

Bioethical study on the utilization of empty fruit bunch waste in the palm oil industry (*elaeis guineensis*) from an environmental, social and economic perspective

Affrina Firdayani¹, Frisky Septiani Simanjuntak², Putri Lestari Simbolon³,
Mhd Yusuf Nasution⁴, Nurbaity Situmorang⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Negeri Medan, Indonesia

Email: affrinafirdayani22@gmail.com; monangfrisky27@gmail.com; putrilestarisimbolon14@gmail.com;
yusufnasution1963@gmail.com; nurbaitysitumorang@unimed.ac.id

ABSTRAK

Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu residu biomassa padat utama dalam industri kelapa sawit dengan jumlah mencapai sekitar 20–25% dari total bahan baku yang diolah. Pengelolaan limbah ini menjadi isu strategis dalam mendukung keberlanjutan industri, terutama ditinjau dari aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dilema bioetik dalam pemanfaatan TKKS melalui pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode observasi lapangan dan studi literatur. Analisis dilakukan dengan mengelompokkan temuan berdasarkan perspektif lingkungan, sosial, dan ekonomi, serta ditafsirkan menggunakan prinsip bioetika seperti tanggung jawab, keadilan, dan keberlanjutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TKKS memiliki potensi signifikan sebagai sumber daya bernilai tambah, seperti pupuk organik, bioenergi, biomaterial, dan produk industri berbasis lignoselulosa. Pemanfaatan ini memberikan manfaat dalam pengurangan limbah, pemberdayaan masyarakat, serta peningkatan nilai ekonomi. Namun demikian, dilema bioetik muncul akibat ketidakseimbangan antara kepentingan ekonomi industri dengan perlindungan lingkungan dan kesejahteraan masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan TKKS yang berkelanjutan melalui integrasi aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi berbasis prinsip bioetika guna mencapai pembangunan industri yang etis dan berkelanjutan.

Kata Kunci: tandan kosong kelapa sawit; bioetika; limbah biomassa; keberlanjutan; industri kelapa sawit

ABSTRACT

Oil palm empty fruit bunches (OPEFB) are one of the main solid biomass residues in the palm oil industry, accounting for approximately 20–25% of the total processed raw materials. Management of this waste is a strategic issue in supporting industrial sustainability, particularly from an environmental, social, and economic perspective. This study aims to analyze the bioethical dilemma in the utilization of OPEFB through a descriptive qualitative approach using field observation and literature review methods. The analysis was conducted by grouping findings based on environmental, social, and economic perspectives, and interpreted using bioethical principles such as responsibility, justice, and sustainability. The results indicate that OPEFB has significant potential as a value-added resource, such as organic fertilizer, bioenergy, biomaterials, and lignocellulose-based industrial products. This utilization provides benefits in waste reduction, community empowerment, and increased economic value. However, the bioethical dilemma arises from the imbalance between the industry's economic interests and environmental protection and community welfare. Therefore, sustainable OPEFB management is needed through the integration of environmental, social, and economic aspects based on bioethical principles to achieve ethical and sustainable industrial development.

Keyword: empty oil palm bunches; bioethics; biomass waste; sustainability; palm oil industry

Corresponding Author:

Affrina Firdayani,
Universitas Negeri Medan,
Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan,
Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221, Indonesia
Email: affrinafirdayani22@gmail.com



1. INTRODUCTION

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor agroindustri terbesar di dunia yang menghasilkan produk minyak nabati utama serta berbagai limbah biomassa dalam jumlah besar. Salah satu limbah utama yang dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar (TBS) adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS), yang volumenya dapat mencapai sekitar 20–25% dari total berat TBS yang diolah. Pemanfaatan limbah tandan kosong telah berkembang dalam berbagai bentuk, seperti bahan baku kompos, *bioenergy*, media tanam, *pulp and paper*, serta bahan baku *biocomposite*. Namun, di balik potensi pemanfaatan tersebut, terdapat berbagai dilema bioetik yang berkaitan dengan dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi yang perlu dikaji secara mendalam. Limbah organik dari kelapa sawit ini dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, menurunnya kualitas lingkungan, serta menurunnya estetika atau nilai keindahan lingkungan, seperti pembuangan limbah tandan kosong di lahan terbuka bahkan hingga sepanjang jalan.

