pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik menciptakan nilai tambah dari bahan yang sebelumnya dianggap sebagai limbah. Proses konversi limbah menjadi pupuk organik tidak hanya mengurangi biaya pengelolaan limbah tetapi juga mengubahnya menjadi sumber daya bernilai ekonomi (Kan dkk.,2024). Dalam konteks ini, biaya produksi pupuk organik menjadi lebih kompetitif dibandingkan dengan pupuk kimia, yang harganya sering dipengaruhi oleh volatilitas pasar global. Dengan memanfaatkan limbah sebagai bahan baku, perkebunan dapat mengurangi ketergantungan pada pasar pupuk kimia yang tidak stabil, sehingga menciptakan sistem produksi yang lebih mandiri dan berkelanjutan.

Pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik menawarkan solusi holistik untuk meningkatkan pendapatan perkebunan sekaligus mengurangi dampak lingkungan. Penghematan biaya produksi yang signifikan, peningkatan produktivitas, dan pengurangan ketergantungan pada pupuk kimia yang mahal menjadi faktor kunci dalam meningkatkan profitabilitas agribisnis kelapa sawit. Selain itu, transformasi limbah menjadi pupuk organik mendukung prinsip ekonomi sirkular, di mana limbah diubah menjadi sumber daya bernilai ekonomi. Dengan demikian, kebijakan dan inisiatif yang mendukung pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik tidak hanya memberikan keuntungan ekonomi tetapi juga mendukung pembangunan agribisnis yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik telah menjadi salah satu inovasi penting dalam mendukung keberlanjutan sektor perkebunan kelapa sawit (Kurniawan dkk.,2022). Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan pupuk organik berbasis limbah kelapa sawit telah menunjukkan dampak signifikan terhadap peningkatan produksi kelapa sawit, baik dari aspek produktivitas maupun keberlanjutan lingkungan (Andi dkk.,2025). Data produksi kelapa sawit di PT. Padasa Enam Utama dari tahun 2020 hingga 2023 menunjukkan tren positif yang tidak hanya mencerminkan peningkatan kuantitas produksi, tetapi juga mengindikasikan peran krusial pupuk organik dalam mendukung praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan dan efisien (Alkatiri dkk.,2024). Analisis ini akan menguraikan lebih dalam bagaimana pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik telah berkontribusi pada peningkatan produksi dan keberlanjutan sektor perkebunan kelapa sawit (S. Prayitno dkk.,2008).

Pada tahun 2020, produksi kelapa sawit tercatat sebesar 4.787.370 kilogram dengan luas area yang diberdayakan sebesar 1.923 hektar. Meskipun luas area yang digunakan relatif terbatas, pemanfaatan pupuk organik berbasis limbah kelapa sawit telah memberikan dampak positif terhadap produksi. Hal ini menunjukkan bahwa pupuk organik tidak hanya meningkatkan hasil per hektar, tetapi juga mendukung pengelolaan tanah yang lebih baik. Pupuk organik dapat menjadi solusi jangka panjang untuk mencapai pertanian kelapa sawit yang berkelanjutan (Labibah dkk.,2024).

Pada tahun 2021, produksi kelapa sawit meningkat menjadi 5.639.000 kilogram, seiring dengan peningkatan luas area yang diberdayakan menjadi 2.153 hektar. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penerapan pupuk organik tidak hanya meningkatkan hasil per hektar, tetapi juga mendukung perluasan area perkebunan

yang mengadopsi sistem pertanian berkelanjutan. Pupuk organik berbasis limbah kelapa sawit telah terbukti efektif dalam meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia sintetis, yang seringkali memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan demikian, peningkatan produksi ini tidak hanya mencerminkan keuntungan ekonomi, tetapi juga menunjukkan komitmen terhadap praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan (Alpandari dan Prakoso, 2022).

Peningkatan yang lebih signifikan terjadi pada tahun 2022, dengan produksi kelapa sawit mencapai 6.005.961 kilogram, meskipun luas area yang digunakan melonjak menjadi 4.568 hektar. Peningkatan produksi yang lebih besar ini menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik tidak hanya berpengaruh pada hasil secara kuantitatif, tetapi juga berdampak signifikan pada kualitas tanah dan efisiensi penggunaan sumber daya alam. Pupuk organik membantu meningkatkan kapasitas tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman kelapa sawit, yang pada gilirannya meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. Selain itu, penggunaan pupuk organik juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran tanah dan air, yang seringkali disebabkan oleh penggunaan pupuk kimia sintetis (Purba dkk.,2023).

Pada tahun 2023, meskipun luas area yang diberdayakan mengalami penurunan menjadi 2.924 hektar, produksi kelapa sawit tetap mengalami peningkatan menjadi 6.354.000 kilogram. Penurunan luas area ini disebabkan oleh berbagai faktor, kebijakan internal Perusahaan dan keterbatasan sumber daya lainnya. Namun, produksi yang tetap meningkat menunjukkan bahwa pupuk organik berbasis limbah kelapa sawit memiliki potensi untuk mempertahankan tingkat produktivitas yang tinggi, meskipun dalam kondisi terbatas. Hal ini

mengindikasikan bahwa penggunaan pupuk organik tidak hanya meningkatkan hasil per hektar, tetapi juga memberikan dampak positif dalam menghadapi tantangan eksternal yang dapat mempengaruhi luas area yang dapat diberdayakan.

Penggunaan pupuk organik berbasis limbah kelapa sawit mampu mengoptimalkan hasil produksi kelapa sawit, baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Pupuk organik berperan dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aerasi tanah, dan meningkatkan kapasitas tanah untuk menyimpan air, yang pada gilirannya mendukung pertumbuhan tanaman kelapa sawit yang lebih sehat dan produktif. Dengan demikian, penggunaan pupuk organik dapat menjadi solusi jangka panjang untuk mencapai pertanian kelapa sawit yang berkelanjutan.

Dari perspektif ekonomi, meskipun biaya awal untuk produksi pupuk organik dari limbah kelapa sawit relatif tinggi yang disebabkan fasilitas pengolahannya limbah tersebut, namun keuntungan jangka panjang yang diperoleh dari peningkatan hasil produksi jauh lebih besar (Kan dkk.,2024). Pengurangan ketergantungan pada pupuk kimia sintetis juga mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang, sehingga menciptakan efisiensi biaya yang berpotensi meningkatkan profitabilitas perusahaan Perkebunan (Silvia Hendrayanti dan Yuli Ernawati, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada biaya awal yang signifikan, investasi dalam teknologi pupuk organik dapat menghasilkan keuntungan ekonomi yang berkelanjutan.

Selain keuntungan ekonomi, penggunaan pupuk organik juga berkontribusi pada pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan. Pupuk kimia sintetis yang sering digunakan dalam produksi kelapa sawit konvensional dapat menyebabkan pencemaran tanah dan air serta degradasi ekosistem. Sebaliknya, pupuk organik yang terbuat dari limbah kelapa sawit lebih ramah lingkungan karena mengandung

lebih sedikit bahan kimia berbahaya dan dapat membantu memperbaiki kualitas tanah secara alami, Sejalan dengan upaya konservasi lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam yang lebih bijaksana.

Penerapan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik dalam pertanian berkelanjutan memberikan dampak sosial yang signifikan, terutama dalam meningkatkan kesejahteraan petani dan masyarakat sekitar (G. Prayitno dkk.,2024). Dengan mengubah limbah yang sebelumnya menjadi masalah lingkungan menjadi sumber daya bernilai tinggi, petani dan perusahaan perkebunan dapat menekan biaya produksi sekaligus meningkatkan produktivitas lahan. Peningkatan hasil produksi kelapa sawit yang stabil dan berkelanjutan ini menjamin pendapatan petani yang lebih teratur dan meningkat. Selain itu, program ini membuka peluang ekonomi baru bagi masyarakat lokal, seperti terciptanya lapangan kerja di sektor pengolahan limbah dan distribusi pupuk organik, yang pada akhirnya mendorong pertumbuhan ekonomi di tingkat desa (Hariyanti, 2022).

Dampak sosial yang lebih luas juga terlihat dari peningkatan kualitas hidup masyarakat sekitar. Pendapatan yang lebih stabil memungkinkan petani dan keluarganya untuk mengakses layanan pendidikan, kesehatan, dan infrastruktur yang lebih baik. Selain itu, program ini memperkuat hubungan harmonis antara perusahaan perkebunan dan masyarakat, mengurangi potensi konflik sosial yang sering muncul akibat dampak negatif industri kelapa sawit (Hariyanti, 2022). Dengan demikian, pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik tidak hanya mendukung keberlanjutan lingkungan, tetapi juga menjadi katalisator pembangunan sosial-ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan di tingkat lokal.

5.2. Pengaruh Intensitas, Kemudahan Pengguna, Persepsi Kegunaan terhadap Pengguna Nyata dan Pengalaman Pemanfaatan Limbah

Cair Pada Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan

Adopsi teknologi pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik dalam konteks perkebunan kelapa sawit mengungkapkan dinamika yang kompleks namun kritis dalam upaya mencapai keberlanjutan dan efisiensi operasional (Ginting, 2024). Pemanfaatan limbah ini tidak hanya memberikan solusi terhadap tantangan lingkungan dan ekonomi yang dihadapi oleh industri kelapa sawit, tetapi juga menciptakan paradigma baru dalam pengelolaan sumber daya alam yang lebih efisien dan berkelanjutan (Judijanto dkk.,2024). Dengan mengonversi limbah kelapa sawit, seperti limbah cair pabrik, tandan kosong, cangkang, dan serabut, menjadi pupuk organik, industri tidak hanya mengurangi volume limbah yang dihasilkan, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia sintetis yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan (Annisa, 2022). Teknologi ini memberikan manfaat langsung terhadap peningkatan kualitas tanah dan produktivitas pertanian, sekaligus berkontribusi pada pengelolaan sumber daya alam yang lebih efisien.

Berdasarkan hasil analisis statistik, ditemukan bahwa niat untuk menggunakan teknologi (*Behavioral Intention to Use / BIU*) memiliki hubungan yang signifikan dengan penerapan aktual (*Actual Use / AU*) teknologi pengelolaan limbah kelapa sawit menjadi pupuk organik. Dengan nilai T-statistik sebesar 2,568 dan p-value 0,005 untuk hubungan antara intensitas niat dan pengalaman pengguna, serta nilai T-statistik sebesar 2,312 dan p-value 0,011 untuk hubungan antara intensitas niat dan penerapan teknologi, data ini mengonfirmasi bahwa semakin tinggi niat pengguna untuk memanfaatkan teknologi, semakin besar probabilitas teknologi ini diimplementasikan di lapangan. Temuan ini mengindikasikan bahwa motivasi yang kuat untuk beralih ke teknologi pengelolaan

limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik memainkan peran krusial dalam mempercepat adopsinya dalam praktik. Motivasi ini dapat bersumber dari berbagai faktor, termasuk kesadaran akan manfaat lingkungan, tekanan dari pemangku kepentingan, atau insentif ekonomi yang ditawarkan oleh perusahaan.

Penerimaan teknologi oleh manajemen juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap implementasi di lapangan. Manajemen PT Padasa Enam Utama memandang adopsi teknologi pengelolaan limbah ini sebagai peluang strategis untuk meningkatkan efisiensi operasional dan meminimalkan dampak lingkungan yang merugikan (Annisa, 2022). Dalam konteks ini, persepsi positif terhadap teknologi tersebut tidak hanya terfokus pada keuntungan ekonomi jangka pendek, tetapi juga pada manfaat keberlanjutan jangka panjang. Penggunaan limbah kelapa sawit untuk pupuk organik dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia sintetis yang mahal, yang pada gilirannya menurunkan biaya produksi dan meningkatkan profitabilitas perusahaan dalam jangka panjang. Persepsi positif ini sangat penting mengingat peran krusial manajemen dalam alokasi sumber daya dan pengambilan keputusan strategis yang mempengaruhi adopsi teknologi.

Faktor kemudahan penggunaan (*Perceived Ease of Use* / PEU) juga memainkan peran penting dalam penerimaan teknologi ini oleh para pekerja dan

manajer. Analisis menunjukkan bahwa persepsi kemudahan penggunaan terkait dengan teknologi pengelolaan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik memiliki hubungan yang signifikan dengan penerapan teknologi tersebut di lapangan (Afiana dkk.,2023). Teknologi yang mudah digunakan dan intuitif tidak hanya mempercepat adopsi awal, tetapi juga meningkatkan keberlanjutan penerapan teknologi. Semakin sederhana teknologi ini dalam penggunaannya, semakin tinggi kemungkinan pekerja dan manajer untuk mempertahankan penggunaan teknologi ini dalam jangka panjang. Hal ini sangat krusial dalam memastikan bahwa implementasi teknologi pengelolaan limbah berlangsung secara efisien dan efektif, yang pada gilirannya meningkatkan hasil produksi dan mengurangi biaya operasional.

Meskipun kemudahan penggunaan memainkan peran penting, manfaat nyata yang dirasakan oleh pengguna (*Perceived Usefulness / PU*) tetap menjadi faktor dominan dalam mendorong adopsi yang lebih luas. Pengalaman pengguna yang positif, yang mencakup peningkatan hasil pertanian, pengurangan biaya, dan peningkatan efisiensi operasional, memberikan dorongan kuat untuk adopsi teknologi secara lebih luas di seluruh Perkebunan (Judijanto, 2024). Manfaat yang terukur ini, termasuk pengurangan biaya dan peningkatan kualitas tanah, memberikan keyakinan kepada manajemen bahwa teknologi ini bukan hanya solusi sementara, melainkan investasi jangka panjang yang berkelanjutan. Manfaat ini juga dapat meningkatkan kepercayaan diri pekerja dalam menggunakan teknologi, yang pada gilirannya meningkatkan produktivitas dan efisiensi.

Namun, meskipun manfaat yang dirasakan dapat mendorong adopsi teknologi, tantangan terkait dengan biaya implementasi, kebutuhan akan pelatihan, dan dukungan teknis tetap menjadi hambatan utama. Persepsi kegunaan teknologi yang tinggi tidak selalu berbanding lurus dengan adopsi yang efektif jika tantangan praktis lainnya tidak diatasi (Irawan dkk.,2023). Dalam konteks ini, meskipun teknologi pengelolaan limbah sebagai pupuk organik memiliki potensi besar, faktor eksternal seperti biaya implementasi, kompleksitas teknis, dan kendala operasional dapat menghambat adopsi yang lebih luas. Oleh karena itu, perusahaan perlu mempertimbangkan penyediaan dukungan teknis yang memadai, pelatihan yang komprehensif bagi pekerja, serta insentif ekonomi yang dapat meningkatkan tingkat adopsi teknologi.

Keberlanjutan adopsi teknologi ini juga sangat bergantung pada kemudahan integrasi teknologi dengan sistem operasional yang sudah ada. Dalam konteks pengelolaan limbah kelapa sawit, teknologi yang mudah diadaptasi dan terintegrasi dengan baik dalam proses produksi akan lebih mudah diterima oleh pekerja dan manajer (Alamsyah dkk.,2023). Kemudahan integrasi ini akan meminimalkan gangguan dalam operasional sehari-hari dan memungkinkan teknologi untuk diimplementasikan dengan lebih cepat dan efisien. Integrasi yang baik juga dapat mengurangi resistensi dari pekerja yang mungkin merasa khawatir terhadap perubahan dalam rutinitas kerja mereka.

Dalam jangka panjang, penerimaan teknologi ini dapat memperkuat posisi perusahaan dalam industri kelapa sawit, terutama dalam menghadapi tekanan dari konsumen dan pemangku kepentingan yang semakin peduli terhadap isu

keberlanjutan. Teknologi yang ramah lingkungan dan efisien dalam pengelolaan limbah akan meningkatkan citra perusahaan sebagai entitas yang bertanggung jawab secara sosial dan lingkungan. Reputasi ini akan menjadi daya tarik bagi konsumen yang semakin memilih produk dari perusahaan yang menerapkan praktik berkelanjutan, dan pada gilirannya, meningkatkan daya saing perusahaan di pasar global.

Adopsi teknologi pengelolaan limbah kelapa sawit juga dapat memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan hasil pertanian, yang selanjutnya mendukung keberlanjutan operasional Perusahaan (Suliartini dkk.,2023). Teknologi yang efektif dalam mengolah limbah menjadi pupuk organik akan memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tanah untuk menyimpan air, dan mendukung keseimbangan mikrobiologis tanah (Ganestri dkk.,2021). Aspek ini sangat krusial untuk mendukung keberlanjutan produksi kelapa sawit yang ramah lingkungan dan dapat terus meningkatkan hasil dalam jangka panjang.

Pemanfaatan limbah cair dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit berkelanjutan telah menjadi fokus strategis bagi perusahaan perkebunan, terutama dalam upaya meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Analisis data statistik yang dilakukan terhadap faktor-faktor seperti intensitas niat, kemudahan penggunaan, pengalaman pengguna, dan penerapan nyata teknologi memberikan gambaran komprehensif tentang persepsi perusahaan terhadap adopsi teknologi pengelolaan limbah cair. Berdasarkan hasil analisis, intensitas niat untuk menggunakan teknologi (Intensitas) memiliki hubungan yang signifikan dengan penerapan nyata teknologi (Pengguna Nyata),

dengan nilai p-value sebesar 0,017 ($< 0,05$) dan T-statistik sebesar 2,395. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi motivasi dan komitmen perusahaan untuk mengadopsi teknologi, semakin besar probabilitas teknologi tersebut diimplementasikan secara nyata di lapangan. Intensitas niat ini dipengaruhi oleh persepsi perusahaan terhadap manfaat jangka Panjang (Latuconsina dan Sariwating, 2020), seperti pengurangan ketergantungan pada pupuk kimia sintetis, peningkatan kualitas tanah, dan peningkatan produktivitas tanaman. Dengan demikian, intensitas niat menjadi faktor krusial dalam mendorong adopsi teknologi yang berkelanjutan.

