



Pencemaran Lingkungan oleh Limbah Industri Kelapa Sawit (Agroindustri)

Lucky Sanjaya Rajagukguk^{1*}, Laura Natalia Naibaho², Lilis Elita Sinaga³, Misael Artur Tarigan⁴, Muhammad Taruna Sakti Batubara⁵, Lokot Muda Harahap⁶

¹⁻⁶ Universitas Negeri Medan, Indonesia

Email: luckysanjaya234@gmail.com^{1*}, laurannaibaho@gmail.com², lilissinaga623@gmail.com³, m.tarunasaktibatubara@gmail.com⁴, misaelartur605@gmail.com⁵, lokotmudahrp@unimed.ac.id⁶

Penulis Korespondensi: luckysanjaya234@gmail.com¹

Abstract. This study aims to analyze the dynamics of waste management within the agroindustry subsystem, particularly in the palm oil industry, and its implications for sustainability and competitiveness in the agribusiness sector. The research employs a qualitative descriptive-analytical approach through a systematic literature review of recent relevant scientific publications. The data are derived from academic journals, reference books, and other scholarly sources to support a comprehensive analysis. The results indicate that environmental pollution caused by palm oil mill effluent (POME) is not solely due to technical factors but is also closely related to weaknesses in operational and managerial aspects. The imbalance between production capacity and waste treatment capacity is identified as the main cause of system overload, which reduces the effectiveness of the waste decomposition process. In addition, weak monitoring systems and the low prioritization of environmental management contribute to the suboptimal performance of waste treatment facilities. This condition increases the risk of environmental pollution, damages aquatic ecosystems, and reduces public trust in the palm oil industry. On the other hand, the utilization of waste as a renewable energy source through biogas production demonstrates significant potential in improving energy efficiency and reducing environmental impacts. Therefore, the integration of production systems, waste management, and operational control is essential in creating a sustainable agroindustry system. The study implies the importance of enhancing managerial capacity, strengthening monitoring systems, and shifting corporate perspectives on waste as a strategic resource to improve long-term competitiveness.

Keywords: Agroindustry; Palm Oil; POME; Sustainability; Waste Management.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika pengelolaan limbah dalam subsistem agroindustri, khususnya industri kelapa sawit, serta implikasinya terhadap keberlanjutan dan daya saing sektor agribisnis. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif-analitis melalui metode studi literatur sistematis terhadap berbagai publikasi ilmiah terbaru yang relevan. Data yang digunakan berasal dari jurnal ilmiah, buku referensi, serta sumber akademik lain yang mendukung analisis secara komprehensif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencemaran lingkungan akibat limbah cair kelapa sawit (POME) tidak hanya disebabkan oleh faktor teknis, tetapi juga berkaitan erat dengan kelemahan dalam aspek operasional dan manajerial. Ketidakseimbangan antara kapasitas produksi dan kapasitas pengolahan limbah menjadi penyebab utama terjadinya overload pada sistem pengolahan, yang berdampak pada menurunnya efektivitas proses penguraian limbah. Selain itu, lemahnya sistem monitoring serta rendahnya prioritas terhadap pengelolaan lingkungan menyebabkan kinerja instalasi pengolahan limbah tidak optimal. Kondisi ini berpotensi meningkatkan risiko pencemaran lingkungan, merusak ekosistem perairan, serta menurunkan kepercayaan masyarakat terhadap industri kelapa sawit. Di sisi lain, pemanfaatan limbah sebagai sumber energi melalui produksi biogas menunjukkan potensi besar dalam mendukung efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan. Oleh karena itu, integrasi antara sistem produksi, pengelolaan limbah, dan pengendalian operasional menjadi kunci utama dalam menciptakan sistem agroindustri yang berkelanjutan. Implikasi penelitian ini menekankan pentingnya peningkatan kapasitas manajerial, penguatan sistem monitoring, serta perubahan paradigma perusahaan terhadap limbah sebagai sumber daya strategis untuk meningkatkan daya saing dalam jangka panjang.

Kata kunci: Agroindustri; Keberlanjutan; Kelapa Sawit; Pengelolaan Limbah; POME.