Dari perspektif lingkungan, pemanfaatan tandan kosong sering dipandang sebagai solusi untuk mengurangi beban limbah industri dan mendukung prinsip *circular economy*. Pengolahan tandan kosong menjadi energi terbarukan atau produk bernilai tambah dapat mengurangi emisi gas rumah kaca serta menekan kebutuhan terhadap sumber daya alam baru. Namun, di sisi lain, praktik pengelolaan yang tidak berkelanjutan, seperti *open burning* atau aplikasi lahan yang tidak terkendali, dapat menyebabkan degradasi tanah, pencemaran udara, dan gangguan ekosistem. Hal ini menimbulkan pertanyaan etis mengenai tanggung jawab industri dalam memastikan bahwa pemanfaatan limbah benar-benar memberikan manfaat lingkungan tanpa menciptakan dampak negatif baru.

Dari perspektif sosial, pemanfaatan tandan kosong juga berkaitan dengan aspek keadilan sosial dan kesejahteraan masyarakat di sekitar perkebunan dan pabrik kelapa sawit. Limbah biomassa tandan kosong dapat menciptakan peluang ekonomi baru, seperti usaha pengolahan biomassa, *village energy*, dan *land-based creative industry*, namun juga menimbulkan risiko kesehatan masyarakat akibat pengelolaan limbah yang tidak optimal. Kondisi ini memunculkan dilema etis terkait hak masyarakat lokal, transparansi industri, serta partisipasi publik dalam pengambilan keputusan. Bioetika dalam konteks sosial menuntut adanya pendekatan yang adil, inklusif, dan berbasis pada prinsip keberlanjutan sosial.

Dari perspektif ekonomi, tandan kosong memiliki potensi nilai ekonomi yang signifikan sebagai sumber energi biomassa dan bahan baku industri. Pemanfaatan limbah ini dapat meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi biaya pengelolaan limbah, serta menciptakan rantai nilai baru dalam ekonomi bioindustri. Namun, orientasi ekonomi yang terlalu berfokus pada *profit* dapat mengabaikan pertimbangan etika lingkungan dan sosial, seperti eksploitasi sumber daya, marginalisasi masyarakat lokal, serta praktik industri yang tidak berkelanjutan. Oleh karena itu, dilema bioetik muncul dalam upaya menyeimbangkan kepentingan ekonomi dengan tanggung jawab moral terhadap lingkungan dan masyarakat.

Limbah organik dari kelapa sawit ini juga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, penurunan kualitas lingkungan, serta gangguan estetika apabila tidak dikelola dengan baik. TKKS sebenarnya memiliki potensi sebagai sumber daya biomassa yang dapat dimanfaatkan kembali, seperti bahan baku kompos, briket, *bioenergy*, atau produk turunan lainnya (Hariadi & Puriyanto, 2021). Pemanfaatan ini tidak hanya berkontribusi pada pengurangan beban limbah, tetapi juga membuka peluang ekonomi baru bagi masyarakat sekitar industri. Namun demikian, pemanfaatan limbah TKKS tidak terlepas dari dilema bioetik. Dalam perspektif lingkungan, pengolahan yang tidak memenuhi standar dapat menimbulkan residu atau emisi yang merugikan ekosistem. Dalam perspektif sosial, distribusi manfaat ekonomi sering kali belum merata, sementara masyarakat sekitar masih menghadapi dampak pencemaran. Dari sisi ekonomi, industri dituntut untuk menekan biaya produksi, sehingga pengelolaan limbah kerap dipandang sebagai beban tambahan, bukan sebagai investasi berkelanjutan (Taib et al., 2024).