Kemudahan penggunaan teknologi (Kemudahan Pengguna) juga memainkan peran yang sangat signifikan dalam penerapan nyata teknologi, dengan nilai p-value sebesar 0,001 ($< 0,05$) dan T-statistik sebesar 3,213. Temuan ini mengonfirmasi bahwa teknologi yang dirancang dengan antarmuka yang intuitif dan mudah dipahami oleh pengguna akan mempercepat proses adopsi dan implementasi di lapangan. Kemudahan penggunaan tidak hanya mengurangi waktu dan biaya pelatihan, tetapi juga meminimalkan resistensi dari pekerja yang mungkin merasa khawatir terhadap kompleksitas teknologi baru. Sebaliknya, teknologi yang dirasa terlalu rumit atau memerlukan pelatihan intensif dapat menghambat adopsi, bahkan jika teknologi tersebut menawarkan manfaat yang signifikan (Listiyono dkk.,2022). Oleh karena itu, desain teknologi yang *user-friendly* menjadi faktor determinan dalam memastikan keberhasilan implementasi.

Pengalaman pengguna (Pengalaman) yang diperoleh dari penerapan nyata teknologi juga memiliki hubungan yang sangat signifikan, dengan nilai p-value

sebesar 0,000 ($< 0,05$) dan T-statistik sebesar 5,691. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan nyata teknologi secara langsung memengaruhi pengalaman pengguna. Pengalaman positif, seperti peningkatan hasil pertanian, perbaikan kualitas tanah, dan pengurangan biaya operasional, akan memperkuat keyakinan perusahaan terhadap manfaat teknologi ini. Sebaliknya, pengalaman negatif, seperti ketidaksesuaian hasil dengan harapan atau peningkatan beban kerja, dapat mengurangi minat perusahaan untuk melanjutkan penggunaan teknologi tersebut. Pengalaman pengguna juga berkaitan dengan pemahaman terhadap manfaat jangka panjang, seperti peningkatan kapasitas tanah dalam menyimpan air dan mendukung keseimbangan mikrobiologis tanah. Dengan demikian, pengalaman positif menjadi faktor kunci dalam memastikan keberlanjutan adopsi teknologi (Zhang dkk.,2024).

Namun, persepsi kegunaan teknologi (Persepsi Kegunaan) tidak menunjukkan hubungan yang signifikan dengan penerapan nyata teknologi, dengan nilai p-value sebesar 0,857 ($> 0,05$) dan T-statistik sebesar 0,181. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun perusahaan mungkin memandang teknologi tersebut berguna, persepsi ini tidak secara langsung memengaruhi keputusan untuk mengimplementasikan teknologi. Faktor lain, seperti kemudahan penggunaan atau dukungan manajemen, mungkin lebih berpengaruh dalam proses adopsi (Abuakel dan Ibrahim, 2023; Davis, 1989). Hal ini menunjukkan bahwa manfaat yang dirasakan dari teknologi tidak cukup untuk mendorong adopsi jika tidak disertai dengan kemudahan penggunaan dan dukungan operasional yang

memadai (Park dkk.,2022). Oleh karena itu, perusahaan perlu mempertimbangkan faktor-faktor praktis dalam mendorong adopsi teknologi (Hooks dkk.,2022).

Secara keseluruhan, persepsi perusahaan perkebunan kelapa sawit terhadap pemanfaatan limbah cair dalam pengelolaan perkebunan berkelanjutan sangat dipengaruhi oleh intensitas niat, kemudahan penggunaan, dan pengalaman pengguna (Suprihatin dkk.,2024). Intensitas niat yang tinggi dan kemudahan penggunaan teknologi menjadi faktor kunci dalam mendorong penerapan nyata teknologi (Salar dan Hamutoglu, 2022), sementara pengalaman positif yang dihasilkan dari penggunaan teknologi akan memperkuat keyakinan perusahaan terhadap manfaat teknologi tersebut (FakhrHosseini dkk.,2024). Namun, persepsi kegunaan teknologi tidak memiliki pengaruh yang signifikan, menunjukkan bahwa manfaat yang dirasakan saja tidak cukup untuk mendorong adopsi jika tidak disertai dengan kemudahan penggunaan dan dukungan operasional yang memadai (Kim, 2024).

Oleh karena itu, perusahaan perlu fokus pada upaya meningkatkan intensitas niat penggunaan teknologi serta memastikan kemudahan dalam penggunaannya. Selain itu, penting untuk memastikan bahwa implementasi teknologi memberikan pengalaman yang positif bagi pengguna, karena hal ini dapat memengaruhi tingkat adopsi dan keberhasilan penerapannya. Dukungan aktif dari manajemen dan tim teknis juga memegang peran krusial dalam memastikan proses implementasi berjalan lancar dan mencapai hasil yang optimal (Cook dkk.,2021).

Lebih lanjut, dengan adopsi yang tepat, teknologi pengelolaan limbah cair dapat menjadi pendorong utama dalam mencapai tujuan keberlanjutan di industri kelapa sawit. Manfaatnya tidak hanya terbatas pada aspek ekonomi, tetapi juga

mencakup dampak positif secara sosial dan lingkungan (Awoh dkk.,2023a). Integrasi teknologi yang baik juga dapat membantu mengurangi resistensi dari pekerja, yang mungkin merasa khawatir terhadap perubahan dalam rutinitas kerja mereka. Dengan pendekatan yang komprehensif, perusahaan dapat meminimalkan hambatan dan memaksimalkan manfaat dari penerapan teknologi tersebut (Jalo dan Pirkkalainen, 2024).

5.3. Peran Lembaga dalam Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit dengan Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit.

Hasil analisis menunjukkan bahwa dalam konteks pengelolaan perkebunan kelapa sawit dengan memanfaatkan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik, peran kelembagaan memegang posisi sentral dan dominan (Chong dkk.,2017). Kebijakan yang ditetapkan oleh Dinas Lingkungan Hidup berfungsi sebagai dasar regulasi yang kuat, mengatur seluruh proses pengolahan limbah kelapa sawit agar sesuai dengan standar lingkungan yang telah ditetapkan (Ngwelum, 2021). Peran regulasi ini tidak hanya memberikan legitimasi hukum, tetapi juga menciptakan kerangka kerja yang jelas bagi perusahaan perkebunan dalam mengelola limbah mereka (Cordoba dkk.,2022). Tanpa kebijakan yang jelas dan mendukung dari lembaga ini, pengelolaan limbah sebagai pupuk organik dapat menghadapi ketidakpastian hukum dan operasional, yang pada gilirannya dapat menghambat implementasi program secara efektif (Awoh dkk.,2023). Dengan demikian, kebijakan dari Dinas Lingkungan Hidup bertindak sebagai landasan utama yang memberikan arah dan struktur bagi seluruh sistem pengelolaan limbah (Ngwelum, 2021).

Peran kelembagaan Dinas Lingkungan Hidup tidak hanya terbatas pada penetapan regulasi, tetapi juga mencakup fungsi pengawasan dan evaluasi terhadap

implementasi kebijakan tersebut (Sparkes dan Werners, 2023). Sebagai lembaga yang memiliki otoritas dalam pengelolaan lingkungan, Dinas Lingkungan Hidup bertanggung jawab untuk memastikan bahwa setiap tahap pengolahan limbah dilakukan sesuai dengan prinsip keberlanjutan dan ramah lingkungan (Ratnasari dkk.,2023). Hal ini mencakup pemantauan terhadap kualitas limbah yang diolah, kesesuaian proses pengolahan dengan standar yang ditetapkan, serta dampak lingkungan yang dihasilkan. Dengan demikian, peran kelembagaan ini tidak hanya bersifat normatif, tetapi juga operasional, memastikan bahwa kebijakan yang ditetapkan tidak hanya menjadi dokumen formal, tetapi juga diimplementasikan secara nyata di lapangan (Knill dkk.,2024).

Selain kebijakan dari Dinas Lingkungan Hidup, dukungan manajemen dan alokasi anggaran yang memadai juga memainkan peran krusial dalam menggerakkan sistem pengelolaan limbah ini (Ezeudu dan Bristow, 2024). Kedua variabel ini berfungsi sebagai faktor penggerak independen yang memastikan bahwa proses pengolahan limbah dapat berjalan secara optimal. Dukungan dari manajemen mencerminkan komitmen perusahaan untuk mengadopsi praktik berkelanjutan, sementara alokasi anggaran yang tepat menyediakan sumber daya finansial yang diperlukan untuk menjalankan proses tersebut. Tanpa dukungan manajemen yang kuat dan anggaran yang dialokasikan secara memadai, meskipun ada kebijakan yang baik dari Dinas Lingkungan Hidup, pengelolaan limbah tidak akan dapat terlaksana secara maksimal (Alsabt dkk.,2024). Oleh karena itu, sinergi antara kebijakan pemerintah, dukungan manajemen, dan alokasi anggaran menjadi kunci keberhasilan dalam implementasi sistem ini (Lerpiniere dkk.,2025).

Dinas Lingkungan Hidup, melalui kebijakan yang mereka tetapkan, tidak

hanya berperan sebagai regulator, tetapi juga sebagai pengarah bagi seluruh pihak yang terlibat dalam pengelolaan limbah kelapa sawit. Kebijakan ini berfungsi sebagai instrumen hukum yang mengatur setiap tindakan yang diambil oleh perusahaan perkebunan dalam mengelola limbah mereka. Hal ini memastikan bahwa kegiatan yang dilakukan sesuai dengan prinsip keberlanjutan lingkungan dan memenuhi standar yang ditetapkan oleh pemerintah. Keberadaan lembaga ini menjadi sangat krusial karena peran mereka dalam membentuk kebijakan dan regulasi yang mendukung pengelolaan limbah dengan cara yang aman dan bertanggung jawab. Dengan demikian, Dinas Lingkungan Hidup tidak hanya menetapkan aturan, tetapi juga memastikan bahwa aturan tersebut diimplementasikan secara efektif.

Pada sisi operasional, ketersediaan sarana dan prasarana yang memadai serta keselarasan persepsi antara pemangku kepentingan juga memegang peran penting dalam memastikan keberhasilan pengolahan limbah kelapa sawit (Abogunrin-olafisoye dkk.,2024). Sarana dan prasarana yang memadai, seperti fasilitas pengolahan limbah dan infrastruktur pendukung, memungkinkan penerapan teknologi pengelolaan limbah berjalan dengan lancar. Tanpa ketersediaan fasilitas yang tepat, proses pengolahan limbah menjadi pupuk organik yang berkualitas akan terhambat. Di sisi lain, keselarasan persepsi antara pemangku kepentingan, termasuk perusahaan, pemerintah, dan masyarakat, menjadi elemen kunci dalam memastikan koordinasi yang efektif dalam pelaksanaan program ini. Ketika para pemangku kepentingan memiliki pemahaman yang sama mengenai pentingnya pengelolaan limbah, maka implementasi di lapangan akan lebih sukses dan terkoordinasi dengan baik (Leknoi dkk.,2024).

Namun, meskipun ketersediaan lahan terbuka hijau memiliki peran penting

dalam menjaga keseimbangan lingkungan, variabel ini tidak memiliki driving power yang sekuat kebijakan atau dukungan manajemen (Jabbar dkk.,2022). Lahan terbuka hijau berfungsi lebih sebagai penyeimbang ekosistem dalam proses pengolahan limbah dan menjaga keberlanjutan lingkungan (Higgins dkk.,2021). Meskipun perannya signifikan dalam memberikan kontribusi terhadap keberlanjutan ekosistem, lahan hijau tidak menjadi faktor penggerak utama dalam sistem ini. Ketergantungan pada faktor lain, seperti kebijakan pemerintah dan alokasi anggaran yang memadai, lebih besar dalam memastikan keberlanjutan pengelolaan limbah secara efektif. Dengan demikian, lahan terbuka hijau lebih berperan sebagai pendukung daripada faktor utama dalam sistem pengelolaan limbah.

Pada Pergub Sumsel No 33 Tahun 2023, rumusan isu strategis dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit di Provinsi Sumatera Selatan sudah mencakup berbagai aspek penting, namun perlu ditekankan bahwa keberlanjutan pengelolaan perkebunan kelapa sawit tidak hanya bergantung pada sertifikasi ISPO, tetapi juga pada pemanfaatan limbah secara optimal.

Pengolahan limbah kelapa sawit harus menjadi bagian integral dari strategi perusahaan dalam meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi dampak lingkungan. Limbah dari pabrik kelapa sawit (PKS), seperti tandan kosong, limbah cair, dan cangkang sawit, memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan, pupuk organik, atau bahan baku industri lainnya. Menurut Almira dkk. (2023), pemanfaatan limbah tidak hanya mengurangi pemborosan, tetapi juga memaksimalkan nilai tambah dari produk sampingan, sejalan dengan prinsip *circular economy*.

Lebih lanjut, pemanfaatan limbah PKS untuk produksi pupuk organik terbukti efektif dalam menekan penyebaran penyakit Ganoderma, yang merupakan ancaman serius bagi produktivitas kelapa sawit (Harefa, 2022). Pupuk organik berbasis limbah sawit dapat meningkatkan kesehatan tanah dan ketahanan tanaman, sehingga mendukung produktivitas jangka panjang kebun kelapa sawit (Kurniawan dkk., 2022). Hal ini juga selaras dengan konsep pertanian regeneratif yang bertujuan menjaga keseimbangan ekosistem pertanian.

Dengan demikian, selain memperkuat aspek sertifikasi dan tata kelola, pendekatan yang lebih komprehensif dalam pemanfaatan limbah dapat menjadi solusi untuk meningkatkan keberlanjutan industri kelapa sawit secara ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Ada pun rekomendasi kebijakan yang diusulkan berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kebijakan Insentif dan Subsidi untuk Pengolahan Limbah

Untuk mendorong pengolahan limbah kelapa sawit menjadi pupuk organik, pemerintah daerah maupun pusat perlu merumuskan kebijakan yang bersifat insentif. Salah satu langkah strategis adalah pemberian insentif fiskal, seperti keringanan pajak dan subsidi produksi, kepada perusahaan perkebunan yang terbukti secara aktif melakukan pengolahan limbah menjadi produk ramah lingkungan. Selain itu, pemerintah juga dapat menyediakan skema pendanaan khusus dalam bentuk hibah atau bantuan modal bagi pelaku usaha yang ingin membangun fasilitas pengolahan limbah di sekitar kawasan perkebunan. Kebijakan ini bertujuan menciptakan ekosistem industri yang lebih bertanggung jawab secara lingkungan sekaligus memberikan nilai tambah ekonomi bagi sektor perkebunan.

2. Regulasi Kewajiban Pengelolaan Limbah Ramah Lingkungan

Langkah strategis lainnya adalah memperkuat regulasi yang mewajibkan setiap pabrik kelapa sawit untuk memiliki dan menerapkan rencana pengelolaan limbah yang terarah dan berkelanjutan. Regulasi ini harus secara eksplisit mencakup kewajiban pemanfaatan limbah sebagai bahan baku pupuk organik. Di samping itu, pemerintah perlu menegakkan aturan secara tegas dengan memberikan sanksi administratif kepada perusahaan yang masih melakukan praktik pembakaran limbah terbuka, yang berisiko tinggi terhadap pencemaran udara dan kerusakan ekosistem. Dengan penerapan regulasi ini, diharapkan terjadi perubahan paradigma dari sekadar membuang limbah menjadi mengelola limbah sebagai sumber daya yang bermanfaat.

3. Penguatan Kapasitas SDM dan Teknologi

Pemanfaatan limbah kelapa sawit secara optimal memerlukan dukungan sumber daya manusia (SDM) yang kompeten serta teknologi yang memadai. Oleh karena itu, penting bagi pemerintah dan perusahaan untuk secara aktif mengadakan pelatihan bagi para pekerja dan manajer di sektor perkebunan terkait teknik-teknik pengolahan limbah. Di samping itu, kolaborasi antara perusahaan, lembaga penelitian, dan perguruan tinggi perlu diperkuat untuk mengembangkan teknologi pengolahan limbah yang efisien, hemat biaya, dan mudah diadopsi oleh pelaku industri. Penguatan kapasitas ini tidak hanya mendukung praktik produksi berkelanjutan, tetapi juga menciptakan inovasi lokal yang dapat meningkatkan daya saing nasional dalam pengembangan pupuk organik.

4. Integrasi Program Keberlanjutan dalam Sistem Produksi

Sebagai bagian dari upaya mewujudkan pertanian berkelanjutan, perusahaan perkebunan kelapa sawit didorong untuk mengintegrasikan penggunaan pupuk organik berbahan dasar limbah ke dalam sistem operasional mereka. Hal ini

dapat diwujudkan dengan mengadopsi pupuk organik dalam standar operasional prosedur (SOP) perusahaan dan menjadikannya sebagai bagian dari komitmen terhadap keberlanjutan lingkungan. Selain itu, perlu disusun pedoman teknis penggunaan pupuk organik agar implementasinya di lapangan sesuai dengan prinsip-prinsip agronomis yang tepat. Pedoman ini juga penting untuk meminimalisasi risiko kesalahan penerapan dan memaksimalkan manfaat terhadap kesuburan tanah dan produktivitas tanaman.

5. Promosi dan Sertifikasi Produk Ramah Lingkungan

Agar penggunaan pupuk organik dari limbah kelapa sawit memiliki nilai tambah di pasar, diperlukan promosi dan pemberian sertifikasi ramah lingkungan. Pemerintah dapat mendorong pengembangan label atau sertifikat “produksi berkelanjutan” yang diberikan kepada perusahaan yang mengadopsi sistem pengelolaan limbah secara bertanggung jawab. Sertifikasi ini akan menjadi alat branding yang kuat, khususnya untuk menghadapi pasar global yang semakin memperhatikan isu lingkungan dalam rantai pasoknya. Selain itu, kampanye publik yang mengedukasi konsumen mengenai pentingnya keberlanjutan dan manfaat penggunaan limbah juga perlu digalakkan, sehingga masyarakat dapat memberikan dukungan terhadap produk-produk yang peduli lingkungan.

6. Kolaborasi Multipihak

Pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik tidak dapat dilakukan secara parsial, melainkan memerlukan kolaborasi dari berbagai pihak. Pemerintah, pelaku usaha, akademisi, dan masyarakat harus membentuk sinergi dalam mengembangkan industri pupuk organik yang berbasis pada prinsip ekonomi sirkular. Kolaborasi ini dapat difasilitasi melalui pembentukan forum komunikasi lintas sektor yang bertujuan untuk berbagi praktik terbaik, inovasi teknologi, serta

strategi pengembangan bisnis yang berkelanjutan. Dengan adanya kolaborasi multipihak, maka akan tercipta ekosistem yang kondusif bagi pengelolaan limbah kelapa sawit secara terintegrasi dan berkelanjutan.