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan sektor agribisnis modern menunjukkan pergeseran struktur ekonomi dari dominasi produksi primer menuju penguatan subsistem pengolahan (agroindustri) sebagai sumber utama penciptaan nilai. Agroindustri tidak hanya berfungsi sebagai pengolah bahan baku pertanian, tetapi juga sebagai penggerak integrasi antara sektor hulu dan hilir dalam sistem agribisnis. Struktur agribisnis kontemporer menampilkan bahwa nilai ekonomi terbesar justru dihasilkan pada tahap pengolahan, sehingga penguatan sektor ini menjadi strategi dalam meningkatkan daya saing komoditas pertanian di pasar global (Downey & Erickson, 2021; Saragih, 2021). Dalam konteks Indonesia, kelapa sawit merupakan salah satu komoditas unggulan yang memiliki kontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional, baik dari sisi ekspor maupun penyerapan tenaga kerja. Namun perkembangan pesat industri ini juga diikuti dengan meningkatnya tekanan terhadap lingkungan akibat aktivitas pengolahan yang intensif.

Salah satu permasalahan utama dalam agroindustri kelapa sawit adalah pengelolaan limbah cair yang dihasilkan selama proses produksi. Limbah cair kelapa sawit atau Palm Oil Mill Effluent (POME) memiliki kandungan bahan organik yang sangat tinggi, yang tercermin dari nilai Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) yang signifikan. Kondisi ini menjadikan POME sebagai sumber pencemaran lingkungan yang berpotensi merusak ekosistem perairan apabila tidak dikelola secara tepat (Nasution et al., 2021). Kajian empiris menunjukkan bahwa karakteristik limbah yang kompleks menuntut adanya sistem pengolahan yang stabil dan terkendali secara ketat untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan (Kamyab et al., 2020). Permasalahan ini menempatkan pengelolaan limbah sebagai isu krusial dalam manajemen agribisnis, khususnya pada subsistem pengolahan.

Meskipun berbagai teknologi pengolahan limbah telah dikembangkan, seperti sistem pencernaan anaerobik dan pemanfaatan biogas, efektivitas penerapannya di tingkat operasional masih menghadapi berbagai kendala. Ketersediaan teknologi tidak secara otomatis menjamin keberhasilan pengelolaan limbah, karena faktor operasional dan manajerial memegang peranan yang lebih dominan. Temuan empiris menunjukkan bahwa banyak instalasi limbah tidak berfungsi optimal akibat lemahnya pengendalian operasional dan kurangnya integrasi dengan sistem produksi (Liew et al., 2021). Selain itu, ketidakseimbangan antara kapasitas produksi dan kapasitas pengolahan limbah menjadi salah satu penyebab utama terjadinya kelebihan beban pada sistem pengolahan, yang pada akhirnya menurunkan kinerja instalasi dan meningkatkan risiko pencemaran lingkungan (Tan et al., 2021).

Permasalahan pengelolaan limbah juga tidak terlepas dari kerumitan proses operasional yang sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Proses biologi dalam pengolahan limbah, khususnya pada sistem anaerobik, sangat sensitif terhadap perubahan parameter seperti pH, suhu, dan beban organik. Ketidakstabilan kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan efisiensi bahkan kegagalan sistem pengolahan limbah (Chin et al., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan pengelolaan limbah tidak hanya bergantung pada aspek teknologi, tetapi juga pada kemampuan operasional manajemen dalam menjaga stabilitas proses secara konsisten.

Di sisi lain, dinamika pasar global dan meningkatnya kesadaran terhadap isu-isu yang mendorong perubahan paradigma dalam pengelolaan agroindustri. Tekanan dari konsumen, investor, dan peraturan internasional menuntut penerapan praktik produksi yang lebih ramah lingkungan sebagai bagian dari strategi peningkatan daya saing. Dampak lingkungan yang ditimbulkan dari industri kelapa sawit telah menjadi perhatian global, sehingga perusahaan dituntut untuk mengintegrasikan aspek kehidupan ke dalam seluruh proses operasionalnya (Meijaard et al., 2020; Rival & Levang, 2021). Dalam kerangka ini, pengelolaan limbah tidak lagi dipandang sebagai beban biaya semata, namun sebagai bagian integral dari strategi bisnis yang berorientasi jangka panjang.