Dilema bioetik muncul ketika kepentingan ekonomi, keberlanjutan lingkungan, dan kesejahteraan sosial tidak berjalan seimbang. Prinsip tanggung jawab, keadilan, dan keberlanjutan menjadi landasan penting dalam menilai bagaimana limbah TKKS seharusnya dikelola. Pendekatan yang hanya berorientasi pada keuntungan ekonomi berisiko mengabaikan dampak ekologis dan sosial, sedangkan pendekatan yang terlalu normatif tanpa mempertimbangkan aspek ekonomi dapat sulit diterapkan secara praktis oleh pelaku industri. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa TKKS memiliki potensi besar sebagai sumber bahan organik dan biomassa yang dapat dimanfaatkan kembali, antara lain sebagai kompos, amelioran tanah, maupun bahan baku energi alternatif. Penelitian (Hayat & Andayani, 2014) menunjukkan bahwa pengolahan TKKS menjadi kompos mampu memperbaiki sifat kimia tanah, khususnya dalam meningkatkan pH serta ketersediaan unsur hara pada tanah sulfat masam. Kandungan unsur hara seperti nitrogen, kalium, kalsium, dan magnesium dalam kompos TKKS berkontribusi terhadap peningkatan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman. Temuan ini menunjukkan bahwa limbah sawit tidak selalu menjadi beban ekologis, melainkan dapat menjadi sumber daya apabila dikelola secara tepat.

Berdasarkan uraian tersebut, kajian mengenai dilema bioetik dalam pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi sangat penting untuk mengembangkan pendekatan yang berkelanjutan, adil, dan bertanggung jawab. Pendekatan multidisipliner yang mengintegrasikan perspektif lingkungan, sosial, dan ekonomi diperlukan untuk merumuskan kebijakan dan strategi pemanfaatan limbah yang tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga etis secara moral dan sosial. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dilema bioetik dalam pemanfaatan tandan kosong serta memberikan rekomendasi kebijakan yang mendukung pembangunan industri kelapa sawit yang berkelanjutan (Priyanti et al., 2025).

2. RESEARCH METHOD

Penelitian ini menerapkan pendekatan kualitatif deskriptif dengan memadukan analisis langsung di lapangan dan kajian literatur. Pendekatan tersebut digunakan untuk mengkaji secara komprehensif dilema bioetik dalam pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) berdasarkan perspektif lingkungan, sosial, dan ekonomi. Analisis lapangan dilakukan melalui observasi terhadap praktik pengelolaan serta pemanfaatan TKKS di lingkungan industri kelapa sawit. Observasi difokuskan pada proses pengolahan limbah, bentuk pemanfaatannya sebagai biomassa, serta dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan dan masyarakat sekitar.

Data hasil pengamatan kemudian didokumentasikan dan dianalisis untuk mengidentifikasi permasalahan serta potensi konflik etis yang muncul dalam praktik tersebut. Selain observasi lapangan, penelitian ini juga didukung oleh studi literatur yang bersumber dari jurnal ilmiah, buku, dan publikasi akademik yang relevan dengan topik pengelolaan limbah kelapa sawit, *circular economy*, dan prinsip bioetika. Kajian pustaka ini berfungsi sebagai landasan teoritis sekaligus pembanding terhadap temuan di lapangan.

Proses analisis data dilakukan melalui tahap pengelompokan dan pengkategorian berdasarkan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi, yang selanjutnya ditafsirkan menggunakan prinsip bioetika, seperti tanggung jawab, keadilan, dan keberlanjutan. Hasil akhir penelitian dirumuskan dalam bentuk kesimpulan serta rekomendasi yang mendukung pengelolaan TKKS secara berkelanjutan dan berlandaskan etika.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini mencakup karakteristik dan potensi pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS), dampak lingkungan yang ditimbulkan, implikasi sosial dan ekonomi bagi masyarakat, serta analisis dilema bioetik dalam pengelolaan limbah kelapa sawit secara berkelanjutan.

A. Karakteristik dan Kandungan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah biomassa padat yang dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar (TBS) di pabrik kelapa sawit. Dalam proses produksi minyak kelapa sawit, sekitar 20–23% dari total bahan baku akan menjadi limbah tandan kosong, sehingga jumlah limbah yang dihasilkan relatif besar dan memerlukan pengelolaan yang tepat agar tidak menimbulkan permasalahan lingkungan (Hidayat et al., 2022). TKKS dihasilkan dari proses pemisahan buah sawit dengan tandannya di stasiun penebah (*thresher*) pada pabrik kelapa sawit.