5.4. Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Organik Dapat Menjadi Alternatif Dalam Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan

Pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik telah muncul sebagai alternatif yang menjanjikan dalam upaya mencapai pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan (Terence dkk.,2023). Limbah yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit, seperti tandan kosong, cangkang, serabut, dan ampas, selama ini seringkali hanya dibuang atau dibakar, yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran udara dan tanah (Kaniapan dkk.,2021). Namun, dengan mengolah limbah tersebut menjadi pupuk organik, tidak hanya dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga memberikan manfaat langsung bagi pertanian kelapa sawit itu sendiri (Supriatna, Setiawati, Sudirja, Suherman, dan Bonneau, 2023). Proses konversi limbah menjadi pupuk organik tidak hanya mengurangi volume limbah yang terbuang, tetapi juga memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan produktivitas tanaman, sehingga menciptakan siklus yang lebih berkelanjutan dalam pengelolaan Perkebunan (Supriatna, Setiawati, Sudirja, Suherman, Supriatna, dkk.,2023).

Konversi pupuk kimia dengan pupuk organik berbahan limbah kelapa sawit menawarkan potensi efisiensi biaya yang signifikan (Ukanwa dkk.,2023). Penggunaan pupuk kimia seringkali melibatkan biaya tinggi, baik untuk pembelian pupuk itu sendiri maupun untuk biaya transportasi dan distribusi, yang dipengaruhi oleh fluktuasi harga global (Nyondo dkk.,2021). Sebaliknya, bahan baku untuk

pupuk organik tersedia di sekitar lokasi perkebunan, sehingga biaya transportasi dan pengadaan bahan baku dapat diminimalkan. Hal ini berkontribusi pada pengurangan biaya operasional, yang pada gilirannya meningkatkan profitabilitas perusahaan Perkebunan (Imam dkk.,2025). Selain itu, peningkatan produktivitas tanah melalui penggunaan pupuk organik juga dapat meningkatkan hasil panen, yang memberikan keuntungan ekonomi tambahan bagi petani dan Perusahaan (Sahu dkk.,2024). Terlihat data pendapatan produksi PT. Padasa Enam Utama dari tahun 2020 hingga 2023 menunjukkan tren yang menggambarkan dampak positif dari pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik.

Gambar 4.5. Pendapatan Produksi dari penggunaan Limbah sebagai puuk organik



Pada tahun 2020, pendapatan produksi tercatat sebesar 10,116 miliar, kemudian meningkat signifikan menjadi 15,034 miliar pada tahun 2021, dan mencapai puncaknya pada tahun 2022 dengan pendapatan sebesar 16,372 miliar. Meskipun terjadi sedikit penurunan pada tahun 2023 menjadi 14,519 miliar, secara keseluruhan tren ini menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan pendapatan. Peningkatan ini tidak hanya

mencerminkan efisiensi biaya dari pengurangan ketergantungan pada pupuk kimia sintetis, tetapi juga menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik mampu mendorong hasil panen yang lebih tinggi (Liu dkk.,2024). Dengan demikian, selain mendukung keberlanjutan lingkungan, praktik ini juga memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi perusahaan perkebunan kelapa sawit (Nurfatriani dkk.,2022).

Selain keuntungan secara ekonomis, keuntungan lainnya dari pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik adalah kemampuannya dalam meningkatkan struktur tanah. Pupuk organik ini kaya akan bahan organik yang dapat meningkatkan kapasitas tanah dalam menahan air dan unsur hara, yang sangat penting untuk menjaga kesuburan tanah dalam jangka Panjang (Zheng dkk.,2024). Selain itu, pupuk organik juga mendukung keseimbangan mikroorganisme tanah, yang berperan penting dalam memperbaiki kesehatan tanah secara alami. Namun, meskipun keuntungan dari penggunaan pupuk organik sangat jelas, tantangan utama tetap ada, terutama terkait dengan biaya awal untuk produksi pupuk organik dan kebutuhan untuk pelatihan serta pengelolaan teknologi yang efektif (Kurniawati dkk.,2023). Meskipun biaya pembuatan pupuk organik relatif tinggi, penghematan yang diperoleh dalam jangka panjang melalui pengurangan penggunaan pupuk kimia jauh lebih besar (Lire Le Piège des Engrais, 2022). Sehingga perusahaan perlu melakukan investasi awal yang cukup besar untuk memperoleh keuntungan jangka panjang. Selain itu, pelatihan dan peningkatan kapasitas tenaga kerja juga diperlukan untuk memastikan bahwa teknologi pengolahan limbah dapat diimplementasikan dengan efektif (Ouma dkk.,2021). Penerimaan teknologi ini di kalangan manajemen dan pekerja juga menjadi faktor penting dalam kesuksesan implementasinya. Persepsi positif terhadap manfaat teknologi dan kemudahan

penggunaan teknologi memainkan peran yang signifikan dalam mendorong adopsi teknologi (Felix dkk.,2021). Semakin tinggi niat untuk menggunakan teknologi, semakin besar kemungkinan teknologi ini diterapkan secara nyata di lapangan (Soruce dan Issa, 2021). Oleh karena itu, pendidikan dan pelatihan tentang cara menggunakan teknologi dengan benar sangat penting untuk memastikan bahwa penerapan pupuk organik dapat berjalan dengan efektif dan efisien. Selain itu, pengalaman positif dari pengguna teknologi, seperti peningkatan hasil pertanian, pengurangan biaya, dan peningkatan efisiensi operasional, akan memperkuat keyakinan perusahaan terhadap manfaat teknologi ini (Geng dkk.,2024). Di sisi teknis, meskipun pupuk organik membawa dampak positif bagi kualitas tanah, penerapan yang tidak tepat dapat mengurangi manfaatnya. Oleh karena itu, penting bagi perusahaan untuk memastikan keberhasilan penerapan teknologi ini, perusahaan perlu memfokuskan upaya pada peningkatan niat untuk mengadopsi teknologi, kemudahan penggunaan, dan pengalaman pengguna, serta memberikan pelatihan dan dukungan yang memadai untuk memastikan penerapan yang efektif dan berkelanjutan.

Dukungan dari kebijakan pemerintah dan lembaga terkait sangat penting dalam memastikan keberhasilan penggunaan pupuk organik. Kebijakan yang mendukung pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pupuk organik dapat mempermudah implementasi teknologi ini di lapangan (Siagian dkk., 2024; Harefa dkk., 2024). Dinas Lingkungan Hidup, misalnya, dapat memberikan regulasi yang jelas mengenai pengelolaan limbah, serta insentif bagi perusahaan yang mengadopsi teknologi ramah lingkungan ini. Dengan adanya kebijakan yang mendukung, perusahaan akan lebih terdorong untuk mengimplementasikan teknologi yang berkelanjutan. Selain itu, kolaborasi antara pemerintah, lembaga

penelitian, dan sektor swasta juga diperlukan untuk mengembangkan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Lee dkk.,2021). Implementasi pupuk organik berbasis limbah kelapa sawit juga membuka peluang untuk meningkatkan daya saing perusahaan. Produk kelapa sawit yang diproduksi dengan menggunakan teknologi ramah lingkungan akan semakin diminati oleh konsumen yang peduli dengan keberlanjutan (Sundaraja dkk.,2021). Reputasi perusahaan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan dapat meningkatkan citra perusahaan di mata konsumen dan pemangku kepentingan lainnya, yang akhirnya dapat mendukung peningkatan permintaan dan harga jual produk.

RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil) dan ISPO (Indonesian Sustainable Palm Oil) sama-sama menekankan keberlanjutan pada tiga pilar—lingkungan, sosial, dan ekonomi—dengan fokus kuat pada efisiensi hara, pengelolaan limbah, dan perlindungan tanah-air. Praktik pemanfaatan limbah sawit menjadi pupuk organik langsung selaras dengan prinsip/kriteria kedua skema tersebut: pengurangan polusi dan limbah, perbaikan kesuburan tanah, serta penerapan best management practices pemupukan. Substitusi sebagian pupuk kimia dengan kompos TKS (tandan kosong), POME-compost, atau bokashi menurunkan risiko pencemaran, meningkatkan C-organik, dan memperbaiki struktur tanah; pada saat yang sama, ia mengurangi jejak karbon terkait produksi dan aplikasi pupuk sintetis. Dengan demikian, inisiatif circular economy ini bukan hanya solusi teknis, tetapi alat kepatuhan yang memperkuat posisi perusahaan saat proses audit sertifikasi.

Agar diakui dalam RSPO/ISPO, praktik tersebut harus ditopang oleh sistem dan bukti yang audit-ready. Perusahaan perlu memiliki rencana pemupukan berbasis analisis tanah/daun, SOP pengomposan dan aplikasi di lapangan, serta

pencatatan lengkap (volume limbah, rasio C/N, dosis per blok, tanggal aplikasi, cuaca). Pengelolaan POME wajib memastikan pengolahan memenuhi ambang baku mutu yang berlaku, sementara residu padat seperti TKS didistribusikan sebagai mulsa/kompos untuk menjaga kelembapan dan menekan gulma. Di lanskap kebun, penataan zona sempadan sungai, konservasi HCV/HCS, dan larangan bakar mendukung kriteria perlindungan ekosistem. Seluruh data—termasuk mutu air, kandungan C-organik, dan indikator efisiensi hara—perlu dipantau, dievaluasi, dan dilaporkan sebagai bagian mekanisme continuous improvement.

Bagi pekebun swadaya dan plasma, RSPO smallholder standard dan skema ISPO mendorong pembentukan sistem kontrol internal (ICS), pelatihan, serta pendampingan teknis/kelembagaan. Transfer pengetahuan tentang produksi kompos, penentuan dosis, K3, dan manajemen catatan meningkatkan peluang lulus audit kelompok. Di sisi pasar, kepatuhan terhadap RSPO/ISPO memperluas akses ke pembeli dengan kebijakan NDPE dan pasar ekspor yang makin ketat, serta membuka peluang harga premium dan pembiayaan hijau. Ini menyeimbangkan biaya awal investasi fasilitas pengolahan limbah dan pelatihan dengan penghematan jangka panjang dari pengurangan pupuk kimia, efisiensi operasional, dan penurunan risiko kepatuhan.

Untuk operasionalisasi, perusahaan dapat menyusun peta jalan 12–24 bulan: pilot di satu estate, scale-up bertahap, lalu sertifikasi penuh. Tetapkan KPI yang relevan—misalnya peningkatan C-organik tanah, efisiensi penggunaan hara, penurunan volume limbah terbuang, mutu air di hilir, dan intensitas GRK per ton CPO—disertai sistem MRV (monitoring-reporting-verification) yang transparan. Integrasikan hasil ke laporan keberlanjutan dan grievance mechanism, libatkan pemerintah daerah/akademisi untuk riset terapan, dan lakukan audit internal

sebelum audit pihak ketiga. Dengan pendekatan ini, pemanfaatan limbah menjadi pupuk organik tidak hanya menurunkan biaya dan memperbaiki kesehatan tanah, tetapi juga memperkuat kepatuhan RSPO/ISPO, reputasi merek, dan ketahanan jangka panjang industri sawit.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit sebagai pupuk organik mengalami efisiensi teknis yang konsisten ($VRS = 1$) selama empat tahun, namun efisiensi skala berfluktuasi dan hanya optimal pada tahun 2021. Ketidakseimbangan skala operasi, khususnya pada 2022 dan 2023, menunjukkan perlunya penyesuaian input agar efisiensi total dapat dicapai kembali. Evaluasi dan pengendalian terhadap skala produksi menjadi kunci dalam menjaga kinerja efisien secara menyeluruh.
2. Intensitas dan jumlah pengguna berpengaruh signifikan terhadap peningkatan pengalaman dalam penerapan pupuk cair LCKS. Teknologi limbah cair dapat diterima karena intensitas dan kemudahannya terbukti mendorong peningkatan jumlah pengguna nyata, termasuk potensi adopsi oleh Perkebunan Rakyat. Namun, persepsi kegunaan dan kemudahan tidak berdampak signifikan terhadap pengalaman pengguna.
3. Peran lembaga, terutama Dinas Lingkungan Hidup, sangat penting dalam pengelolaan limbah kelapa sawit melalui kebijakan, pengawasan, dan evaluasi. Sinergi antara kebijakan, dukungan manajemen, dan alokasi anggaran memastikan pengolahan limbah berjalan optimal, sementara ketersediaan

sarana dan keselarasan persepsi pemangku kepentingan mendukung keberhasilan pengelolaan berkelanjutan.

Novelty penelitian ini adalah, Pemanfaatan Limbah Dapat Menjadi Pengganti Pupuk An-organik Dalam Kondisi Yang Sesuai Dengan Kebutuhan Tanaman. Dilihat Dari Tingkat Efisiensi, Pemanfaatan teknologi dan dapat diterima dalam regulasi pemerintahan, lembaga dan masyarakat.

6.2. Saran

1. Penelitian dapat diperluas dengan studi kasus di wilayah perkebunan kelapa sawit lainnya, untuk memahami apakah hasil yang sama dapat tercapai di lokasi dengan kondisi yang berbeda, sehingga dapat memvalidasi generalisasi temuan penelitian ini.
2. Perkebunan harus memperhatikan pentingnya pengembangan kapasitas manajerial dalam pengelolaan limbah serta memanfaatkan teknologi yang mendukung efisiensi, seperti sistem pemantauan digital untuk pengelolaan limbah dan tanaman.
3. Pemerintah dan lembaga terkait juga diharapkan dapat meningkatkan kebijakan yang mendorong praktek-praktek ramah lingkungan dan mendukung penerapan teknologi baru di sektor perkebunan kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Ali, H. M., & Syamsu, J. A. (2015). Status Keberlanjutan Adopsi Teknologi Pengolahan Limbah Ternak sebagai Pupuk Organik. *MIMBAR, Jurnal Sosial Dan Pembangunan*, 31(1), 11. <https://doi.org/10.29313/mimbar.v31i1.849>
- Abisha, A. T., & Vanany, I. (2022). Pengelolaan Risiko Rantai Pasok pada Industri Pupuk Organik dengan Menggunakan House of Risk dan Best Worst Method. *Jurnal Teknik ITS*, 11(3). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i3.97909>
- Abogunrin-olafisoye, O. B., Adeyi, O., Adeyi, A. J., & Oke, E. O. (2024). Sustainable Utilization of Oil Palm Residues and Waste in Nigeria: Practices, Prospects, and Environmental Considerations. *Waste Management Bulletin*, 2(1), 214–228. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.01.011>
- Abuakel, S. A., & Ibrahim, M. (2023). The Effect of Relative Advantage, Top Management Support and IT Infrastructure on E-Filing Adoption. In *Journal of Risk and Financial Management* (Vol. 16, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/jrfm16060295>
- Achmad, S. H., & Luh P. S. S. (2023). Strategi Pengembangan Pupuk Organik Berbasis Limbah Ternak dan Limbah Pertanian di Kabupaten Jember. *Jurnal Agribest*, 7(1), 40–53.
- Adiwiganda, R. (2007). *Manajemen Tanah dan Pemupukan Kelapa Sawit*. (S. Mangoensoekarjo (ed.)). gadjah mada university press.
- Adrinoviarini, A. (2022). *The Effect of Organic Fertilizer and Mount Merapi Volcanic Ash to Land Rehabilitation*. 2(2), 53–60. <https://doi.org/10.30862/inornatus.v2i2.335>
- A.E. Sarsenova, & A.K. Alpysbaeva, S. B. K. (2020). Mechanism Of Effective Management Of Industrial Enterprises. *Reports Of The National Academy Of Sciences Of The Republic Of Kazakhstan*, 2(330), 162–170.
- Afiana, F. N., Karomatunnisa, H., & Ayuningtyas, S. (2023). Integrasi Technology Readiness Dan Technology Acceptance Model Untuk Analisis Kesiapan Pengguna Terhadap Penerimaan Aplikasi Parenting. *Edu KomputikaJournal*, 9(2), 122–133. <https://doi.org/10.15294/edukomputika.v9i2.61537>
- Akbar, A. M. R. (2012). Studying Impact of Organizational Factors in Information Technology Acceptance in Accounting Occupation by Use of TAM Model (Iranian Case Study). *ARPJN Journal of Systems and Software*, 2(1), 12–17.
- Alamsyah, A., Hasmawati, Sahurri, Yunus, S. P. N. H., & Syukri, F. (2023). Peran Dan Kontribusi Teknologi Dalam Menunjang Potensi Ekonomi Masyarakat Di Wilayah Pedesaan. *Seminar Nasional Pariwisata Dan*

- Kewirausahaan (Snpk)*, 2, 263–271.
<https://doi.org/10.36441/snpk.vol2.2023.126>
- Alkatiri, A., Handayani, R. T. N., Rosa, O., Bahrana, M. A., & Arum, D. P. (2024). Pembuatan Pupuk Organik Cair (POC) Dari Limbah Rumah Tangga Sebagai Solusi Ramah Lingkungan Untuk Pertanian Berkelanjutan Pada Desa Klurak Candi Sidoarjo. *KARYA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(2), 360–367.
- Alpandari, H., & Prakoso, T. (2022). Tindakan Pengembalian Limbah Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Upaya Memaksimalkan Zero Waste. *Agrisintech (Journal of Agribusiness and Agrotechnology)*, 2(2), 48.
<https://doi.org/10.31938/agrisintech.v2i2.349>
- Alsabt, R., Alkhaldi, W., Adenle, Y. A., & Alshuwaikhat, H. M. (2024). Optimizing waste management strategies through artificial intelligence and machine learning - An economic and environmental impact study. *Cleaner Waste Systems*, 8(April), 100158.
<https://doi.org/10.1016/j.clwas.2024.100158>
- Amiroh, A., Istiqomah, & Sholekan. (2018). Aplikasi Macam Pupuk Organik dan Pupuk Kimia Majemuk Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Padi (*Oryza sativa* L.) dengan Sistem Jajar Legowo. *Agroradix*, 2(1), 47–54.
- Amrawaty, A. A., Asnawi, A., & Husnah, N. (2015). Adopsi Teknologi Pengolahan Limbah Ternak Berbasis Zero Waste (Adoption Of Livestock Waste Treatment Technology Based Zero Waste). *Lppm.Unja.Ac.Id*, 36–46.
<https://lppm.unja.ac.id/wp-content/uploads/2016/04/pt7-amidah-aslina-full-paper-ok.pdf>
- Andi, M., Septiani, V. M., Rahayuli, R., Amri, M. W., Arnayani, F., Mahendri, R., Susanto, G. A., Marlina, M., & Riono, Y. (2025). Pemanfaatan Limbah Sawit Sebagai Pupuk Organik Untuk Meningkatkan Pendapatan Masyarakat Desa Sencalang Pasca Pandemi Covid 19. *JURNAL AWAM*, 4(2), 7–12.
- Andriani, E. (2017). Analisis Sumber Pendapatan Petani Kelapa Sawit. *Agrisep*, 16(2), 145–154. <https://core.ac.uk/download/pdf/228571672.pdf>
- Anggraeny, R. D. (2020). *Analisis Pemakaian E-Marketplace Pada UMKM Jawa Timur Dengan Pendekatan Technology Acceptance Model (TAM)*. <https://repository.its.ac.id/81832/>
- Angraini, E. (2017). Uji Antagonisme *Lentinus cladopus* LC4 terhadap *Ganoderma boninense* Penyebab Penyakit Busuk Pangkal Batang Kelapa Sawit. *Jurnal Biosfera*, 3(4), 144–149.
- Anna Pertiwi, Agustinus Mantong, W. T. (2025). *PENANGGULANGAN PUPUK ANORGANIK MENGGUNAKAN PUPUK ORGANIK BOKASHI (STUDI KASUS PADA PERKEBUNAN MASYARAKAT DI LEMBANG PAKALA)*. 5(6), 11757–11761.
- Annisa, W. (2022). BIOCHAR-KOMPOS BERBASIS LIMBAH KELAPA