Berdasarkan uraian di atas, dapat dipahami bahwa permasalahan pencemaran lingkungan akibat limbah industri kelapa sawit tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga mencerminkan lemahnya integrasi antara aspek produksi, pengolahan, dan operasional manajemen dalam sistem agribisnis. Kompleksitas permasalahan ini menuntut pendekatan yang komprehensif dan terintegrasi, yang tidak hanya fokus pada penerapan teknologi, tetapi juga pada penguatan kapasitas manajerial dan operasional. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam dinamika pengelolaan limbah dalam agroindustri kelapa sawit serta dampaknya terhadap keberlangsungan dan daya saing sektor agribisnis.

2. KAJIAN TEORITIS

Subsistem Pengolahan (Agroindustri) dalam Sistem Agribisnis

Subsistem pengolahan atau agroindustri merupakan bagian strategis dalam sistem agribisnis yang berfungsi mengubah produk primer menjadi produk bernilai tambah melalui proses pengolahan, pengawetan, dan pengemasan. Peran agroindustri tidak hanya terbatas pada transformasi fisik produk, tetapi juga mencakup peningkatan kualitas, daya simpan, serta nilai ekonomi komoditas pertanian sehingga mampu bersaing di pasar domestik maupun global.

Struktur agribisnis modern menunjukkan bahwa kontribusi nilai tambah terbesar seringkali berada pada tahap pengolahan dibandingkan produksi primer (Downey & Erickson, 2021).

Dalam konteks pembangunan agribisnis, agroindustri berfungsi sebagai penggerak utama yang menghubungkan sektor hulu dan hilir. Keterkaitan ini menciptakan permintaan terhadap bahan baku sekaligus mendorong efisiensi distribusi produk olahan ke pasar. Penguatan subsistem pengolahan menjadi penting karena mampu meningkatkan pendapatan pelaku usaha serta memperluas kesempatan kerja di sektor non-pertanian (Saragih, 2021). Dengan demikian, keberadaan agroindustri tidak hanya berdampak pada peningkatan nilai tambah, tetapi juga pada stabilitas sistem agribisnis secara keseluruhan.

Selain itu, perkembangan agroindustri modern ditandai dengan integrasi teknologi dan manajemen yang semakin kompleks. Penerapan teknologi pengolahan yang tepat memungkinkan peningkatan efisiensi produksi serta konsistensi kualitas produk. Hal ini menjadi faktor penting dalam menghadapi persaingan pasar yang semakin ketat, khususnya pada komoditas strategis seperti kelapa sawit yang memiliki rantai nilai global (Yusuf & Hadi, 2022).

Pengelolaan Limbah dalam Agroindustri

Kegiatan agroindustri menghasilkan limbah dalam jumlah besar yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan jika tidak dikelola secara tepat. Limbah cair industri kelapa sawit, yang dikenal sebagai Palm Oil Mill Effluent (POME), memiliki kandungan bahan organik tinggi sehingga memerlukan sistem pengolahan yang efektif dan berkelanjutan. Tingginya nilai Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) menunjukkan bahwa limbah tersebut memiliki potensi pencemaran yang signifikan terhadap lingkungan perairan (Nasution et al., 2021).

Pengelolaan limbah dalam agroindustri tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis, tetapi juga mencerminkan tanggung jawab lingkungan perusahaan. Pendekatan pengelolaan limbah modern menekankan prinsip pengurangan, pemanfaatan kembali, dan daur ulang (reduce, reuse, recycle) sebagai bagian dari konsep produksi bersih. Implementasi prinsip tersebut memungkinkan perusahaan mengurangi beban pencemaran sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya (Hasibuan, 2021).

Selain itu, pengelolaan limbah yang efektif memerlukan integrasi antara sistem produksi dan sistem pengolahan limbah. Ketidaksiharian antara kapasitas produksi dan kapasitas pengolahan limbah dapat menyebabkan overload pada instalasi pengolahan, sehingga menurunkan kinerja sistem dan meningkatkan risiko pencemaran lingkungan. Kondisi ini

menunjukkan bahwa pengelolaan limbah harus direncanakan secara komprehensif dalam kerangka manajemen operasional agroindustri (Pahan, 2021).