Secara fisik, TKKS berwarna coklat dengan struktur berserat dan tekstur kasar. Serat tersebut tersusun dari komponen lignoselulosa yang meliputi selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kandungan lignoselulosa ini menjadikan TKKS memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai produk biomassa padat, seperti biomaterial dan *bioenergy* (Brahmana et al., 2021). Selain itu, kekuatan serat TKKS memungkinkan pemanfaatannya sebagai bahan baku industri, seperti papan partikel, *pulp*, dan *biocomposite*.

Secara kimiawi, TKKS juga mengandung unsur hara penting, seperti nitrogen, fosfor, kalium, dan magnesium, yang bermanfaat untuk meningkatkan kesuburan tanah. Kandungan ini menjadikan TKKS potensial sebagai bahan baku pupuk organik atau kompos yang dapat meningkatkan kualitas tanah di lahan perkebunan (Emilia et al., 2024). Pemanfaatan TKKS sebagai pupuk organik juga mampu memperbaiki struktur tanah serta meningkatkan kemampuan tanah dalam menyimpan air dan unsur hara. Oleh karena itu, TKKS tidak hanya dipandang sebagai limbah industri, tetapi juga sebagai sumber daya biomassa yang memiliki nilai guna bagi sektor perkebunan dan industri.

B. Potensi Pemanfaatan TKKS dalam Industri dan Pertanian Berkelanjutan

Perkembangan pemanfaatan TKKS di berbagai sektor menunjukkan meningkatnya kesadaran terhadap pentingnya pengelolaan limbah secara berkelanjutan. Dalam sektor pertanian, TKKS dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik yang mampu meningkatkan kandungan bahan organik tanah serta memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Emilia et al., 2024). Penggunaan TKKS sebagai kompos juga dapat mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia dalam jangka panjang yang berpotensi menyebabkan degradasi tanah.

Selain itu, TKKS dapat dimanfaatkan sebagai media tanam dalam budidaya jamur, seperti jamur tiram dan jamur merang. Kandungan serat pada TKKS mendukung pertumbuhan miselium jamur sehingga menjadi

alternatif media tanam yang efektif (Damris et al., 2020). Pemanfaatan ini tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga membuka peluang usaha bagi masyarakat di sekitar perkebunan kelapa sawit.

Dalam sektor industri, TKKS juga berpotensi sebagai sumber energi terbarukan. Limbah ini dapat diolah menjadi bahan bakar alternatif, seperti briket biomassa atau sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) (Erivanto et al., 2022). Selain itu, TKKS dapat diproses melalui karbonisasi untuk menghasilkan karbon aktif yang digunakan dalam berbagai industri, seperti industri tinta dan bahan penyerap (Gunawan et al., 2024).

Pemanfaatan TKKS sebagai sumber biomassa menunjukkan potensi besar dalam mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Hal ini sejalan dengan upaya pemerintah dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta mengembangkan energi yang lebih ramah lingkungan (Febriyanti et al., 2019).

C. Dampak Lingkungan dari Pengelolaan dan Pemanfaatan TKKS

Pengelolaan limbah TKKS memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan. Apabila limbah tidak dikelola dengan baik, penumpukan TKKS di sekitar pabrik kelapa sawit dapat menyebabkan pencemaran lingkungan serta menimbulkan bau tidak sedap akibat proses dekomposisi bahan organik (Hidayat et al., 2022). Proses dekomposisi tersebut juga dapat menghasilkan gas metana yang berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca.

Sebaliknya, pengelolaan TKKS secara optimal dapat memberikan manfaat lingkungan. TKKS dapat diolah menjadi kompos yang mampu mengurangi limbah organik serta meningkatkan kesuburan tanah di lahan perkebunan (Emilia et al., 2024). Selain itu, pemanfaatan TKKS sebagai sumber *bioenergy* dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang menjadi salah satu penyebab utama emisi gas rumah kaca.