- SAWIT: Bahan Amandemen Untuk Memperbaiki Kesuburan Dan Produktivitas Tanah Di Lahan Rawa. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 15(2), 103. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v15n2.2021.103-116>
- Anyaoha, K. E., & Zhang, L. (2023). Technology - Based Comparative Life Cycle Assessment for Palm Oil Industry : The Case of Nigeria. *Environment, Development and Sustainability*, 25(5), 4575–4595. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02215-8>
- Ar, A., Junedi, H., & Farni, Y. (2012). Pemupukan Kelapa Sawit Berdasarkan Potensi Produksi untuk Meningkatkan Hasil Tandan Buah Segar (Tbs) Pada Lahan Marginal Kumpeh. *Jurnal Penelitian Universitas Jambi*, 14, 29–36.
- Ariawan, W. (2023). Analisis Keuntungan Integrated Farming System Pada Usahatani Padi Pedesaan. *Journal of Agrosociology and Sustainability*, 1(1). <https://doi.org/10.61511/jassu.v1i1.2023.89>
- Arsyad, A.R., & Junedi, F. Y. (2012). Pemupukan Kelapa Sawit Berdasarkan Potensi Produksi Untuk Meningkatkan Hasil Tandan Buah Segar (TBS) pada Lahan Marginal Kumpeh. *Jurnal Penelitian Universitas Jambi Seri Sains*, 14(1), 29–36.
- Awoh, E. T., Kiplagat, J., Kimutai, S. K., & Mecha, A. C. (2023a). Current trends in palm oil waste management: A comparative review of Cameroon and Malaysia. *Heliyon*, 9(11), e21410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21410>
- Awoh, E. T., Kiplagat, J., Kimutai, S. K., & Mecha, A. C. (2023b). Current trends in palm oil waste management: A comparative review of Cameroon and Malaysia. *Heliyon*, 9(11), e21410. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21410>
- Azman, A., Silva, J. L. D., Samah, B. A., Man, N., & Mohamed, H. A. (2013). Relationship between Attitude , Knowledge , and Support towards the Acceptance of Sustainable Agriculture among Contract Farmers in Malaysia. *Asian Social Science*, 9(2), 99–106. <https://doi.org/10.5539/ass.v9n2p99>
- Bachal J. M., Ram, N., Ali G. I., & Shaikh, F. M. (2011). Sustainable Development and Agriculture Sector: A Case Study of Sindh. *Journal of Agricultural Science*, 3(2), 178–183. <https://doi.org/10.5539/jas.v3n2p178>
- Bachtiar, T., Robifahmi, N., Flatian, A. N., Slamet, S., & Citraresmini, A. (2020). Pengaruh Dan Kontribusi Pupuk Kandang Terhadap N Total, Serapan N (15N), Dan Hasil Padi Sawah (Oryzae Sativa L.) Varietas Mira-1. *Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 21(1), 35. <https://doi.org/10.17146/jstni.2020.21.1.5779>
- Bagheri, A., Tarighi, J., Emami, N., & Szymanek, M. (2024). Extension Experts"Intentions to use Precision Agricultural Technologies, a Test with the Technology Acceptance Model. *Acta Technologica Agriculturae*, 27(2), 84–91. <https://doi.org/10.2478/ata-2024-0012>

- Bellemare, M., Perrin, N., Dürrleman, N., Dorval, J. F., Lamarche, Y., Asgar, A. W., Bonan, R., Ibrahim, R., Perrault, L. P., & Ali, W. Ben. (2022). Digital Application to Optimize the Clinical Trajectory in a TAVR Program. *Interventional Cardiology – Noncoronary Cardiac Intervention*, 15(23), 2455–2457. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2022.08.053>
- Biggelaar, C. D. (2000). *Farmers' Definitions, Goals, and Bottlenecks of Sustainable Agriculture in the North-Central Region*.
- Bijlsma, R. M., Bots, P. W. G., Wolters, H. A., & Hoekstra, A. Y. (2011). An Empirical Analysis of Stakeholders' Influence on Policy Development: *Ecology and Society*, 16(1).
- Binsar Pakpahan, Suprpto, Batumahadi, & Lisa Melvi, Eswanto, Selamat Riadi, Surya Dharma, Marini Damanik, J. (2025). *INOVASI TEKNOLOGI PENGOLAHAN PAKAN DAN LIMBAH TERNAK SAPI : SOLUSI HEMAT BIAYA UNTUK BERLANJUTAN*. 6(1), 709–714.
- Bouhia, Y., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., El, M., El, M., Chango, B., & Youssef, M. (2022). Conversion of Waste into Organo-Mineral Fertilizers: Current Technological Trends and Prospects. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 21(2), 425–446. <https://doi.org/10.1007/s11157-022-09619-y>
- Bruges, M., Smith, W., Bruges, M., & Smith, W. (2008). Participatory Approaches for Sustainable Agriculture: A Contradiction in Terms. *Agriculture and Human Values*, 13–23. <https://doi.org/10.1007/s10460-007-9058-0>
- Budi, M. B. S., Giyanto, & Tondok, E. T. (2022). Isolation of Actinomycetes from Peatland to Suppress the Growth of *Ganoderma boninense* the Causal Agent of Basal Stem Rot Disease in Oil Palm. *Biodiversitas*, 23(11), 5914–5922. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231145>
- Budijaji, W. (2013). The Measurement Scale and The Number of Responses in Likert Scale. *Jurnal Ilmu Pertanian Dan Perikanan Desember*, 2(2), 127–133. <https://doi.org/10.31227/osf.io/k7bgy>
- Budiargo, A., Purwanto, R., & Sudradjat, . (2015). Manajemen Pemupukan Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Perkebunan Kelapa Sawit, Kalimantan Barat. *Buletin Agrohorti*, 3(2), 221–231. <https://doi.org/10.29244/agrob.v3i2.14986>
- Camilleri, M. A. (2020). Strategic Corporate Social Responsibility in Tourism and Hospitality. *Sustainable Development*, 504–506. <https://doi.org/10.1002/sd.2059>
- Chen, W., & Bennett, D. (2010). When Cost-Efficient Technologies Meet Politics: A Case Study of Radical Wireless Network Implementation. *IBIMA Publishing*, 1–12. <https://doi.org/10.5171/2010.119470>
- Cheung, G. W., Cooper-Thomas, H. D., Lau, R. S., & Wang, L. C. (2024).

- Reporting Reliability, Convergent and Discriminant Validity with Structural Equation Modeling: A Review and Best-Practice Recommendations. In *Asia Pacific Journal of Management* (Vol. 41, Issue 2). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s10490-023-09871-y>
- Chong, K.P., M.S. Lum., C.P. Foong., C.M.V.L. Wong., M. Atong, and S. R. (2011). First Identification of *Ganoderma boninense* Isolated from Sabah Based on PCR and Sequence Homology. *African Journal of Biotechnology*, 10, 14718–14723.
- Chong, M. Y., Ng, W. P. Q., Ng, D. K. S., Lam, H. L., Lim, D. L. K., & Law, K. H. (2017). A mini review of palm based fertiliser production in Malaysia. *Chemical Engineering Transactions*, 61, 1585–1590. <https://doi.org/10.3303/CET1761262>
- Chrisendo, D., Siregar, H., & Qaim, M. (2022). Oil Palm Cultivation Improves Living Standards And Human Capital Formation In Smallholder Farm Households. *World Development*, 159, 106034. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.106034>
- Cintya, M. P., & Adiati, L. (2024). Analysis Of Behavioral Determinants Preventing Food Waste in Consumers Based on the Theory Of Planned Behavior (TPB) Mediated By Behavior Intention. *International Journal of Engineering Business and Social Science*, 2(04), 1176–1185. <https://doi.org/10.58451/ijebss.v2i04.153>
- Clara, Aprilya, Kurniawan., Gusnawartati, G. (2021). Uji isolat bakteri selulolitik sebagai dekomposer pada dekomposisi tandan kosong kelapa sawit. *AGROTEK*, 5(1), 55–62. <https://doi.org/doi:10.33096/AGROTEK.V5I1.160>
- Cook, A. E., Gann, A. S., Ray, D. A., & Zhang, X. (2021). Advantages, challenges, and success factors in implementing information technology infrastructure library. *Issues in Information Systems*, 22(2), 187–198. https://doi.org/10.48009/2_iis_2021_196-208
- Cordoba, D., Abrams, J., & Selfa, T. (2022). Achieving Palm Oil Sustainability Under Contract: Roundtable on Sustainable Palm Oil and Family Farmers in the Brazilian Amazon. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100160. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100160>
- Dahang, D., Nainggolan, L. P., Sembiring, R., Sembiring, S., Rajagukguk, B. H., & Karo, S. B. (2021). Pengendalian Penyakit Ganoderma Pada Kelapa Sawit dengan Menggunakan Jamur Endofitik *Hendersonia*. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 5(2), 548-559.
- Damanik, J. A. (2014). Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pendapatan Petani Padi Di Kecamatan Masaran, Kabupaten Sragen. *Economics Development Analysis Journal*, 3(1), 212–224.
- Darmosarkoro, W., & Sutarta, E. S. Winama. 2001. Penggunaan TKS dan Kompos TKS Untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Produksi Tanaman. PPKS. Medan

- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Debreu, G. (1951). The Coefficient of Resources Utilization. *Econometrica Papers*.
- Defitri, Y. (2015). Identifikasi Patogen Penyebab Penyakit Tanaman Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Desa Bertam Kecamatan Jambi Luar Kota. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 15, 129-133.
- Ditjenbun. (2022). Direktorat Jenderal Perkebunan. 2020. *Statistik Perkebunan Indonesia, 2020*.
- Eliyanti, E., Zulkarnain, Z., & Ichwan, B. (2021). Penerapan Teknologi 3-Bio Kompos Keong Emas dalam menekan Penggunaan Pupuk An-organik pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.) Application of 3-Bio Technology of Golden Snail Compost to Suppressing the Use of An-organic Fertilizers on Chili Plant (. 5, 1–9.
- Elizabeth, S. S., Santoso, J., & Kristina, N. (2024). Implementing UTAUT Model to Analyze Consumer Behaviour in Mobile Recycling Application. *MATICS: Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi (Journal of Computer Science and Information Technology)*, 16(1), 43–51. <https://doi.org/10.18860/mat.v16i1.26930>
- Embrandiri, A., Ibrahim, M. H., & Singh, R. P. (2013). Palm Oil Mill Wastes Utilization; Sustainability in the Malaysian Context. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(1), 2250–3153. www.ijsrp.org
- Ezeudu, O. B., & Bristow, D. (2024). Financing methods for solid waste management : A review of typology , classifications , and circular economy implications. May, 1–24. <https://doi.org/10.1002/sd.3256>
- FakhrHosseini, S., Chan, K., Lee, C., Jeon, M., Son, H., Rudnik, J., & Coughlin, J. (2024). User Adoption of Intelligent Environments: A Review of Technology Adoption Models, Challenges, and Prospects. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 40(4), 986–998. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2118851>
- Farrell, M. . (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of The RoyalStatistical Society*, 120, 253–281.
- Fatemeh, P., Asha, R., Mahamd, E., & Ibrahim, H. (2017). Bioremediation of Palm Industry Wastes Using Vermicomposting Technology : Its Environmental Application As Green Fertilizer. 3–10. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0770-1>
- Fauzan, N. D., Ardan, M., Izzah Safina, A.-N., Fattur, R., & Octalyani, E. (2021). Penggunaan Pupuk Organik Cair sebagai Pengganti Pupuk Kimia di Desa Sidomulyo, Kecamatan Air Naningan. *Altruis: Journal of Community Services*, 2(2). <https://doi.org/10.22219/altruis.v2i2.15977>
- Fawzy, Z., El-Sawy, S., El-Bassiony, A. E.-M., Jun, H., Shedeed, S., Okasha, A., Bayoumi, Y., El-Ramady, H., & Prokisch, J. (2022). Smart Fertilizers vs.

- Nano-fertilizers: A Pictorial Overview. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 6(2022), 191–204.
<https://doi.org/10.21608/jenvbs.2022.153990.1184>
- Febriana, D., Madusari, S., & Sari, V. I. (2022). Swot analysis of utilization of palm oil mill effluent to improve soil quality and crop productivity (case study at PT X, Lampung, Indonesia). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1041 (1), p. 012046). IOP Publishing.
- Felix, B., Shayo, F., & Kara, N. (2021). The Effects of Perceived Trust and Ease of Use on Adoption of Mobile Marketing in the Telecommunication Industry of Tanzania. *American Scientific Research Journal for Engineering Technology and Science*, 76(1), 155–168.
- Fernanda, R., Siddiqui, Y., Ganapathy, D., Ahmad, K., & Surendran, A. (2021). Suppression of Ganoderma boninense Using Benzoic Acid: Impact on Cellular Ultrastructure and Anatomical Changes in Oil Palm Wood. *Forests*, 12(9), 1231. <https://doi.org/10.3390/f12091231>
- Fuad, S. M., Pratama, R., Azhari, M. R. Al, & Prabandaru, H. (2024). Mengoptimalkan Material Sisa Menjadi Produk Yang Memiliki Nilai Tambah Menggunakan Metode Redesign (Studi Kasus: ARTI Furniture). *SPACEPRO: Product Design Journal*, 2(2), 110.
<https://doi.org/10.26887/spacepro.v2i2.4851>
- Galib, M. A. Al, Farzana, S., Tarek, M. K. H., Hossen, M. T., Ety, M. T. J., & Chakrobarty, T. (2022). Organic and Inorganic Fertilizer Management for Boro Rice Cultivation in a Single Boro Cropping Area. *Asian Research Journal of Agriculture*, November, 203–217.
<https://doi.org/10.9734/arja/2022/v15i4371>
- Ganestri, R. G., Winarso, S., & Asyiah, I. N. (2021). Efektivitas Pupuk Organik Dan Pupuk Hayati Cair Terhadap Pemulihan Tanah Terdegradasi Di Desa Sucopangepok. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 45(2), 175.
<https://doi.org/10.21082/jti.v45n2.2021.175-185>
- Geng, W., Liu, L., Zhao, J., Kang, X., & Wang, W. (2024). Digital Technologies Adoption and Economic Benefits in Agriculture: A Mixed-Methods Approach. In *Sustainability* (Vol. 16, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/su16114431>
- Ghozali, I. (2013). *Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program*. Universitas Diponegoro.
- Ginting, E. N. (2020). Pentingnya Bahan Organik Untuk Meningkatkan Efisiensi Dan Efektivitas Pemupukan Di Perkebunan Kelapa Sawit. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 25(3), 139–154.
<https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v25i3.38>
- Ginting, E. N. (2024). Pupuk Kimia, Pupuk Organik, Atau Pupuk Hayati ? Memahami Filosofi Pemupukan Untuk Perkebunan Kelapa Sawit Yang Berkelanjutan. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 29(3), 147–160.
<https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v29i3.159>
- Gurusinga, A. U., Dewi, N., & Rosnita, R. (2022). Analisis Prospektif Peremajaan Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq) Pola Swadaya Di Kabupaten Rokan

- Hulu. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 18(1), 55–66.
<https://doi.org/10.20956/jsep.v18i1.1902>
- Gustiyana, H. (2004). *Analisis Pendapatan Usahatani untuk Produk Pertanian*. Salemba Empat.
- Hakim, M. (2007). *Kelapa Sawit Teknis Agronomis dan Manajemennya (Tinjauan Teoritis dan Praktis): Buku Pegangan Agronomis dan Pengusaha KelapaSawit*. Lembaga Pupuk Indonesia.
- Halawa, E. P. (2024). Peningkatan Kualitas Tanah dengan Pupuk Organik: Dampak pada Produktivitas Tanaman. *Literacy Notes*, 2(1).
- Halimah, A. S. (2024). Analisis Finansial Usaha Pemanfaatan Limbah Ternak Sapi Sebagai Bahan Baku Biogas. *Mimbar Agribisnis Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*, 10(1), 914.
<https://doi.org/10.25157/ma.v10i1.12671>
- Handayani, I., & Elfarisna, E. (2021). Efektivitas Penggunaan Pupuk Organik Cair Kulit Pisang Kepok Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Pakcoy. *Jurnal AGROSAINS Dan TEKNOLOGI*, 6(1), 25.
<https://doi.org/10.24853/jat.6.1.25-34>
- Handayani, N., & Lusa, I. P. (2019). Analisis Penerimaan Teknologi E-Wallet Gopay Dengan Technology Acceptance Model (TAM). *Indonesian Journal on Information System*, 4(April), 69–76.
<https://media.neliti.com/media/publications/260171-sistem-informasi-pengolahan-data-pembeli-e5ea5a2b.pdf>
- Handayani, S., Lestari, S., Nirmagustina, D. E., & Nuryanti, N. S. P. (2023). Efisiensi Alokatif Dan Ekonomis Usahatani Padi Organik Di Provinsi Lampung. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 23(3), 410–418.
<https://doi.org/10.25181/jppt.v23i3.2891>
- Hanim, W., Fadhliani, F., & Wibowo, S. G. (2020). Pengolahan Limbah Cair di PMKS PT Sisirau Desa Sidodadi Kecamatan Kejuruan Muda Kabupaten Aceh Tamiang. *Jurnal Enviscience*, 4(2), 67.
<https://doi.org/10.30736/4ijev.v4iss2.198>
- Harahap, F. S., Walida, H., Rahmaniah, R., Rauf, A., Hasibuan, R., & Nasution, A. P. (2020). Pengaruh Aplikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Arang Sekam Padi terhadap beberapa Sifat Kimia Tanah pada Tomat. *Agrotechnology Research Journal*, 4(1), 1–5.
<https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v4i1.41121>
- Harefa, T. (2022). Penurunan Produksi Dan Pendapatan Petaniakibat Intensitas Serangan Penyakit Ganoderma Boninense Pada Tanaman Kelapa Sawit (Studi Kasus Di Aek Nabara Kecamatan Bilah Hulu Kabupaten Labuhan Batu Sumatera Utara) (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Harefa, T., Martial, T., & Lubis, Y. (2024). Improving the Efficiency and Sustainability of Oil Palm Plantations through Organic Fertilizer from Palm Oil Mill Waste. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 7(3), 957–971.
- Hariyadi, H., Sehabudin, U., Winasa, I. W. (2009). Identifikasi Permasalahan dan Solusi Pengembangan (Problem Identification and Solution for Smallholder