Teknologi Pengolahan Limbah dan Pemanfaatan Energi

Perkembangan teknologi pengolahan limbah agroindustri menunjukkan adanya pergeseran dari pendekatan konvensional menuju pendekatan berbasis pemanfaatan sumber daya. Salah satu teknologi yang banyak diterapkan pada limbah kelapa sawit adalah anaerobic digestion yang mampu menguraikan bahan organik sekaligus menghasilkan biogas sebagai sumber energi terbarukan. Teknologi ini memberikan keuntungan ganda berupa pengurangan pencemaran dan peningkatan efisiensi energi (Zhang et al., 2022).

Meskipun demikian, keberhasilan penerapan teknologi sangat bergantung pada stabilitas kondisi operasional. Proses biologis dalam sistem anaerobik sangat sensitif terhadap perubahan pH, suhu, dan beban organik, sehingga memerlukan pengendalian yang ketat. Ketidaksiharian kondisi operasional dapat menyebabkan penurunan efisiensi bahkan kegagalan sistem pengolahan limbah (Kurniawan et al., 2021).

Pemanfaatan limbah sebagai sumber energi juga menjadi bagian dari strategi circular economy dalam agribisnis. Pendekatan ini menekankan bahwa limbah tidak lagi dipandang sebagai output yang tidak bernilai, tetapi sebagai input potensial untuk proses produksi lainnya. Implementasi konsep ini dapat meningkatkan keberlanjutan agroindustri sekaligus memberikan nilai ekonomi tambahan bagi perusahaan (Geissdoerfer et al., 2022).

Manajemen Operasional dalam Agroindustri

Manajemen operasional dalam agroindustri mencakup perencanaan, pengendalian, dan evaluasi proses produksi agar berjalan secara efisien dan efektif. Dalam konteks pengolahan limbah, manajemen operasional berperan penting dalam memastikan bahwa sistem pengolahan berjalan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Kegagalan dalam pengelolaan operasional seringkali menjadi penyebab utama tidak optimalnya kinerja instalasi pengolahan limbah (Heizer et al., 2021).

Perencanaan kapasitas menjadi salah satu aspek krusial dalam manajemen operasional agroindustri. Kapasitas produksi yang tidak diimbangi dengan kapasitas pengolahan limbah akan menyebabkan ketidakseimbangan sistem yang berdampak pada lingkungan dan efisiensi operasional. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan perencanaan yang terintegrasi antara produksi dan pengelolaan limbah (Stevenson, 2021).

Selain itu, sistem monitoring dan evaluasi menjadi faktor penting dalam menjaga stabilitas proses pengolahan. Penggunaan teknologi sensor dan sistem kontrol berbasis digital dapat membantu meningkatkan akurasi pengawasan serta mempercepat respons terhadap

perubahan kondisi operasional. Peningkatan kompetensi sumber daya manusia juga menjadi faktor pendukung dalam memastikan keberhasilan implementasi sistem manajemen operasional (Render & Munson, 2022).

Keberlanjutan dan Daya Saing Agroindustri

Isu keberlanjutan menjadi perhatian utama dalam pengembangan agroindustri modern, terutama terkait dengan dampak lingkungan dan tuntutan pasar global. Praktik produksi yang tidak ramah lingkungan dapat menurunkan daya saing produk di pasar internasional, khususnya pada komoditas seperti kelapa sawit yang mendapat sorotan tinggi dari berbagai pihak. Integrasi aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan menjadi kunci dalam mencapai keberlanjutan agribisnis (Elkington, 2021).

Tekanan dari konsumen dan regulasi mendorong perusahaan untuk menerapkan praktik pengelolaan limbah yang lebih baik. Sertifikasi keberlanjutan seperti RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil) menjadi salah satu indikator bahwa perusahaan telah memenuhi standar lingkungan dan sosial yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa keberlanjutan tidak hanya menjadi kewajiban, tetapi juga strategi untuk meningkatkan daya saing di pasar global (Rival & Levang, 2021).