Penggunaan teknologi biomassa, seperti pirolisis, memungkinkan TKKS diolah menjadi produk bernilai tambah, seperti *bio-oil*, *biochar*, dan gas. Produk-produk tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif sekaligus mengurangi dampak pencemaran lingkungan (Febriyanti et al., 2019). Dengan demikian, pengelolaan TKKS yang tepat tidak hanya berkontribusi pada pengurangan limbah, tetapi juga mendukung upaya mitigasi perubahan iklim serta pembangunan berkelanjutan.

D. Implikasi Sosial Pemanfaatan Limbah TKKS bagi Masyarakat Sekitar Industri

Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah padat utama yang dihasilkan dalam proses pengolahan tandan buah segar di pabrik kelapa sawit. Jumlah limbah TKKS yang relatif besar menjadikan pengelolannya sebagai isu penting dalam pengembangan industri kelapa sawit yang berkelanjutan. Apabila tidak dikelola dengan baik, penumpukan TKKS dapat menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, seperti pencemaran tanah serta gangguan terhadap estetika lingkungan di sekitar kawasan industri. Pemanfaatan TKKS melalui berbagai teknologi pengolahan, seperti pengomposan, produksi *biochar*, maupun sebagai bahan bakar biomassa, menjadi salah satu solusi untuk mengurangi dampak negatif limbah industri. Selain memberikan manfaat lingkungan, pemanfaatan TKKS juga memberikan dampak sosial yang positif bagi masyarakat di sekitar kawasan industri kelapa sawit (Hidayat et al., 2022).

Keterlibatan masyarakat dalam kegiatan pemanfaatan limbah TKKS dapat membuka peluang ekonomi serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat lokal. Pengolahan TKKS menjadi kompos organik, briket biomassa, maupun produk turunan lainnya dapat dilakukan melalui skala usaha kecil dan menengah yang melibatkan tenaga kerja dari masyarakat sekitar. Selain itu, pemanfaatan TKKS sebagai pupuk organik juga dapat digunakan oleh petani lokal untuk meningkatkan kesuburan tanah serta produktivitas lahan pertanian. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan limbah industri kelapa sawit tidak hanya berorientasi pada pengurangan dampak lingkungan, tetapi juga dapat menjadi sarana pemberdayaan masyarakat. Dengan demikian, pemanfaatan TKKS dapat memperkuat hubungan antara industri kelapa sawit dan masyarakat melalui penerapan konsep tanggung jawab sosial industri (*corporate social responsibility*) serta pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan (Setiawan et al., 2022).

E. Nilai Ekonomi dan Peluang Pemanfaatan TKKS sebagai Produk Bernilai Tambah

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan baku produk bernilai tambah dalam industri berbasis biomassa. Secara komposisi kimia, TKKS mengandung lignoselulosa yang terdiri atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin dalam jumlah yang cukup tinggi. Kandungan tersebut menjadikan TKKS berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku berbagai produk, seperti kompos organik, *biochar*, briket biomassa, serta bahan baku energi terbarukan (Mpia et al., 2022).

Pemanfaatan limbah TKKS sebagai sumber biomassa juga dapat mendukung diversifikasi energi serta pengembangan teknologi *bioenergy* yang ramah lingkungan. Limbah TKKS yang sebelumnya dianggap sebagai residu produksi dapat diubah menjadi sumber daya yang memiliki nilai ekonomi dan manfaat yang lebih luas. Pengolahan TKKS menjadi produk bernilai tambah juga dapat meningkatkan pemanfaatan sumber daya dalam sistem industri kelapa sawit. Melalui penerapan teknologi konversi biomassa, TKKS dapat diolah menjadi *bioethanol*, biogas, *biochar*, maupun bahan baku *bioplastic* yang memiliki nilai ekonomi tinggi.