- Cocoa Estate Development at North Luwu District, South Sulawesi Province) Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian IPB. *Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian IPB*, 2009.
- Hariyanti, E. (2022). Identifikasi Pusat Pertumbuhan Dan Sektor Ekonomi Unggulan Di Kawasan Wanarakuti. *Geodika Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.29408/geodika.v6i1.4362>
- Hasibuan, A. A., Mubarak, D. A., & Firmansyah, A. (2023). Tinjauan Penerapan Pengelolaan Limbah B3 Pada Sektor Kesehatan Di Indonesia Berdasarkan GRI 300. *Journal of Law Administration and Social Science*, 3(2), 220–233. <https://doi.org/10.54957/jolas.v3i2.545>
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. R. (2009). The Use of Partial Least Squares Path Modeling in International Marketing. In R. R. Sinkovics & P. N. Ghauri (Eds.), *New Challenges to International Marketing* (Vol. 20, pp. 277–319). Emerald Group Publishing Limited. [https://doi.org/10.1108/S1474-7979\(2009\)0000020014](https://doi.org/10.1108/S1474-7979(2009)0000020014)
- Herudin, H., Yurisinthae, E., & Suyatno, A. (2021). Konversi Usahatani Karet Menjadi Usahatani Kelapa Sawit Kecamatan Belitang Hilir Kabupaten Sekadau. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 18(1), 27–39. <https://doi.org/10.20956/jsep.v18i1.18459>
- Hettiarachchi, H., Bouma, J., Caucci, S., & Zhang, L. (2020). *Organic Waste Composting Through Nexus Thinking : Linking Soil and Waste as a Substantial Contribution to Sustainable Development*. 1–15.
- Hidayat, A. S., Suciati, L. P., & Sudarko, S. (2023). Strategi Pengembangan Pupuk Organik Berbasis Limbah Ternak Dan Limbah Pertanian Di Kabupaten Jember. *Jurnal Agribest*, 7(1), 40–53. <https://doi.org/10.32528/agribest.v7i1.9309>
- Higgins, J., Zablocki, J., Newsock, A., Krolopp, A., Tabas, P., & Salama, M. (2021). *Durable Freshwater Protection : A Framework for Establishing and Maintaining Long-Term Protection for Freshwater Ecosystems and the Values They Sustain*.
- Hooks, D., Davis, Z., Agrawal, V., & Li, Z. (2022). Exploring factors influencing technology adoption rate at the macro level: A predictive model. *Technology in Society*, 68, 101826. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101826>
- Hosen, M. N., & Rahmawati, R. (2014). Analisis Efisiensi, Profitabilitas, Kesehatan BUS Di Indonesia Periode 2010 - 2013. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Islam*, 4(03), 207–227. <https://journal.perbanas.id/index.php/jkp/article/view/196%0Ahttps://journal.perbanas.id/index.php/jkp/article/download/196/20>
- Ideriah, T.J.K., P.U Adiukwu, H.O., & Stainley, A. O. B. (2007). Impact of Palm Oil (*Elaeis guineensis* Jacq; Banga) Mill Effluent on Water Quality of

- Receiving Oloya Lake in Niger Delta, Nigeria. *Res. J. Appl. Sci*, 2, 842–845.
- Imam, S. S., Sani, S., Mujahid, M., & Adnan, R. (2025). Valuable resources recovery from palm oil mill effluent (POME): A short review on sustainable wealth reclamation. *Waste Management Bulletin*, 3(1), 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.12.002>
- Indrawati, A. S., Lawalu, E. M., & Pongge, M. I. (2024). Analisis Bisnis Tenun Menggunakan Stochastic Frontier Analysis Dan Analisis Jalur (Studi Kasus: Kelurahan Manutapen Dan Oebufu). *Economic and Education Journal (Ecoducation)*, 5(3), 377–396. <https://doi.org/10.33503/ecoducation.v5i3.3845>
- Irawan, N. C., Suswadi, S., Mahananto, M., & Prasetyo, A. (2023). Perubahan Komunitas Urban Farming Berkelanjutan Dalam Membangun Eco-Cities: Penerapan Strategi Model Aidp. *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia*, 8(2), 111. <https://doi.org/10.32503/hijau.v8i2.4091>
- Ishaq, I., Alias, M. S., Kadir, J., & Kasawani, I. (2014). Detection of Basal Stem Rot Disease at Oil Palm Plantations Using Sonic Tomography.
- Jabbar, M., Mohd, M., & Aziz, Y. (2022). Assessing the Role of Urban Green Spaces for Human Well- Being : A Systematic Review. *GeoJournal*, 87(5), 4405–4423. <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10474-7>
- Jalo, H., & Pirkkalainen, H. (2024). Effect of user resistance on the organizational adoption of extended reality technologies: A mixed methods study. *International Journal of Information Management*, 75, 102731. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102731>
- Judijanto, L. (2024). Analisis Efisiensi Operasional, Manajemen Risiko, Dan Pengelolaan Sumber Daya Terhadap Keberlanjutan Kinerja Keuangan Perusahaan Di Indonesia. *Jurnal Akuntansi Dan Keuangan West Science*, 3(03), 254–264. <https://doi.org/10.58812/jakws.v3i03.1601>
- Judijanto, L., Fajariana, D. E., & Duha, R. M. S. (2024). Analisis Bibliometrik Tentang Peran Inovasi Lingkungan Dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Multidisiplin West Science*, 3(07), 1023–1033. <https://doi.org/10.58812/jmws.v3i07.1477>
- Júnior, S. D. de O., Gouvêa, P. R. dos S., Vasconcelos, A. dos S., Nascimento, L. B. de B. do, Pessoa, V. A., Silva, G. L. da, Sales-Campos, C., & Chevreuil, L. R. (2022). Cellulase and Xylanase Production by *Ganoderma lucidum* in Solid-State Fermentation using Amazonian Lignocellulosic Wastes. *Studies in Engineering and Exact Sciences*, 3(3), 455–471. <https://doi.org/10.54021/sesv3n3-003>
- Kan, K. W., Chan, Y. J., Tiong, T. J., & Lim, J. W. (2024). Maximizing biogas yield from palm oil mill effluent (POME) through advanced simulation and optimisation techniques on an industrial scale. *Chemical Engineering Science*, 285(June 2023). <https://doi.org/10.1016/j.ces.2023.119644>

- Kaniapan, S., Hassan, S., Ya, H., & Nesan, K. P. (2021). *The Utilisation of Palm Oil and Oil Palm Residues and the Related Challenges as a Sustainable Alternative in Biofuel, Bioenergy, and Transportation Sector: A Review*.
- Khairani, L. (2024). Pengembangan Model Bisnis Ramah Lingkungan: Studi Kasus Perusahaan XYZ. *Circle Archive*, 1–13. <https://circle-archive.com/index.php/carc/article/view/221>
- Kim, S. D. (2024). Application and Challenges of the Technology Acceptance Model in Elderly Healthcare: Insights from ChatGPT. In *Technologies* (Vol. 12, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/technologies12050068>
- Kleemann, L. (2013). *An Overview and Discussion of Solution Proposals for Sustainable Agriculture and Food Security in Sub-Saharan Africa*. 2(4). <https://doi.org/10.5539/sar.v2n4p48>
- Knill, C., Steinebach, Y., & Zink, D. (2024). How policy growth affects policy implementation: bureaucratic overload and policy triage. *Journal of European Public Policy*, 31(2), 324–351. <https://doi.org/10.1080/13501763.2022.2158208>
- Knutson, C. L., Haigh, T., Hayes, M. J., Widhalm, M., Nothwehr, J., & Kleinschmidt, M. (2011). Farmer Perceptions of Sustainable Agriculture Practices and Drought Risk Reduction in Nebraska, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 26(3). <https://doi.org/10.1017/S174217051100010X>
- Koopmans, T.C. (1951). An Analysis of production as an efficient combination of activities. In T.C.koopmans (eds) *Activity analysis of production and allocation*, cowles commission for research in economics. In *monograph no. 13*. wiley.
- Kosmayanti, K., & Ermiami, C. (2017). Pengaruh Modal Dan Luas Lahan Terhadap Pendapatan Petani Sawit Di Desa Pangkatan Kecamatan Pangkatan Kabupaten Labuhan Batu Utara. *Jurnal PLANS: Penelitian Ilmu Manajemen Dan Bisnis*, 12(1), 7–12. <https://doi.org/10.24114/plans.v12i1.9563>
- Ksenofontov, A. A., Ksenofontov, A. S., Kirpicheva, M. A., & Trifonov, P. V. (2019). The Use of Modern Management Technology to Improve Business Efficiency. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 483(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/483/1/012114>
- Kumbhar, M. I., Sheikh, S. A., Mughal, S., & Channa, M. J. (2012). *Perception of the Extension Agents Regarding Information Sources of Sustainable Agriculture in Sindh Province of Pakistan*. 334–338.
- Kuntoro, H. (2021). *Teori dan Aplikasi: Analisis Multivariat Lanjut* (pp. 124–137). <https://books.google.com/books?hl=en&lr=%5C&id=iCsTEAAAQBAJ%5C&oi=fnd%5C&pg=PR1%5C&dq=screening+produk+islami%5C&ots=huidmkJpfc%5C&sig=2ZvJRAqE9tzREaJVtwllazwECKs>

- Kurniawan, E., Dewi, R., & Jannah, R. (2022a). Pemanfaatan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Organik Cair Dengan Penambahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 11(1), 76. <https://doi.org/10.29103/jtku.v11i1.7251>
- Kurniawan, E., Dewi, R., & Jannah, R. (2022b). Pemanfaatan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Organik Cair Dengan Penambahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 11(1), 76–90.
- Kurniawan, E., Ginting, Z., & Nurjannah, P. (2017). Pemanfaatan Urine Kambing Pada Pembuatan Pupuk Organik Cair Terhadap Kualitas Unsur Hara Makro (npk). *Jurnal UMJ*, 1(2), 1-10. jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek
- Kurniawati, A., Toth, G., Ylivainio, K., & Toth, Z. (2023). Opportunities and challenges of bio-based fertilizers utilization for improving soil health. *Organic Agriculture*, 13(3), 335–350. <https://doi.org/10.1007/s13165-023-00432-7>
- Kyrgiakos, L. S., Kleftodimos, G., Vlontzos, G., & Pardalos, P. M. (2023). A systematic literature review of data envelopment analysis implementation in agriculture under the prism of sustainability. In *Operational Research* (Vol. 23, Issue 1). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s12351-023-00741-5>
- Labibah, A. N. C., Yuliono, G. K. Q., Chairunniza, D. N., Nurrohman, T. P., & Radianto, D. O. (2024). Upaya Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit. *Journal Sains Student Research*, 2(2), 148–153.
- Lalang, E. H., & Syahfari, N. J. (2016). Inventarisasi Penyakit Bercak Daun (*Curvularia* sp.) di Pembibitan Kelapa Sawit PT Ketapang Hijau Lestari2 Kampung Abit Kecamatan Mook Manaar Bulatn Kabupaten Kutai Barat. *Jurnal Agrifor*, 15, 23–28.
- Lance, C. E., Butts, M. M., & Michels, L. C. (2006). What Did They Really Say ? *Organizational Research Methods*, 9(2), 202–220.
- Latuconsina, Z., & Sariwating, N. (2020). Pengaruh Dimensi Dari Supply Chain Management Terhadap Kinerja Operasional Toko Komputer Di Kota Ambon. *Jurnal Cita Ekonomika*, 67–80. <https://doi.org/10.51125/citaekonomika.v14i2.2725>
- Lauwinata, L., Susanto, H., & Phoek, S. E. M. (2024). Partisipasi Masyarakat Dalam Implementasi ISPO: Analisis Keberlanjutan, Sosio-Ekonomi, Dan Konflik Di Kabupaten Merauke. *Journal of Law Administration and Social Science*, 4(6), 1065–1079. <https://doi.org/10.54957/jolas.v4i6.969>
- Lee, W. J., Juskenaitė, I., & Mwebaza, R. (2021). Public–Private Partnerships for Climate Technology Transfer and Innovation: Lessons from the Climate Technology Centre and Network. In *Sustainability* (Vol. 13, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/su13063185>

- Leeflang, P. S. H., Wieringa, J. E., Bijmolt, T. H. A., & Pauwels, K. H. (2017). *Advanced Methods for Modeling Markets (AMMM)*. 3–27. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53469-5_1
- Leknoi, U., Painmanakul, P., & Chawaloeshphonsiya, N. (2024). Building Sustainable Community: Insight From Successful Waste Management Initiative. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 24(December), 200238. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200238>
- Leonides Yahyawi, dkk. (2022). Efisiensi Teknis Usahatani Kelapa Sawit di Kabupaten Sanggau. *Jurnal Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, 6(2), 456. <https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2022.006.02.11>
- Lerpiniere, D. J., Wilson, D. C., & Velis, C. A. (2025). Resources , Conservation & Recycling Official development finance in solid waste management reveals insufficient resources for tackling plastic pollution : A global analysis of two decades of data. *Resources, Conservation & Recycling*, 212(September 2024), 107918. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107918>
- Lire Le Piège des Engrais, L. L. T. de los F. (2022). The fertiliser trap - The rising cost of farming's addiction to chemical fertilisers. *GRAIN IATP*, 1–15.
- Listiyono, H., Sunardi, S., Utomo, A. P., & Mariana, N. (2022). Pengaruh Kemudahan Penggunaan Dan Kemanfaatan Learning Management System (LMS) Terhadap Niat Penggunaan E-Learning. *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi Dan Komputer)*, 11(2), 208–213. <https://doi.org/10.32736/sisfokom.v11i2.1419>
- Liu, Y., Lan, X., Hou, H., Ji, J., Liu, X., & Lv, Z. (2024). Multifaceted Ability of Organic Fertilizers to Improve Crop Productivity and Abiotic Stress Tolerance: Review and Perspectives. In *Agronomy* (Vol. 14, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/agronomy14061141>
- Lubis, B. dan Tobing, P. L. 1989. Potensi pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit. *Bull. Perk.* 20 (1): 49-56.
- Lynn, D., Geriatrics, B. M. C., Lynn, J. D., Ryan, A., McCormack, B., & Martin, S. (2023). Stakeholder's Experiences Of Living And Caring In Technology - Rich Supported Living Environments For Tenants Living With Dementia. *BMC Geriatrics*, 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12877-023-03751-2>
- Magno, F., Cassia, F., & Ringle, C. M. (2024). A Brief Review of Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Use in Quality Management Studies. *TQM Journal*, 36(5), 1242–1251. <https://doi.org/10.1108/TQM-06-2022-0197>
- Mahfud, S., & Dwi, R. (2020). *Analisis SEM-PLS dengan Warp PLS 7.0* (Clara Mitak (ed.); 1st ed.). Andi.
- Mardiana, W. 2020. Long-term POME Application Effect on Soil Acidity and Stability in Oil Palm Plantations. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 13 (7).
- Mashudi, Sulistiowati, R., Handoyo, S., Mulyandari, E., & Hamzah, N. (2023).