Dengan demikian, penguatan subsistem pengolahan melalui penerapan teknologi, manajemen operasional yang baik, serta pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan menjadi faktor kunci dalam meningkatkan kinerja agroindustri. Pendekatan ini memungkinkan terciptanya sistem agribisnis yang efisien, berdaya saing, dan berkelanjutan dalam jangka panjang.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan orientasi deskriptif-analitis untuk memahami dinamika aktual dalam manajemen agribisnis, khususnya pada subsistem pengolahan (agroindustri). Pendekatan kualitatif dipilih karena mampu menangkap fenomena kontekstual secara mendalam, terutama dalam mengkaji keterkaitan antara praktik lapangan dan kerangka konseptual yang berkembang dalam literatur ilmiah (Sugiyono, 2022). Data yang digunakan bersumber dari dua jenis, yaitu data sekunder berupa hasil penelitian terdahulu yang diperoleh melalui jurnal ilmiah terindeks dan buku teks agribisnis, serta data kontekstual berupa informasi kasus aktual yang berkembang dan tersedia melalui sumber daring yang kredibel. Proses pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur sistematis dengan menelusuri publikasi ilmiah lima tahun terakhir pada platform akademik seperti Google Scholar guna memastikan relevansi dan kebaruan kajian (Arikunto, 2021).

Analisis data dilakukan secara kualitatif melalui teknik analisis isi (content analysis), dengan cara mengidentifikasi pola, tema, dan hubungan antarvariabel yang muncul dalam berbagai sumber yang dikaji. Tahapan analisis meliputi reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan secara induktif sehingga menghasilkan sintesis konseptual yang komprehensif terkait permasalahan yang diteliti (Miles et al., 2021). Validitas data dijaga melalui triangulasi sumber dengan membandingkan berbagai hasil penelitian yang relevan serta kesesuaian antara fenomena empiris dan kerangka teoritis agribisnis. Pendekatan ini memungkinkan pembahasan yang tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga analitis dalam mengkaji implikasi manajerial pada sektor agroindustri yang sedang berkembang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pencemaran limbah cair kelapa sawit di Indonesia bukan sekadar isu konseptual, tetapi telah terjadi secara nyata di berbagai wilayah sentra produksi seperti Riau dan Sumatera Utara. Penurunan kualitas air sungai di sekitar kawasan pabrik menjadi indikator utama adanya permasalahan dalam pengelolaan limbah. Kondisi ini muncul karena karakteristik Palm Oil Mill Effluent yang memiliki kandungan bahan organik sangat tinggi, sehingga membutuhkan proses pengolahan yang stabil dan terkontrol. Liew W. L. (2021) menjelaskan bahwa tingginya nilai COD dan BOD pada limbah sawit menyebabkan proses pengolahan sangat sensitif terhadap gangguan operasional.

Masalah semakin terlihat ketika terjadi peningkatan kapasitas produksi tanpa diikuti penyesuaian pada instalasi pengolahan limbah. Volume limbah meningkat secara signifikan, sementara kapasitas sistem tetap. Akibatnya, sistem pengolahan bekerja melebihi batas optimal. Tan I. A. W. (2021) menegaskan bahwa kondisi overload ini menyebabkan waktu retensi limbah menjadi lebih singkat, sehingga proses penguraian bahan organik tidak berlangsung secara maksimal dan kualitas limbah yang dibuang menurun.

Di sisi operasional, proses pengolahan limbah sangat bergantung pada kestabilan kondisi biologis, khususnya pada sistem anaerobik. Perubahan kecil pada pH, suhu, dan beban organik dapat mengganggu proses degradasi. Chin M. J. (2021) menjelaskan bahwa tanpa sistem monitoring yang memadai, proses ini mudah mengalami ketidakseimbangan yang berdampak langsung pada efektivitas pengolahan.

Selain faktor teknis, faktor ekonomi dan kelembagaan turut memperkuat permasalahan. Banyak perusahaan masih menempatkan pengelolaan limbah sebagai beban biaya. Dalam kondisi tersebut, investasi pada pengolahan limbah tidak menjadi prioritas. Meijaard E. (2020)

menunjukkan bahwa tekanan pasar dan regulasi menjadi faktor penting dalam mendorong perusahaan untuk meningkatkan praktik keberlanjutan.

Pembahasan

Permasalahan limbah kelapa sawit tidak berdiri sendiri, tetapi merupakan hasil dari interaksi antara sistem produksi, pengelolaan operasional, dan kebijakan perusahaan. Ketika produksi meningkat, sistem pengolahan limbah seharusnya ikut disesuaikan. Namun dalam praktiknya, hal ini sering diabaikan. Akibatnya, terjadi ketidakseimbangan yang berdampak langsung pada kualitas limbah.