Pengembangan produk turunan dari TKKS sejalan dengan konsep *circular economy*, yaitu pemanfaatan kembali limbah sebagai bahan baku dalam proses produksi untuk mengurangi limbah dan meningkatkan nilai ekonomi sumber daya. Dengan demikian, pemanfaatan TKKS tidak hanya memberikan manfaat ekonomi bagi industri kelapa sawit, tetapi juga membuka peluang pengembangan industri berbasis biomassa yang berkelanjutan serta mendukung pengelolaan limbah yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Simanjuntak et al., 2021).

F. Analisis Dilema Bioetik dalam Pengelolaan Limbah TKKS

Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah padat utama yang dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar di pabrik kelapa sawit. Sekitar 20–23% dari total tandan buah segar yang diolah akan berubah menjadi TKKS, sehingga pengelolaannya menjadi perhatian penting dalam industri kelapa sawit. Apabila tidak dikelola dengan baik, limbah ini dapat menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, seperti penumpukan limbah, pencemaran tanah, serta gangguan terhadap ekosistem sekitar pabrik (Sarwono et al., 2023).

Dalam perspektif bioetika lingkungan, pemanfaatan TKKS menimbulkan dilema antara kepentingan ekonomi dan tanggung jawab terhadap kelestarian lingkungan. Industri berupaya memanfaatkan limbah ini agar memiliki nilai tambah, misalnya sebagai bahan bakar biomassa atau bahan baku produk industri. Namun, apabila pengelolaan tidak dilakukan secara tepat, seperti melalui *open burning* atau pembuangan yang tidak terkontrol, maka dapat menimbulkan emisi gas rumah kaca dan polusi udara yang berdampak pada lingkungan serta kesehatan masyarakat (Rezki et al., 2023).

Dari perspektif sosial, pengelolaan limbah TKKS berkaitan dengan dampaknya terhadap masyarakat di sekitar kawasan industri. Meskipun industri kelapa sawit memberikan kontribusi ekonomi melalui penciptaan lapangan kerja, pengelolaan limbah yang tidak optimal dapat menimbulkan dampak negatif, seperti bau tidak sedap, pencemaran air, serta penurunan kualitas lingkungan hidup. Hal ini memunculkan persoalan keadilan sosial dan tanggung jawab moral perusahaan terhadap masyarakat terdampak (Junaidi et al., 2025).

Dari perspektif ekonomi, TKKS memiliki potensi besar sebagai sumber bahan baku produk bernilai tambah, seperti pupuk organik, bioenergi, dan bahan baku *bioplastic*. Kandungan lignoselulosa yang tinggi menjadikan TKKS sebagai sumber biomassa yang potensial untuk berbagai aplikasi industri (Brahmana et al., 2021). Namun demikian, pengembangan teknologi pengolahan membutuhkan investasi dan biaya yang tidak sedikit. Kondisi ini menimbulkan dilema antara keuntungan ekonomi jangka pendek dan kebutuhan pengelolaan limbah yang berkelanjutan dalam jangka panjang.

G. Strategi Pengelolaan TKKS yang Berkelanjutan Berdasarkan Perspektif Bioetika

Pengelolaan limbah TKKS yang berkelanjutan perlu memperhatikan prinsip bioetika yang mencakup tanggung jawab lingkungan, keberlanjutan ekonomi, dan keadilan sosial. Salah satu strategi yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan TKKS sebagai bahan baku pupuk organik melalui proses pengomposan. Proses ini memungkinkan limbah TKKS diubah menjadi kompos yang kaya unsur hara, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman. Selain mengurangi volume limbah, pemanfaatan ini juga dapat meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung praktik pertanian yang ramah lingkungan (Mpia et al., 2022).

Selain sebagai pupuk organik, TKKS juga berpotensi sebagai sumber energi terbarukan. Limbah ini dapat diolah menjadi *bioenergy* seperti *bio-oil*, biogas, atau *bioethanol* melalui proses konversi biologis maupun termokimia. Pemanfaatan TKKS sebagai sumber energi biomassa dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta mendukung pengurangan emisi gas rumah kaca apabila dikelola secara optimal (Rezki et al., 2023).