- Innovative Strategies and Technologies in Waste Management in the Modern Era Integration of Sustainable Principles, Resource Efficiency, and Environmental Impact. *International Journal of Science and Society*, 5(4), 87–100. <https://doi.org/10.54783/ijsoc.v5i4.767>
- Masinambow, C. J. R., & Sumual, T. E. M. (2024). Perencanaan Sumber Daya Manusia Dalam Menciptakan Lingkungan Kerja Yang Inovatif. *Prosiding Seminar Nasional Forum Manajemen Indonesia*, 2, 1713–1724. <https://doi.org/10.47747/snfmi.v2i1.2424>
- Mubyarto. (1989). *Pengantar Ekonomi Pertanian*. Lembaga Penelitian, Pendidikan dan Penerangan Ekonomi dan Sosial (LP3ES).
- Muhson, A. (2022). Analisis Statistik Dengan SmartPLS. *Universitas Negeri Yogyakarta*, 1–34.
- Mulia, R. P., Giyanto, G., & Barus, S. (2021). Karakteristik Kandungan Unsur N, P Dan K Limbah Cair Kelapa Sawit Kolam Anaerob Dengan Kontak Kuantitas Bentonit. *Jurnal Agrium*, 18(2). <https://doi.org/10.29103/agrium.v18i2.5326>
- Mulyono, S., Syafei, W. A., & Kusumaningrum, R. (2020). Analisa Tingkat Penerimaan Pengguna Terhadap Aplikasi SIMPUS Dengan Metode Technology Acceptance Model (TAM). *Joins (Journal of Information System)*, 5(1), 147–155. <https://doi.org/10.33633/joins.v5i1.3277>
- Munthe, K. P. S. M., & Dahang, D. (2018). Hosting of *Hendersonia* against Ganoderma (*Ganoderma boninense*) disease in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq). *International Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 5(3), 46-50.
- Nanda, W. S. E. (2022). Analisis Hubungan Pengetahuan Siswa Tentang Pemanfaatan Limbah Dengan Perilaku Pengelolaan Limbah Kelapa Sawit. *Indonesian Journal of Education Research (Ijoer)*, 3(4), 99–102. <https://doi.org/10.37251/ijoer.v3i4.576>
- Nasir, A., Pesantren, Y., Islamiyah, W., & Sambas, P. N. (2021). Analisis Pengambilan Keputusan Perubahan Konversi Tambak Ikan ke Kebun Kelapa Sawit di Desa Kasano Kabupaten Mamuju Utara Analysis of Decision Making A Change of Conversion Fish Pond to Palm Oil Plantation in Kasano Village North Mamuju District. 1(2), 52–59.
- Ngwelum, C. C. (2021). Palm Waste Management and Environmental Sustainability in Sombo Community, Cameroon. *SSRN Electronic Journal*, 1–17. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3894522>
- Nurfatriani, F., Ramawati, Sari, G. K., Saputra, W., & Komarudin, H. (2022). Oil Palm Economic Benefit Distribution to Regions for Environmental Sustainability: Indonesia's Revenue-Sharing Scheme. *Land*, 11(9), 1–24. <https://doi.org/10.3390/land11091452>
- Nuro, F., Priadi, D., & Mulyaningsih, E. S. (2016). Kangkung Darat (*Ipomoea reptans* Poir.) Effects of Organic Fertilizer on. *Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil PPM IPB, January*, 28–39.
- Nursal, B. N. A. M. F. (2020). Pengaruh Turnover Intention Dan Kepuasan Kerja

- Terhadap Produktivitas Kerja Sales Promotion Girl (SPG) Matahari Department Store – Bekasi. *Business Management Analysis Journal (BMAJ)*, 3(2), 174–188. <https://doi.org/10.24176/bmaj.v3i2.4819>
- Nyondo, C. J., Nyirenda, Z., Burke, W., & Muyanga, M. (2021). The Inorganic Fertilizer Price Surge in 2021 Key Drivers and Policy Options. *Mwapata Institut*.
- Ohmayed, K. H., Sharqi, M. M., & Rashid, H. M. (2020). Comparison of the Physical and Chemical Changes in Local Organic Waste After Cultivation of the Ganoderma Lucidum Mushroom and Composting By Common Methods. *Journal of Life Science and Applied Research*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.59807/jlsar.v1i1.10>
- Oladipupo, M. T. (2014). Built-In Functions and Features of Data Analysis Software: Predictors of Optimal Deployment for Continuous Audit Assurance. *Scholars Journal of Economics, Business and Management.*, 1(1), 7–18.
- Onofrei, M., Gavrilu, A., Jitaru, G., Filip, B. F., & Laurent, C. (2020). Impacts of the Allocation of Governmental Resources for Improving the Environment . An Empirical Analysis on Developing European Countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2783), 1–18.
- Ouma, B. N., Okoth, M. W., Muthama, J. N., Abong, G. O., & Villacampa, M. (2021). Capacity building influence on waste management among horticultural processing Micro, Small and Medium Enterprises in Kenya. *East African Journal of Science, Technology and Innovation*, 2(Special Issue), 1–16. <https://doi.org/10.37425/eajsti.v2i.332>
- Owubah, C. E., Le Master, D. C., Bowker, J. ., & Lee, J. G. (2001). Forest Tenure Systems and Sustainable Forest Management: The Case of Ghana. *Forest Ecology and Management*, 149(1–3), 253–264. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00557-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00557-0)
- Pahan, I. (2008). *Panduan Lengkap Kelapa Sawit (Manajemen Agribisnis Hulu hingga Hilir)*. Penebar Swadaya.
- Paramida, C., Roslinda, E., & Wardenaar, E. (2019). *Hutan Menjadi Perkebunan Kelapa Sawit Pt. Bumi Pratama Khatulistiwa Di Desa Sungai Enau Kecamatan Kuala Mandor B Kabupaten Kubu Raya*. 7(4), 1524–1538.
- Pardamean, M. (2014). *Mengelola Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit secara Profesional*. Penebar Swadaya.
- Park, I., Kim, D., Moon, J., Kim, S., Kang, Y., & Bae, S. (2022). Searching for New Technology Acceptance Model under Social Context: Analyzing the Determinants of Acceptance of Intelligent Information Technology in Digital Transformation and Implications for the Requisites of Digital Sustainability. In *Sustainability* (Vol. 14, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/su14010579>
- Partohardjono, S. (1999). Cropping Systems as a Sustainable Agriculture

Technologi in Humid Tropic. *Seminar Toward Sustainable Agriculture in Humid Tropic Facing 21st Century*.

- Parveez, G. K. A., Tarmizi, A. H. A., Sundram, S., Loh, S. K., Ong-Abdullah, M., Palam, K. D. P., Salleh, K. M., Ishak, S. M., & Idris, Z. (2021). Oil Palm Economic Performance in Malaysia and R&D Progress in 2020. *Journal of Oil Palm Research*, 33(2), 181–214. <https://doi.org/10.21894/jopr.2021.0026>
- Perubahan, D., Lahan, P., Strategi, D. A. N., Daerah, L., Kasus, S., & Bekasi, K. (2012). Dinamika Perubahan Penggunaan Lahan dan Strategi Ruang Hijau (Suwarli. *Forum Pascasarjana*, 35(1), 37–52.
- Peterson, K. O. (2023). The Acceptable *R-Square* in Empirical Modelling for Social Science Research Peterson. *Social Research Methodology and Publishing Results*, 116496, 1–10.
- Poeloengan, Z., Fadli, M. L., Winarna, Rahutomo, S., Sutarta, E. S. (2001). Permasalahan Pemupukan pada Pekebunan Kelapa Sawit. *Pusat Penelitian Kelapa Sawit*.
- Pratiwi, D.A. Maryam, S. Balkis, S. (2020). Analisis pendapatan Usahatani Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Kecamatan Waru Kabupaten Penajam Paser Utara. *Jurnal Agribisnis Dan Komunikasi Pertanian (JAKP)*, 3(1), 9–16.
- Prayitno, G., Wahyuni, S., Iyati, W., Tarno, H., Hayat, A., Fauziah, S. H., & Hasna, F. (2024). Pendampingan Penyusunan Desain Museum Desa Pertanian Karangpatihan: Integrasi Wisata Edukatif Dan Pengembangan Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Sapangambei Manoktok Hitei*, 4(2), 287–302. <https://doi.org/10.36985/09zx2v34>
- Prayitno, S., Indradewa, D., & Sunarminto, B. H. (2008). Produktivitas kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) yang dipupuk dengan tandan kosong dan limbah cair pabrik kelapa sawit. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 15(1), 37–48.
- Prayitno Susanto, J., Dwi Santoso, A., Nawa Suwedi, D., Pusat Teknologi Lingkungan, P., Gedung, B., Puspipetek Serpong, K., & Selatan, T. (2017). Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan Dengan Metode LCA Palm Solid Wastes Potential Calculation for Renewable Energy with LCA Method. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 165–172.
- Pujono, H. R., Kukuh, S., Evizal, R., & Rahmat, A. (2021, February). The effect of POME application on production and yield components of oil palm in Lampung, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 648 (1), p. 012058). IOP Publishing.
- Pulungan, R. I., Lubis, M. M., & Harahap, G. (2020). Analisis Pendapatan dan Pengeluaran Konsumsi Petani Kelapa Sawit Desa Lubuk Bunut Kecamatan Hutaraja Tinggi Kabupaten Padang Lawas. *Jurnal Agriuma*, 2(2), 108–121. <https://doi.org/10.31289/agr.v2i2.4392>
- Purba, S., Ginting, N. M., Budiman, I., Lubis, A. R., & Gea, S. (2023). Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Di Pt. Pratama Karya Niaga Jaya Menjadi Pupuk Organik. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 7(2), 1247. <https://doi.org/10.31764/jpmb.v7i2.15191>

- Qureshi, K. A., Chaudhry, M. A., & Akhtar, R. (1992). In Cotton Production. *Agri.Sci*, 29(4), 358–362.
- Rahayu, A. G. (2013). Pengaruh Teknologi Informasi (Pendekatan Technology Acceptance Model) dan e-filling terhadap User satisfaction (Survey pada Wajib Pajak Badan di Wilayah KPP Madya Bandung). *Skripsi Universitas Komputer Indonesia*.
- Rainert, K. T., Nunes, H. C. A., Gonçaves, M. J., Helm, C. V., & Tavares, L. B. B. (2021). Decolorization of the Synthetic Dye Remazol Brilliant Blue Reactive (RBBR) by *Ganoderma lucidum* on Bio-Adsorbent of the Solid Bleached Sulfate Paperboard Coated with Polyethylene Terephthalate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 104990. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104990>
- Ratnasari, S., Mizuno, K., Herdiansyah, H., & Simanjutak, E. G. H. (2023). Enhancing Sustainability Development for Waste Management through National–Local Policy Dynamics. *Sustainability (Switzerland)*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/su15086560>
- Renbian, Huang, H., & Yang, L. (2020). An Interval Efficiency Measurement in DEA When considering Undesirable Outputs. *Complexity*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/7161628>
- Retno. (2014). *Pengaruh Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit sebagai Pupuk terhadap Biodiversitas Tanah Pengaruh Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit sebagai Pupuk terhadap Biodiversitas Tanah*. October.
- Rizal, M., Ramli, R., Parawansa, I. N. R., Pannyiwi, T., & Purwanto, B. (2024). Efektivitas Pupuk Organik Eco Farming Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Padi (*Oryza Sativa L.*). *Jurnal Agrisistem*, 20(1), 31–36. <https://doi.org/10.52625/j-agr.v20i1.322>
- Romelah, S., Niswati, A., Tugiyono, T., & Dermiyati, D. (2017). Improvement of Physical and Chemical Soil Quality of Oil Palm Plantation through Integrated Farming System of Cattle and Oil Palm to Achieve Sustainable Agriculture. *Journal of Tropical Soils*, 22(2), 113–123. <https://doi.org/10.5400/jts.2017.v22i2.113-123>
- Rouzatul, J., & Eddy, K. R. D. (2017). *Pengaruh Perbandingan Volume Em4 Dengan Massa Serat Tandan ... (Jannah dkk)*. 62–66.
- Rupaedah, B., Eko Prasetyo, A., Hidayat, F., Asiani, N., Wahid, A., Nurlaila, & Lutfia, A. (2023). Evaluation of Microbial Biocontrol Agents for *Ganoderma boninense* Management in Oil Palm Nurseries. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, March*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.12.001>
- Sahebi, M., Hanafi, M.M., Akmar, A.S.N., Rafii, M.Y., Azizi, P., Tengoua, F.F., Azwa, J.N.M. and Shabanimofrad, M. (2015) Importance of Silicon and Mechanisms of Biosilica Formation in Plants. *BioMed Research*

International, 16 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/396010>

- Sahu, H., Kumar, U., Mariappan, S., Mishra, A. P., & Kumar, S. (2024). Impact of organic and inorganic farming on soil quality and crop productivity for agricultural fields: A comparative assessment. *Environmental Challenges*, 15, 100903. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100903>
- Salar, H. C., & Hamutoglu, N. B. (2022). The Role of Perceived Ease of Use and Perceived Usefulness on Personality Traits among Adults. *Open Praxis*, 14(2), 133–147. <https://doi.org/10.55982/openpraxis.14.2.142>
- Savitri, E., & Natariasari, R. (2021). Percepatan pendapatan petani sawit melalui peningkatan kinerja pemasaran dan strategi bersaing. *Riau Journal of Empowerment*, 4(1), 41–47. <https://doi.org/10.31258/raje.4.1.41-47>
- Semangun, H. (2000). *Penyakit-Penyakit Tanaman Perkebunan di Indonesia (Revisi)*. Gadjah Mada University Press.
- Sheehy, B., & Farneti, F. (2021). Corporate Social Responsibility, Sustainability, Sustainable Development and Corporate Sustainability: What is The Difference, and Does It Matter. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/su13115965>
- Shoniyozov Bobur Kaldarboyevich, Turdiyev Umarjon Uchqun son, Ko'chgarov Islam Rustam son, Toshtemirova Sarvinoz Jorabek daughter, I. M. M. daughter. (2023). Prospects of Organic Fertilizer Preparation From Urban Waste. *Eurasian Journal Of Academic Research*, 3(2), 2022–2024.
- Shrestha, A. K., & Vassileva, J. (2019). User Acceptance of Usable Blockchain-Based Research Data Sharing System: An Extended TAM-Based Study. *Proceedings - 1st IEEE International Conference on Trust, Privacy and Security in Intelligent Systems and Applications, TPS-ISA 2019*, 203–208. <https://doi.org/10.1109/TPS-ISA48467.2019.00033>
- Siagian, U. W. R., Wenten, I. G., & Khoiruddin, K. (2024). Circular Economy Approaches in the Palm Oil Industry: Enhancing Profitability through Waste Reduction and Product Diversification. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 56(1), 25–49. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2024.56.1.3>
- Silvia, H., & Yuli, E. F. (2022). Upaya Meningkatkan Efisiensi Biaya Produksi Pupuk Organik Cair Pada Petani Bunga Kopeng. *Studi Kasus Inovasi Ekonomi*, 6(02), 43–52. <https://doi.org/10.22219/skie.v6i02.22387>
- Sinabang, L., Anggraeni, D., & Aliudin, A. (2021). Elastisitas Produksi Dan Efisiensi Penggunaan Faktor Produksi Padi Sawah Pada Berbagai Tingkat Luas Lahan Garapan Di Kabupaten Tangerang. *Jurnal Ilmu Pertanian Tirtayasa*, 3(2), 311–326. <https://doi.org/10.33512/jipt.v3i2.13738>
- Sirait, P., Lubis, Z., & Sinaga, M. (2015). Analisis Sistem Integrasi Sapi Dan Kelapa Sawit Dalam Meningkatkan Pendapatan Petani Di Kabupaten Labuhanbatu. *Jurnal Agribisnis Sumatera Utara*, 8(1), 1–15.

- Siregar, F. M., Prihantoro, I., & Karti, P. D. M. H. (2024). *Strategi Peningkatan Kesuburan Lahan Melalui Optimalisasi Pupuk Organik Untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman Indigofera zollingeriana Skala Lapang*. 22(3), 151–158.
- Siregar, H., Sitorus, S. R. P., & Sutandi, A. (2012). Potensi Pengembangan Perkebunan Karet Rakyat di Kabupaten Mandailing Natal (H. Siregar et al.). *Forum Pascasarjana*, 35 No.1(Januari 2012), 1–13.
- Siu Shing Man, W. K. H. lee. (2022). Policy Implications for Promoting the Adoption of Cogeneration Systems in the Hotel Industry : An Extension of the Technology Acceptance Mode. *Mdpi*, 12(1247), 20.
- Soekartawi. (2002). *Prinsip Dasar Ekonomi Pertanian. Teori dan Aplikasi*. Raja Grafindo Persada.
- Solehudin, D.I., & Suswanto, S. (2012). Status Penyakit Bercak Coklat Pada Pembibitan Kelapa Sawit di Kabupaten Sanggau. *Jurnal Perkebunan dan Lahan Tropika. Jurnal Perkebunan Dan Lahan Tropika*, 2, 1–6.
- Sorce, J., & Issa, R. R. A. (2021). Extended technology acceptance model (TAM) for adoption of information and communications technology (ICT) in the US construction industry. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 227–248. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.013>
- Sozoniuk, M. (2022). Investigating Residents' Adoption Of A Recycling Application And Acceptance Of Corporate Sponsorship: A Case Study Of New Jersey. *Toronto Metropolitan University*.
- Sparkes, E., & Werners, S. E. (2023). Monitoring, evaluation and learning requirements for climate-resilient development pathways. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 64, 101329. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101329>
- Stefani, K., & Cilvanus, H. (2020). Analisis Pengaruh Kualitas Sistem, Persepsi Kemudahan, Iklan, Promosi, dan Harga Terhadap Kepuasan Pengguna Aplikasi Ruanguru. *Media Informatika*, 19(2), 72–87. <https://doi.org/10.37595/mediainfo.v19i2.44>
- Suliartini, N. W. S., Irmayani, I., Maisopa, I., Ismayanti, J., Khairina, K., AP, J. A., Ramadhan, D. A., Ali, K. O., Sintanu, M. A. W., Alvin, Z., & Mukmin, A. (2023). Sosialisasi Pengelolaan Limbah Peternakan Dan Pertanian Untuk Meningkatkan Kesehatan Masyarakat Di Desa Batu Kumbang Kecamatan Lingsar. *Jurnal Abdi Insani*, 10(4), 2811–2819. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v10i4.1282>
- Sundaraja, C. S., Hine, D. W., & Lykins, A. D. (2021). Palm oil: Understanding barriers to sustainable consumption. *PLoS ONE*, 16(8 August), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254897>
- Supriatna, J., Setiawati, M. R., Sudirja, R., Suherman, C., & Bonneau, X. (2023). Migration from inorganic to organic fertilization for a more sustainable oil