Kondisi ini terlihat jelas pada beberapa kasus di wilayah Riau, di mana aktivitas pabrik kelapa sawit yang tinggi berkorelasi dengan penurunan kualitas air sungai di sekitarnya. Pola yang sama juga ditemukan di Sumatera Utara, terutama di kawasan dengan konsentrasi industri sawit yang tinggi. Fenomena ini menunjukkan bahwa pencemaran bukan terjadi secara acak, tetapi mengikuti pola operasional industri.

Jika dikaitkan dengan praktik perusahaan, kondisi ini relevan dengan beberapa unit usaha besar, termasuk di bawah PT Perkebunan Nusantara, di mana tekanan terhadap target produksi sering kali lebih dominan dibandingkan pengelolaan lingkungan. Dalam situasi seperti ini, instalasi pengolahan limbah diposisikan sebagai unit pendukung, bukan sebagai bagian inti dari sistem produksi.

Dari sisi operasional, lemahnya monitoring menjadi faktor utama yang menyebabkan sistem tidak berjalan optimal. Proses anaerobik membutuhkan kondisi yang stabil, sehingga tanpa pengawasan yang ketat, sistem akan mudah mengalami gangguan. Hal ini menjelaskan mengapa pencemaran tetap terjadi meskipun teknologi sudah tersedia.

Dari sisi ekonomi, pendekatan yang berfokus pada efisiensi biaya jangka pendek justru memperbesar risiko jangka panjang. Ketika perusahaan mengurangi biaya pengolahan limbah, dampaknya adalah peningkatan risiko pencemaran dan potensi konflik dengan masyarakat sekitar.

Dari sisi kelembagaan, lemahnya pengawasan dan penegakan hukum memperparah kondisi. Tanpa sanksi yang tegas, perusahaan tidak memiliki dorongan kuat untuk memperbaiki sistem pengelolaan limbah. Akibatnya, permasalahan yang sama terus berulang di berbagai wilayah.

Solusi

Permasalahan yang terjadi membutuhkan pendekatan yang langsung menasar akar masalah, bukan solusi umum. Langkah pertama adalah memastikan keseimbangan antara kapasitas produksi dan kapasitas pengolahan limbah. Perusahaan harus melakukan audit

kapasitas secara rutin. Jika volume limbah melebihi kapasitas, maka pilihan yang harus diambil jelas, yaitu meningkatkan fasilitas pengolahan atau menyesuaikan tingkat produksi. Pendekatan ini sesuai dengan penjelasan Tan I. A. W. (2021).

Langkah kedua adalah memperkuat sistem monitoring operasional. Penggunaan teknologi sensor real time akan membantu menjaga stabilitas proses pengolahan. Jika keterbatasan biaya menjadi kendala, maka peningkatan kompetensi operator menjadi langkah yang wajib dilakukan. Langkah ketiga adalah memanfaatkan limbah sebagai sumber energi melalui produksi biogas. Pendekatan ini memberikan dua manfaat sekaligus, yaitu mengurangi pencemaran dan meningkatkan efisiensi energi. Hal ini sejalan dengan temuan Chin M. J. (2021). Langkah keempat adalah meningkatkan transparansi dan pengawasan. Data kualitas limbah harus dilaporkan secara berkala dan terbuka. Dengan adanya transparansi, kontrol tidak hanya berasal dari pemerintah, tetapi juga dari masyarakat. Langkah kelima adalah mengubah cara pandang perusahaan terhadap limbah. Limbah tidak lagi dianggap sebagai beban biaya, tetapi sebagai bagian dari sistem produksi yang dapat memberikan nilai tambah jika dikelola dengan baik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pencemaran lingkungan akibat limbah industri kelapa sawit tidak hanya disebabkan oleh faktor teknis, tetapi juga dipengaruhi secara signifikan oleh kelemahan dalam aspek operasional dan manajerial. Ketidakseimbangan antara kapasitas produksi dan kapasitas pengolahan limbah menjadi penyebab utama terjadinya overload pada sistem pengolahan, yang berdampak pada menurunnya efektivitas pengolahan limbah dan meningkatnya risiko pencemaran lingkungan. Selain itu, lemahnya sistem monitoring serta rendahnya prioritas terhadap pengelolaan lingkungan turut memperburuk kinerja instalasi pengolahan limbah. Di sisi lain, pemanfaatan limbah sebagai sumber energi melalui biogas menunjukkan bahwa limbah memiliki potensi sebagai sumber daya strategis yang dapat mendukung keberlanjutan dan efisiensi industri.