Strategi lainnya adalah pemanfaatan TKKS sebagai bahan baku biomaterial, seperti *bioplastic*. Kandungan selulosa yang tinggi memungkinkan limbah ini digunakan sebagai bahan dasar material ramah lingkungan yang dapat menggantikan plastik konvensional berbasis minyak bumi. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *circular economy* yang menekankan pemanfaatan kembali limbah menjadi produk bernilai ekonomi tinggi (Brahmana et al., 2021).

Selain pendekatan teknologi, pengelolaan TKKS juga perlu melibatkan partisipasi masyarakat. Program pemberdayaan masyarakat melalui pelatihan pengolahan limbah menjadi pupuk organik atau produk biomassa dapat membuka peluang usaha baru bagi masyarakat lokal. Pendekatan ini tidak hanya membantu mengurangi limbah industri, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dan sosial bagi masyarakat di sekitar kawasan industri (Junaidi et al., 2025).

Dengan demikian, strategi pengelolaan TKKS yang berkelanjutan harus mengintegrasikan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi secara seimbang. Pendekatan bioetika menjadi kunci dalam memastikan bahwa pemanfaatan limbah tidak hanya berorientasi pada keuntungan ekonomi, tetapi juga memperhatikan keberlanjutan lingkungan serta kesejahteraan masyarakat.

4. CONCLUSION

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah biomassa utama dari industri kelapa sawit yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan kembali sebagai sumber daya bernilai tambah. Secara karakteristik, TKKS mengandung komponen lignoselulosa serta unsur hara penting yang memungkinkan pemanfaatannya dalam berbagai bidang, seperti pupuk organik, media tanam, *bioenergy*, biomaterial, dan berbagai produk industri berbasis biomassa. Hal ini menunjukkan bahwa TKKS tidak hanya berperan sebagai limbah produksi, tetapi juga sebagai sumber daya yang mendukung penerapan konsep *circular economy* dan efisiensi pengelolaan sumber daya.

Namun demikian, pemanfaatan TKKS juga menimbulkan dilema bioetik yang berkaitan dengan keseimbangan antara kepentingan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Pengelolaan yang tidak tepat berpotensi menimbulkan dampak negatif, seperti pencemaran lingkungan, emisi gas rumah kaca, serta penurunan kualitas hidup masyarakat di sekitar kawasan industri. Sebaliknya, apabila dikelola secara optimal dan berkelanjutan, TKKS dapat memberikan manfaat signifikan, seperti meningkatkan kesuburan tanah, menghasilkan energi terbarukan, serta membuka peluang ekonomi melalui pengembangan usaha berbasis biomassa.

Oleh karena itu, pengelolaan limbah TKKS perlu dilakukan dengan pendekatan berbasis prinsip bioetika, yaitu tanggung jawab terhadap lingkungan, keadilan sosial, dan keberlanjutan ekonomi. Integrasi ketiga aspek tersebut menjadi kunci dalam mewujudkan sistem pengelolaan limbah industri kelapa sawit yang tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga etis, inklusif, dan berkelanjutan, sehingga mampu mendukung pembangunan industri yang ramah lingkungan serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara berkelanjutan.