- palm agro-industry. *Heliyon*, 9(12), e22868.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22868>
- Supriatna, J., Setiawati, M. R., Sudirja, R., Suherman, C., Supriatna, J., Setiawati, M. R., Sudirja, R., Suherman, C., Com-, X. B., Supriatna, J., Setiawati, M. R., Sudirja, R., Suherman, C., & Bonneau, X. (2023). Composting for a More Sustainable Palm Oil Waste Management : A Systematic Literature Review To cite this version : HAL Id : hal-04024257 Composting for a More Sustainable Palm Oil Waste Management : *The Scientific World Journal*, 0–20.
- Suprihatin, S., Indrasti, N. S., Prasetya, H., Agustina, L., & Yulistika, E. (2024). Nine circular strategy approach for the sustainable management of waste in the palm oil industry. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 10(SI), 89–104. <https://doi.org/10.22034/GJESM.2024.SI06>
- Susanto, A. A. E. P. (2013). Respon *Curvularia lunata* Penyebab Penyakit Bercak Daun Kelapa Sawit terhadap Berbagai Fungisida. *Jurnal Fitopatologi*, 9, 165–172.
- Sutarta, E. S., Winama, Tobing, P. L., dan Sufianto. 2001. Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit pada Pekerbunan Kelapa Sawit.
- Sutarta, E. S & Winama. (2002). Upaya Peningkatan Efsiensi dan Langkah Alternatif Pemupukan pada Tanaman Kelapa Sawit. *Bulletin WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 10(3), 23–32.
- Syahputra, I., & Purba, A. (2015). Benih Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Dxp Socfindo Mt Gano Moderat Tahan Ganoderma boninense. *Jurnal Online Pertanian Tropik*, 2(3), 264-274.
- Syam, J., Faridah, F., & Thanwain, T. (2024). Pemanfaatan Teknologi Informasi untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam Berkelanjutan di Desa Bonto Masunggu Kabupaten Bone Sulawesi Selatan. *ABDI DAYA: Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, 2(1), 25-36.
- Syamsiyah, J., Herdiyansyah, G., Hartati, S., Suntoro, S., Widijanto, H., Larasati, I., & Aisyah, N. (2023). Pengaruh Substitusi Pupuk Kimia Dengan Pupuk Organik Terhadap Sifat Kimia Dan Produktivitas Jagung Di Alfisol Jumantono. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 57–64. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.6>
- Syamsul, S. B. (2024). Dari Sampah Kering Menjadi Pupuk Organik Padat. *BEGAWA: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(3), 29–36. <https://doi.org/10.62667/begawe.v2i3.151>
- Tanmaela, F. G., & Nur, M. A. (2022). Analisis Pemanfaatan Komoditi Kelapa Sawit terhadap Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Sub Sektor Perkebunan dengan Memperhatiakn Aspek Lingkungan di Provinsi Kalimantan Selatan. *JIEP: Jurnal Ilmu Ekonomi dan Pembangunan*, 5(2), 445-457.
- Terence, E., Kiplagat, J., Kimutai, S. K., & Mecha, A. C. (2023). Heliyon Current trends in palm oil waste management : A comparative review of Cameroon and Malaysia. *Heliyon*, 9(11), e21410.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21410>

- Thiribhuvanamala, G., & Krishnamoorthy, A. S. (2021). Evaluation of Different Lignocellulosic Substrates for Cultivation of Medicinal Mushroom *Ganoderma lucidum*. *Journal of Environmental Biology*, 42(5), 1314–1319. <https://doi.org/10.22438/jeb/42/5/MRN-1686>
- Tiwari, A. K., Singh, K. K., Dwivedi, A. P., & Singh, R. P. (2020). Adoption level and constraints of IPM technology in chickpea growers of Raebareli district of Uttar Pradesh. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(5), 750–755.
- Ukanwa, K. S., Patchigolla, K., Sakrabani, R., & Ukanwa, K. S. (2023). *Energy and economic assessment of mixed palm residue utilisation for production of activated carbon and ash as fertiliser in agriculture production of activated carbon and ash as fertiliser in agriculture*. <https://doi.org/10.1080/09593330.2021.1989056>
- Utami, F. N., Yossinomita, & Rahayu, N. (2022). Pengaruh Perceived Usefulness dan Perceived Ease of Use terhadap Continuance Intention to Use Mobile Banking dengan Trust sebagai Variabel Intervening (Studi pada Pengguna Aplikasi Bank Jambi Mobile di Kota Jambi). *JUMANAGE: Jurnal Ilmiah Manajemen dan Kewirausahaan*, 1(2): 57-67. <https://ejournal.unama.ac.id/index.php/jumanage/article/view/86>
- Utami, S., & Siregar, S. (2022). Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit menjadi pestisida nabati dengan metode pirolisis. *Jurnal Masyarakat Mandiri*, 6(6), 4968–4977.
- Venita, Y. (2010). *Identifikasi Penyakit Tanaman yang Menyerang Tanaman Kelapa Sawit yang Telah Menghasilkan di Desa Pantai Cermin KM 25 Pekanbaru. Disertasi*. Universitas Riau.
- Wahyudi, A. (2022). Strategi pengembangan perkebunan kelapa sawit di Provinsi Jambi. *Jurnal Paradigma Ekonomika*, 17(1), 31-44.
- Wahyuningsih, A., Setiyawan, B. M., & Kristanto, B. A. (2018). Efisiensi Ekonomi Penggunaan Faktor-Faktor Produksi, Pendapatan Usahatani Jagung Hibrida Dan Jagung Lokal Di Kecamatan Kemusuk, Kabupaten Boyolali. *Agrisociomics Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.14710/agrisociomics.v2i1.2672>
- Widiastuti, H., Eris, D. D., dan Santoso, D. (2016). Potensi Fungisida Organik untuk Pengendalian *Ganoderma* pada Tanaman Kelapa Sawit. *Jurnal Menara Perkebunan*, 8(4), 98–106.
- Wijaya, A. S., Muljono, P., Saleh, A., & Hapsari, D. R. (2023). Pengaruh Sistem Informasi dan Komunikasi terhadap Penerimaan Teknologi dalam Pengembangan Desa Cerdas. *Jurnal Riset Komunikasi*, 6(2), 194–207.
- Wilujeng, E. D., & Fauziah, Elys. (2021). Efisiensi Teknis Dan Faktor Yang

- Mempengaruhi Produksi Padi Di Kabupaten Lamongan. *Agriscience*, 1(3).
<https://doi.org/10.21107/agriscience.v1i3.11179>
- Wilujeng, E. D., & Fauziyah, E. (2021). Efisiensi Teknis Dan Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Padi Di Kabupaten Lamongan. *Agriscience*, 1(3), 712–727. <https://doi.org/10.21107/agriscience.v1i3.11179>
- Yacob, S., M.A. Hassan, Y. Shirai, M. Wakisaka, S. S. (2005). Baseline Study of Methane Emission from Open Digesting Tanks of Palm Oil Mill Effluent Treatment. *Chemosphere*, 5(9), 1575–1581.
- Yuliana, T., Mardawati, E., Rahimah, S., & Son, Y. (2019). Potential of *Basidiomycetes Marasmiellus* sp. and *Ganoderma lucidum* in Xylanase Enzyme Production and its Activity using Agroindustry Waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 230(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012078>
- Zamhari, A., Utama, S. P., & Mersyah, R. (2009). *Ekonomi Konversi Lahan Sawah Menjadi Kebun Kelapa Sawit di Kecamatan Kedurang Kabupaten Bengkulu Selatan Provinsi Bengkulu*. Hidayat, 1–8.
- Zhang, X., Yang, Q., Al Mamun, A., Masukujjaman, M., & Masud, M. M. (2024). Acceptance of new agricultural technology among small rural farmers. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04163-2>
- Zhao, W., Qiu, Y., Lu, W., & Yuan, P. (2022). Input–Output Efficiency of Chinese Power Generation Enterprises and Its Improvement Direction-Based on Three-Stage DEA Model. *Sustainability (Switzerland)*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/su14127421>
- Zheng, X., Wei, L., Lv, W., Zhang, H., Zhang, Y., Zhang, H., Zhang, H., Zhu, Z., Ge, T., & Zhang, W. (2024). Long-term bioorganic and organic fertilization improved soil quality and multifunctionality under continuous cropping in watermelon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 359, 108721. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108721>

LAMPIRAN

Lampiran 1.

Kuesioner Angket

ANGKET PENELITIAN

Assalamu'alaikum wr.wb

Kepada bapak/ibu yang saya banggakan, melalui surat ini perkenalkan:

Nama : Taslim Harefa

Disela-sela kegiatan di kantor, saya mengharap keikhlasan Bapak/Ibu untuk meluangkan waktu sebentar untuk mengisi angket yang disusun dalam rangka menyelesaikan penelitian dengan judul:

“Analisis Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Organik Dalam Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan”

Berkenaan dengan hal tersebut, saya mohon bantuan bapak/ibu untuk memberikan jawaban atas pertanyaan yang terdapat dalam angket ini dengan jujur.

Atas perhatian bapak/ibu, saya mengucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum wr.wb

Medan, Februari 2024

Peneliti

Tasllim Harefa

ANGKET PENELITIAN

A. Identitas Siswa

Nama (Tidak wajib diisi) :

Umur :

Jenis Kelamin :

B. Petunjuk Pengisian

1. Jawablah pernyataan dengan memilih salah satu dari empat alternatif jawaban.
2. Jawablah dengan memberikan tanda silang (x) atau centang (√) pada kolom yang telah disediakan.
3. Alternatif Jawaban

SS : Sangat Setuju

S : Setuju

TS : Tidak Setuju

STS : Sangat Tidak Setuju

C. Penilaian

Persepsi kemudahan penggunaan					
NO	Pernyataan	STS	TS	S	SS
1	Mudah mendapatkan Limbar cair dan limbah padat mudah di peroleh untuk di olah dan digunakan.				
2	Mudah dalam mengolah limbah menjadi pupuk organic.				
3	Mudah mengangkut/transportasi POC kelapangan tanaman				
4	Mudah mengaplikasikan POC pada tanaman kelapa sawit.				
5	POC berguna mengurangi limbah beracun pada pertanian kelapa sawit				

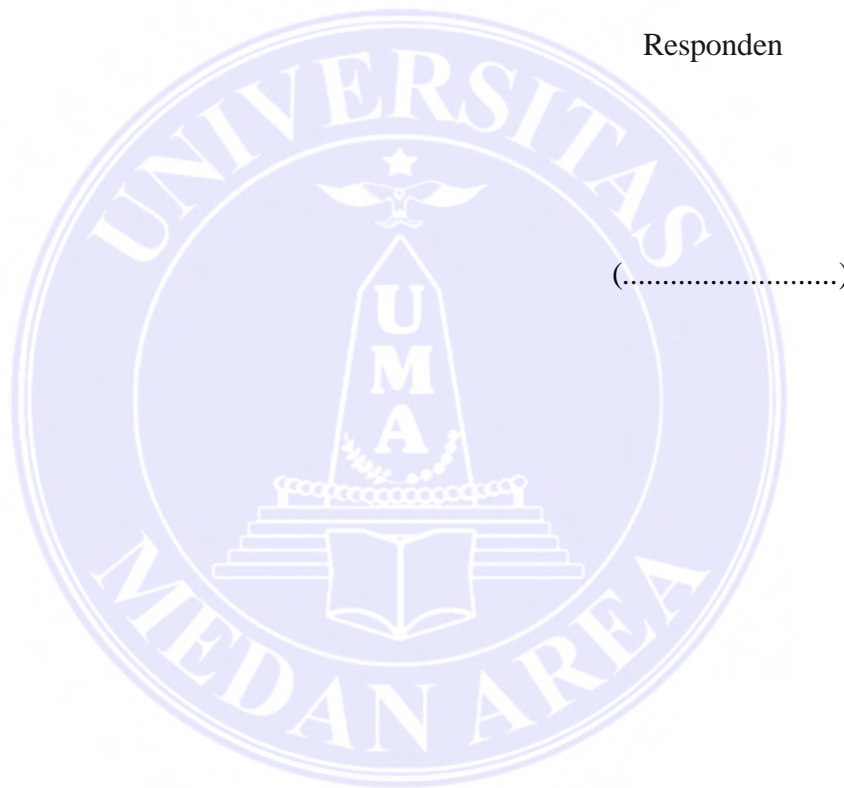
Persepsi Kegunaan					
NO	Pernyataan	ST S	T S	S	SS
1	POC berdampak positif pada pertumbuhan tanaman kelapa sawit				
2	POC berdampak positif pada Hasil tanaman kelapa sawit				
3	POC berdampak positif pada lingkungan tanaman kelapa sawit				
4	POC berdampak positif pada pengurangan pemakaian pupuk buatan pada tanaman kelapa sawit				
5	POC berdampak positif pada penurunan penyakit tanaman kelapa sawit				
6	POC berdampak positif pada penurunan gulma tanaman kelapa sawit				
Intensi					
No	Pernyataan	ST S	T S	S	SS
1	Saya menggunakan POC untuk mengurangi pemakaian pupuk buatan pada tanaman kelapa sawit dengan harga yang lebih ekonomis.				
2	Saya selalu mencoba menggunakan POC sesering mungkin untuk mengurangi penyakit dan meningkatkan produksi				
3	Saya membuat jadwal dalam penyemprotan POC di Perkebunan kelapa sawit				
4	Saya bermaksud terus menggunakan POC di kemudian hari				
5	Saya mengharapkan bisa terus menggunakan POC di kemudian hari				

Pengguna Nyata					
NO	Pernyataan	STS	TS	S	SS
1	Saya selalu menggunakan limbah cair dan limbah padat untuk di olah menjadi POC dan pengganti pupuk buatan				
2	Saya selalu menggunakan POC dalam Perkebunan kelapa sawit sebagai pengendali penyakit				
3	Saya selalu menyempatkan diri mengolah limbah cair dan padat untuk memperoleh POC yang akan di terapkan di kelapa sawit				
4	Saya selalu menggunakan POC dalam Perkebunan kelapa sawit sebagai peningkatan produksi buah sawit				
5	Saya selalu menggunakan POC dalam Perkebunan kelapa sawit untuk menyuburkan tanah dan perawatan kelapa sawit				
Pengalaman					
No	Pernyataan	STS	TS	S	SS
1	Saya tidak mengalami masalah ketika menggunakan POC				
2	Saya sering menggunakan POC dari limbah cair untuk pengendalian penyakit jamur kelapa sawit.				
3	Saya baru mengenal POC ketika limbah cair semakin banyak dan tingginya penyakit pada perkebunan kelapa sawit				
4	Saya tidak mengalami masalah ketika melakukan pengolahan limbah cair dan limbah padat				
5	Saya baru mengenal POC ketika limbah padat menumpuk di gudang				

D. SARAN

.....
.....
.....
.....
.....

Responden



Lembaga Peneliti :

Judul Penelitian :

KUESIONER WAWANCARA
ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK KELAPA
SAWIT SEBAGAI PUPUK ORGANIK DALAM
PENGELOLAAN PERKEBUNAN KELAPA SAWIT
BERKELANJUTAN

INTERPRETATIVE STRUCTURAL MODELLING (ISM)

Data Wawancara Pakar :

Hari/Tanggal : Senin, Februari 2024

Nama Pakar : Taslim Harefa

Paraf :

Petunjuk Umum

Kuesioner ini merupakan salah satu metode pendekatan ISM dalam penyusunan Strategi penentuan Lembaga dalam pengelolaan Perkebunan kelapa sawit berkelanjutan. Teknik ISM menggunakan pendekatan pakar dalam pengumpulan data pada “**Elemen Kendala**”.

Panduan Pengisian

1. Simbol berikut (V, A, X, O) merupakan simbol penilaian terhadap variabel dan atribut yang dimaksudkan.

V Elemen-i lebih penting/utama/berperan.dari pada elemen-j

A	Elemen-j lebih penting/utama/berperandari pada elemen-i
X	Kedua elemen i-j sama-sama penting/utama/berperan.....
O	Kedua elemen i-j sama-sama tidak penting/utama/berperan

2. Berilah Tanda \surd pada kotak berlabel (**V-A-X-O**) yang telah disediakan berdasarkan penilaian yang diberikan; misalnya anda menganggap bahwa **Elemen-i** lebih penting/berperan dibanding **Elemen-j**, maka sbb:

Elemen	V	A	X	O	Elemen
i	\surd				j

3. Demikian seterusnya, untuk setiap pertanyaan.

Elemen Kajian

CONTOH

Elemen Kendala

1	Ada kebijakan/izin dari Dinas Lingkungan Hidup berupa aturan terkait pengolahan limbah beracun menjadi pupuk
2	Ada dukungan penuh dari pihak manajemen dalam pengaplikasian limbah beracun menjadi pupuk organik
3	Alokasi anggaran sebagai prioritas dalam mendukung pengolahan limbah menjadi organik
4	Ketersediaan lahan terbuka hijau
5	Ketersediaan Sarana prasarana pendukung.
6	Keseragaman struktur organisasi dan kelembagaan.
7	Kesamaan persepsi para pemangku kepentingan.

Lembar Pertanyaan

Menurut Bapak/Ibu/Saudara (i) untuk menentukan dukungan dan pengaruh kelembagaan terhadap penggunaan pupuk organik dari limbah kelapa sawit,

Elemen kendala manakah yang lebih penting/berperan dan harus menjadi prioritas utama untuk segera diatasi.

NO	ELEMEN	V	A	X	O	ELEMEN	NO
A1	Belum ada kebijakan/Izin dari Dinas Lingkungan hidup berupa aturan terkait pengolahan limbah beracun menjadi pupuk					Belum ada dukungan penuh dari pihak manajemen dalam pengaplikasian limbah beracun menjadi pupuk organik	A2
A1	Belum ada kebijakan/Izin dari Dinas Lingkungan hidup berupa aturan terkait pengolahan limbah beracun menjadi pupuk					Alokasi anggaran belum menjadi prioritas dalam mendukung pengolahan limbah menjadi pupuk organik	A3
A1	Belum ada kebijakan/Izin dari Dinas Lingkungan hidup berupa aturan terkait pengolahan limbah beracun menjadi pupuk					Kekurangan lahan terbuka hijau	A4
A1	Belum ada kebijakan/Izin dari Dinas Lingkungan hidup berupa aturan terkait pengolahan limbah beracun menjadi pupuk					Sarana prasarana pendukung belum optimal.	A5
A1	Belum ada kebijakan/Izin dari Dinas Lingkungan hidup berupa aturan terkait pengolahan limbah beracun menjadi pupuk					Tidak ada keseragaman struktur organisasi dan kelembagaan.	A6
A1	Belum ada kebijakan/Izin dari Dinas Lingkungan hidup berupa aturan terkait pengolahan limbah beracun menjadi pupuk					Persepsi para pemangku kepentingan tidak sama.	A7
A2	Belum ada dukungan penuh dari pihak manajemen dalam pengaplikasian limbah beracun menjadi pupuk organik.					Alokasi anggaran belum menjadi prioritas dalam mendukung pengolahan limbah menjadi pupuk organik	A3
A2	Belum ada dukungan penuh dari pihak manajemen dalam					Kekurangan lahan terbuka hijau	A4

NO	ELEMEN	V	A	X	O	ELEMEN	NO
	pengaplikasian limbah beracun menjadi pupuk organik.						
A2	Belum ada dukungan penuh dari pihak manajemen dalam pengaplikasian limbah beracun menjadi pupuk organik.					Sarana prasarana pendukung belum optimal.	A5
A2	Belum ada dukungan penuh dari pihak manajemen dalam pengaplikasian limbah beracun menjadi pupuk organik.					Tidak ada keseragaman struktur organisasi dan kelembagaan.	A6
A2	Belum ada dukungan penuh dari pihak manajemen dalam pengaplikasian limbah beracun menjadi pupuk organik.					Persepsi para pemangku kepentingan tidak sama.	A7
A3	Alokasi anggaran belum menjadi prioritas dalam mendukung pengolahan limbah menjadi pupuk organik.					Kekurangan lahan terbuka hijau	A4
A3	Alokasi anggaran belum menjadi prioritas dalam mendukung pengolahan limbah menjadi pupuk organik					Sarana prasarana pendukung belum optimal.	A5
A3	Alokasi anggaran belum menjadi prioritas dalam mendukung pengolahan limbah menjadi pupuk organik					Tidak ada keseragaman struktur organisasi dan kelembagaan.	A6
A3	Alokasi anggaran belum menjadi prioritas dalam mendukung pengolahan limbah menjadi pupuk organik					Persepsi para pemangku kepentingan tidak sama.	A7
A4	Kekurangan lahan terbuka hijau					Sarana prasarana pendukung belum optimal.	A5

NO	ELEMEN	V	A	X	O	ELEMEN	NO
A4	Kekurangan lahan terbuka hijau					Tidak ada keseragaman struktur organisasi dan kelembagaan.	A6
A4	Kekurangan lahan terbuka hijau					Persepsi para pemangku kepentingan tidak sama.	A7
A5	Sarana prasarana pendukung belum optimal.					Tidak ada keseragaman struktur organisasi dan kelembagaan.	A6
A5	Sarana prasarana pendukung belum optimal.					Persepsi para pemangku kepentingan tidak sama.	A7
A6	Tidak ada keseragaman struktur organisasi dan kelembagaan.					Persepsi para pemangku kepentingan tidak sama.	A7



Lampiran 2.