Oleh karena itu, disarankan agar perusahaan meningkatkan integrasi antara sistem produksi dan pengelolaan limbah melalui perencanaan kapasitas yang seimbang. Penguatan sistem monitoring berbasis teknologi serta peningkatan kompetensi sumber daya manusia juga menjadi langkah penting dalam menjaga stabilitas proses pengolahan. Selain itu, diperlukan perubahan paradigma perusahaan dalam memandang limbah sebagai bagian dari sistem produksi yang memiliki nilai ekonomi. Pemerintah juga diharapkan memperkuat pengawasan dan penegakan regulasi. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji secara empiris

implementasi teknologi pengolahan limbah di tingkat industri guna memperoleh gambaran yang lebih komprehensif..

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, S. (2021). *Prosedur penelitian: Suatu pendekatan praktik*. Rineka Cipta.
- Chin, M. J., et al. (2021). Produksi biogas dari limbah pabrik minyak sawit. *Energi Terbarukan*.
- Downey, W. D., & Erickson, S. P. (2021). *Manajemen agribisnis*. McGraw-Hill.
- Elkington, J. (2021). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2022). The circular economy: A new sustainability paradigm. *Journal of Cleaner Production*.
- Hasibuan, S. (2021). Pengelolaan limbah industri berbasis produksi bersih. *Jurnal Teknologi Lingkungan*.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2021). *Operations management: Sustainability and supply chain management*. Pearson.
- Kamyab, H., et al. (2020). Limbah pabrik minyak sawit sebagai polutan lingkungan: Sebuah tinjauan. *Jurnal Manajemen Lingkungan*.
- Kurniawan, T. A., et al. (2021). Biological treatment of palm oil mill effluent. *Environmental Technology & Innovation*.
- Liew, W. L., et al. (2021). Status terkini dan prospek masa depan pengolahan limbah pabrik minyak sawit. *Jurnal Produksi Bersih*.
- Meijaard, E., et al. (2020). Oil palm and biodiversity. *Environmental Research Letters*.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2021). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (4th ed.). Sage Publications.
- Nasution, Z., et al. (2021). Karakteristik limbah cair kelapa sawit dan pengolahannya. *Jurnal Teknik Lingkungan Indonesia*.
- Pahan, I. (2021). *Panduan lengkap kelapa sawit: Manajemen agribisnis dari hulu hingga hilir*. Penebar Swadaya.
- Rival, A., & Levang, P. (2021). Kontroversi minyak sawit dan tantangan keberlanjutan. *Pembangunan Dunia*.
- Saragih, B. (2021). *Agribisnis: Paradigma baru pembangunan ekonomi berbasis pertanian*. Pers IPB.
- Stevenson, W. J. (2021). *Operations management*. McGraw-Hill.
- Sugiyono. (2022). *Metode penelitian kualitatif, kuantitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Suryana, A., & Mardianto, S. (2021). Transformasi agribisnis dan penguatan agroindustri di Indonesia. *Jurnal Agro Ekonomi*, 39(2), 123-135.
- Tan, I. A. W., et al. (2021). Perkembangan terkini dalam pengolahan limbah pabrik minyak sawit. *Jurnal Teknik Proses Air*.

- Yusuf, M., & Hadi, S. (2022). Peran agroindustri dalam peningkatan nilai tambah komoditas pertanian. *Jurnal Agribisnis Indonesia*.
- Yusuf, M., & Trimio, L. (2023). Strategi pengembangan agroindustri berbasis nilai tambah di sektor pertanian. *Jurnal Manajemen Agribisnis Indonesia*, 11(1), 45-58.
- Zhang, Y., et al. (2022). Anaerobic digestion of agro-industrial waste for biogas production. *Renewable Energy*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91570-4_6