Data perolehan Efisien DEA

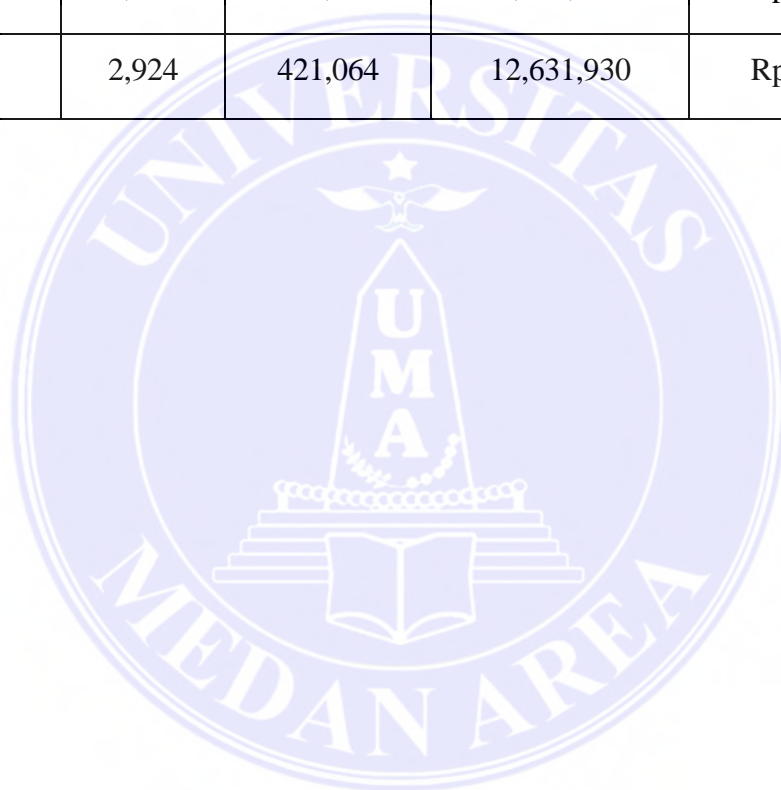
dmu	Land Area (Ha)	Op_ Cost (Milyar)	Biaya_Tenaga_Kerja (milyar)	Jumlah_Produksi (Kg)	Pendapatan_Produksi (Milyar)	CRS	VRS	Scale	RTS
A 2020	1,923	1,311	2,850	4,787,370	10,116	0.95	1	0.95	irs
A 2021	2,153	1,369	2,852	5,639,000	15,034	1	1	1	-
A 2022	4,568	2,888	5,964	6,005,961	16,372	0.52	1	0.52	drs
A 2023	2,924	2,941	6,362	6,354,000	14,519	0.83	1	0.83	drs

Biaya Pembuatan POC

Tahun tanam 2017-2022	Luas	Pokok	Liter penggunaan POC	Biaya pembuatan POC
2020	1923.48	276,981	27,698,100	Rp 1,004,333,106
2021	2153.05	310,040	31,003,980	Rp 1,124,204,315
2022	4567.68	657,746	66,044,180	Rp 2,394,761,967
2023	820.19	118,108	62,719,660	Rp 2,274,214,872

Pembuatan Kompos

Tahun tanam 2017-2022	Luas	Pokok	Liter penggunaan POC	Biaya pembuatan Kompos
2020	1,343	193,435	5,803,050	Rp 306,691,193
2021	1,073	154,461	4,633,844	Rp 244,898,655
2022	2,164	311,566	9,346,950	Rp 493,986,308
2023	2,924	421,064	12,631,930	Rp 667,597,501



Lampiran 3.

Hasil Kuesioner TAM

Responden	K P 1	K P 2	K P 3	K P 4	K P 5	P K 1	P K 2	P K 3	P K 4	P K 5	P K 6	I 1	I 2	I 3	I 4	I 5
1	2	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	2	2	3	3	3
2	3	3	4	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	4	3	3
3	4	3	4	3	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	3	3	3
5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
6	4	3	2	2	3	3	4	4	4	4	4	1	2	3	3	3
7	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3
8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
9	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3
10	3	3	4	3	3	4	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4
11	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	3	4
12	3	3	3	3	2	4	3	4	3	4	4	4	3	3	4	4
13	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
14	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4
15	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	3	3	2	3	2	3
16	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
17	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3
18	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4
19	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
20	4	4	4	3	4	2	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3
21	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
22	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	4	4	4	3	3
23	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
24	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3
25	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3
26	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3
27	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
28	3	4	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3	3
29	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
30	4	3	4	4	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
31	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
32	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
33	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3
34	3	3	3	3	3	2	4	3	3	2	1	3	3	3	3	3
35	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3

36	3	3	3	3	3	2	3	4	3	2	1	3	3	3	3	3
37	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
38	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3	3	4	3	3
39	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	1	3	3	3	3	3
40	4	4	4	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	4
41	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3
42	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	2	4	4	4	4	4
43	4	4	4	4	4	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
44	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
45	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
46	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4
47	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	1	4	4	4	3	4
48	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
49	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2	3	3	3	4	4
50	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3
51	4	3	4	3	3	2	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3
52	4	4	4	4	4	2	2	3	3	3	4	4	4	4	3	3
53	4	4	3	3	3	4	4	4	3	4	3	2	3	3	3	3
54	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	2	2	3	3	3	3
55	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
56	3	2	3	3	3	2	2	3	3	4	1	2	3	3	3	3
57	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	2	4	3	3	3
58	4	4	4	4	4	2	2	3	3	3	2	4	4	3	4	4
59	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4
60	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3
61	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3
62	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4
63	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
64	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
65	3	2	2	2	4	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3
66	4	4	3	3	4	3	2	2	3	2	2	4	4	4	3	3
67	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	3	4	4	4	4	4
68	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3
69	4	2	2	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
70	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3

Responden	PN 1	PN 2	PN 3	PN 4	PN 5	P1	P2	P3	P4	P5
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2
3	4	4	4	4	4	3	3	4	3	2

4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
6	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2
7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
9	4	3	3	3	3	4	4	4	3	3
10	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3
11	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
12	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3
13	4	3	3	4	4	4	4	3	3	3
14	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
15	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
16	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3
17	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
18	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
19	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
21	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
22	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
23	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
24	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
25	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
26	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
27	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
28	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3
29	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3
30	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3
31	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3
32	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3
33	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4
34	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3
35	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
36	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3
37	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
38	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
39	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
41	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
42	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
43	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3

44	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4
45	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
46	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4
47	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3
48	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4
49	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
50	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
51	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4
52	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4
53	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3
54	4	3	4	3	4	4	4	3	3	4
55	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3
56	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
57	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4
58	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4
59	4	4	3	3	3	4	3	4	3	4
60	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3
61	4	3	4	4	4	4	3	3	3	4
62	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3
63	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
64	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
65	3	2	3	3	3	2	3	2	2	4
66	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4
67	4	4	4	3	3	4	4	3	4	3
68	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
69	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
70	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3

Construct Reliability and Validity

	Cronbach's Alpha	rho_A	Composite Reliability	Average Variance Extracted (AVE)
Intensitas	0.891	0.897	0.920	0.698
Kemudahan Pengguna	0.904	0.962	0.928	0.720
Pengalaman	0.881	0.887	0.913	0.677
Pengguna Nyata	0.889	0.906	0.918	0.691
Persepsi Kegunaan	0.909	0.968	0.925	0.673

Outer Loading

	Intensitas	Kemudahan Pengguna	Pengalaman	Pengguna Nyata	Persepsi Kegunaan
I 1	0.776				
I 2	0.813				
I 3	0.848				
I 4	0.868				
I 5	0.867				
KP 1		0.770			
KP 2		0.868			
KP 3		0.891			
KP 4		0.913			
KP 5		0.791			
P1			0.821		
P2			0.837		
P3			0.849		
P4			0.820		
P5			0.784		
PK 1					0.865
PK 2					0.828
PK 3					0.767
PK 4					0.869
PK 5					0.786
PK 6					0.803
PN 1				0.811	
PN 2				0.812	
PN 3				0.889	
PN 4				0.803	
PN 5				0.838	

Mean, STDEV, T-Values, P-Values

	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics (O/STDEV)	P Values
Intensitas -> Pengalaman	0.263	0.280	0.102	2.568	0.005
Intensitas -> Pengguna Nyata	0.252	0.253	0.109	2.312	0.011
Kemudahan Pengguna -> Pengalaman	0.009	0.007	0.111	0.079	0.469
Kemudahan Pengguna -> Pengguna Nyata	0.344	0.349	0.111	3.083	0.001
Pengguna Nyata -> Pengalaman	0.412	0.410	0.126	3.266	0.001
Persepsi Kegunaan -> Pengguna Nyata	0.029	-0.009	0.153	0.192	0.424

Lampiran 4.**Hasil Kuesioner ISM**

N O	Elemen kendala	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
A1	Ada kebijakan/Izin dari Dinas Lingkungan Hidup berupa Aturan terkait pengelolaan limbah beracun menjadi pupuk.	X	V	X	A	V	X	X	X	A	V	X
A1	Ada kebijakan/Izin dari Dinas Lingkungan Hidup berupa Aturan terkait pengelolaan limbah beracun menjadi pupuk.	X	X	X	A	X	V	X	V	A	X	X
A1	Ada kebijakan/Izin dari Dinas Lingkungan Hidup berupa Aturan terkait pengelolaan limbah beracun menjadi pupuk.	X	V	X	A	A	V	V	V	V	X	X
A1	Ada kebijakan/Izin dari Dinas Lingkungan Hidup berupa Aturan terkait pengelolaan limbah beracun menjadi pupuk.	X	X	X	A	A	X	X	X	A	X	X

A1	Ada kebijakan/Izin dari Dinas Lingkungan Hidup berupa Aturan terkait pengelolaan limbah beracun menjadi pupuk.	X	A	V	A	A	X	X	V	V	X	X
A1	Ada kebijakan/Izin dari Dinas Lingkungan Hidup berupa Aturan terkait pengelolaan limbah beracun menjadi pupuk.	X	X	X	V	A	X	X	X	A	X	X
A2	Ada dukungan penuh dari pihak manajemen dalam mengaplikasikan limbah beracun menjadi pupuk organik	X	X	A	V	X	X	X	X	A	X	X
A2	Ada dukungan penuh dari pihak manajemen dalam mengaplikasikan limbah beracun menjadi pupuk organik	X	V	X	V	X	V	X	X	V	X	X
A2	Ada dukungan penuh dari pihak manajemen dalam mengaplikasikan limbah beracun	X	V	X	V	V	X	X	X	V	X	X

	menjadi pupuk organik												
A2	Ada dukungan penuh dari pihak manajemen dalam mengaplikasikan limbah beracun menjadi pupuk organik	X	V	V	V	X	V	X	X	A	X	X	
A2	Ada dukungan penuh dari pihak manajemen dalam mengaplikasikan limbah beracun menjadi pupuk organik	X	V	X	V	A	X	X	X	A	X	X	
A3	Alokasi anggaran sebagai prioritas dalam mendukung pengolahan limbah menjadi pupuk organik	X	V	A	V	X	V	X	X	V	X	X	
A3	Alokasi anggaran sebagai prioritas dalam mendukung pengolahan limbah menjadi pupuk organik	X	V	X	V	A	V	X	X	A	X	X	

A3	Alokasi anggaran sebagai prioritas dalam mendukung pengolahan limbah menjadi pupuk organik	X	X	V	X	V	X	X	X	V	X	X
A3	Alokasi anggaran sebagai prioritas dalam mendukung pengolahan limbah menjadi pupuk organik	X	X	X	V	V	X	X	X	V	X	X
A4	Ketersediaan lahan terbuka hijau	X	X	X	X	A	A	X	X	V	X	X
A4	Ketersediaan lahan terbuka hijau	X	X	V	X	X	A	X	X	V	X	X
A4	Ketersediaan lahan terbuka hijau	X	X	X	X	A	A	X	X	V	X	X
A5	Ketersediaan Sarana prasarana pendukung.	X	X	V	X	A	A	X	X	V	X	X
A5	Ketersediaan Sarana prasarana pendukung.	X	X	X	X	X	X	X	X	V	X	X
A6	Keseragaman struktur organisasi dan kelembagaan.	X	X	X	X	X	X	X	X	V	X	X

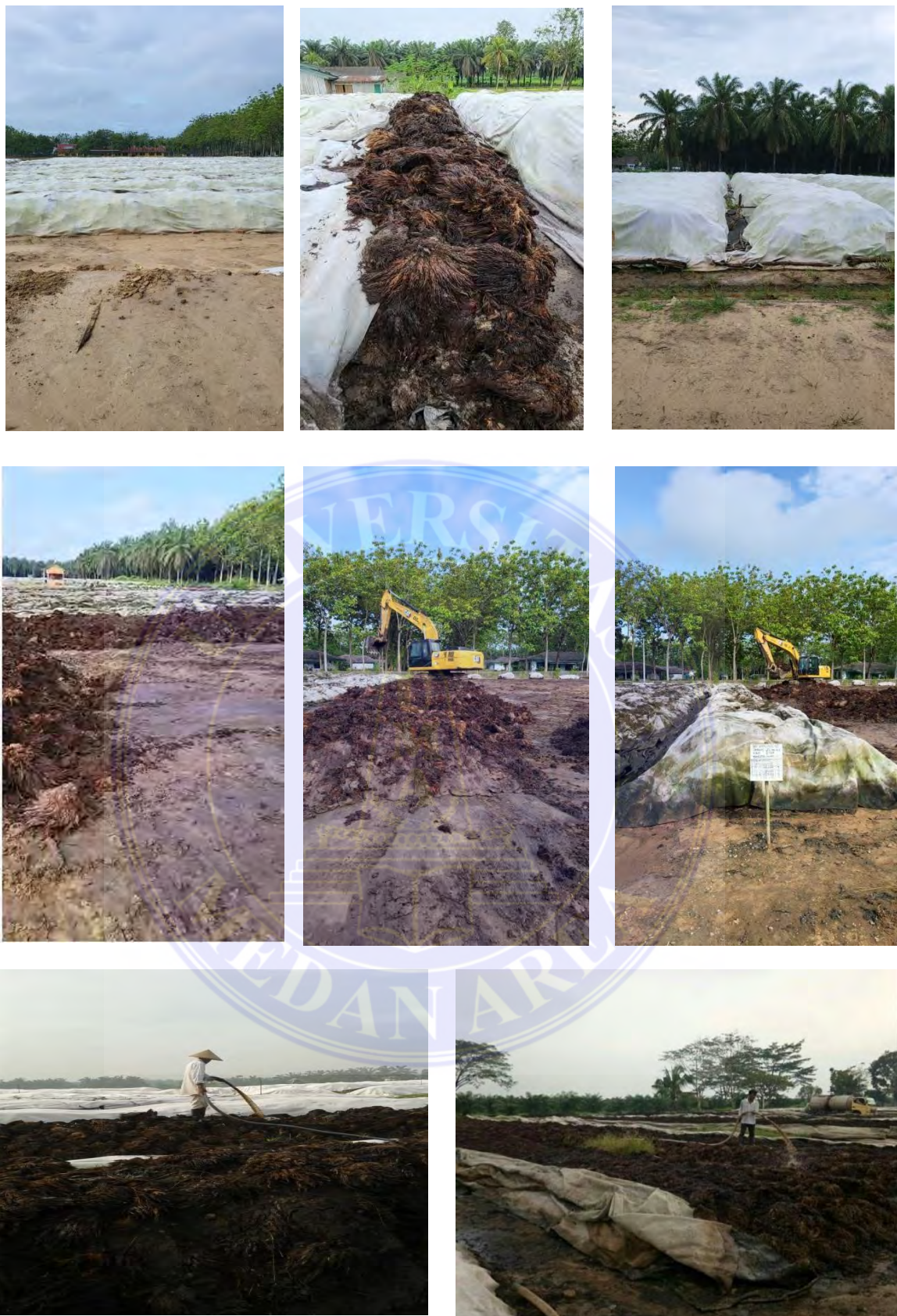
Lampiran 5 Dokumentasi



Gambar 1. Limbah pabrik kelapa sawit (limbah cair dan janjang kosong)



Gambar 2. Pengomposan limbah cair dan jangjang kosong menjadi pupuk organik



Gambar 3 : pengomposan janjannng kosong dan proses fermentasi



Gambar 4, Aplikasi pupuk organik dari hasil pengomposan limbah cair dan jangam kosong ke dalam lubang tanam dan ke pokok tanaman



Umur Tanaman 13 bulan (LCKS dan TKS)



Umur Tanaman 36 bulan (LCKS dan TKS)



Umur Tanaman 60 bulan (LCKS dan TKS)

Gambar 5: Profil tanaman setelah aplikasi pupuk organik dari limbah cair dan janjang kosong setelah aplikasi dari pabrik kelapa sawit



Gambar 6 : Truk pengangkutan pupuk organik limbah cair dan janjang kosong yang telah melalui proses pengomposan