REFERENCES

- Brahmana, Y., Ginting, M. H., & Rangkuti, I. U. P. (2021). Bioplastik bersumber bahan selulosa tandan kosong (TKKS) dan pelepah kelapa sawit (PKS). *Jurnal Agro Fabrica*, 3(1), 1–8. <https://doi.org/10.47199/jaf.v3i1.171>
- Damris, M., Lestari, U., Adriadi, A., & Minarni, M. (2020). Pembudidayaan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai media pembiakan jamur tiram dan jamur merang. *Jurnal Karya Abdi Masyarakat*, 4(3), 637–642. <https://doi.org/10.22437/jkam.v4i3.11588>
- Emilia, I., Ardila, L., & Anggraini, P. (2024). Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi pupuk kompos di Desa Suka Damai Kecamatan Tunggal Jaya Musi Banyuasin. *Environmental Science Journal (ESJO): Jurnal Ilmu Lingkungan*, 2(2), 34–39. <https://doi.org/10.31851/esjo.v2i2.15870>
- Eriyanto, D., Dani, A., & Gunawan, H. (2022). Pengolahan biomassa tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 3(1), 162–171. <https://doi.org/10.36418/jist.v3i1.337>
- Euler, M., Schwarze, S., Siregar, H., & Qaim, M. (2016). Oil palm expansion among smallholder farmers in Sumatra, Indonesia. *Journal of Agricultural Economics*, 67(3), 658–676. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12163>
- Febriyanti, F., Fadila, N., Sanjaya, A. S., Bindar, Y., & Irawan, A. (2019). Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi bio-char, bio-oil dan gas dengan metode pirolisis. *Jurnal Chemurgy*, 3(2), 12–17. <http://dx.doi.org/10.30872/cm.v3i2.3578>
- Gunawan, D. S., Pardosi, R., Widodo, T., Iqbal, M., Africia, N. D., Sandi, A., & Saputri, L. H. (2024). Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit dari produksi pabrik kelapa sawit Cikasungka sebagai alternatif pembuatan tinta printer. *Jurnal Rekayasa Proses*, 18(2), 137–143. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.15659>
- Hayat, E. S., & Andayani, S. (2014). Pengelolaan limbah tandan kosong kelapa sawit dan aplikasi biomassa *Chromolaena odorata* terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi serta sifat tanah sulfaquent. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 17(2), 44–51.
- Hidayat, M. S., Hasibuan, A., Harahap, B., & Nasution, S. P. (2022). Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan pupuk di PT Karya Hevea Indonesia. *Factory: Jurnal Industri, Manajemen dan Rekayasa Sistem Industri*, 1(2), 52–58. <https://doi.org/10.56211/factory.v1i2.172>
- Hutabarat, S. (2018). Tantangan keberlanjutan pekebun kelapa sawit rakyat di Kabupaten Pelalawan, Riau dalam perubahan perdagangan global. *Masyarakat Indonesia*, 43(1), 47–64. <https://doi.org/10.14203/jmi.v43i1.713>
- Junaidi, J., Hamdi, E., Iskandar, M. D., & Negoro, D. A. (2025). Analisis faktor internal dan perencanaan SDM pada pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai bahan bakar alternatif. *PaKMas: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 331–341. <https://doi.org/10.54259/pakmas.v5i1.3294>
- Kurniawan, T. A., Ali, M., Mohyuddin, A., Haider, A., Othman, M. H. D., Anouzla, A., ... & Alsultan, G. A. (2025). Innovative transformation of palm oil biomass waste into sustainable biofuel: Technological breakthroughs and future prospects. *Process Safety and Environmental Protection*, 193, 643–664. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.11.073>
- Mpia, L., Bulawan, J. A., & Hasbiadi, H. (2022). Bimbingan teknis pembuatan pupuk organik tandan kosong kelapa sawit (TKKS) di Kabupaten Kolaka. *ABDIKAN: Jurnal Pengabdian Masyarakat Bidang Sains dan Teknologi*, 1(4), 549–554. <https://doi.org/10.55123/abdikan.v1i4.1127>

- Priyanti, A., Mahendri, I. G. A. P., Yulistiani, D., Daulay, H., Rofiq, N., Unadi, A., ... & Erwan, E. (2025). Modelling the circular bioeconomy in the palm oil industry: Emerging approaches to address cattle feed shortages in Indonesia. *Agricultural Economics*, 71(12), 647–663. <https://doi.org/10.17221/231/2024-AGRICECON>
- Rezki, A. S., Wulandari, Y. R., Alvita, L. R., & Sari, N. P. (2023). Potensi limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai bioenergi pada produksi bio-oil dengan metode pirolisis: Efek temperatur. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, 7(1), 22–29. <https://doi.org/10.21776/ub.rbaet.2023.007.01.04>
- Sarwono, E., Rahayu, D. E., Millati, W. D., & Sariyadi, S. (2023). Proses pengomposan tandan kosong kelapa sawit (TKKS): Analisis fisik dan kenampakan organisme. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 17(2), 317–327. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v17i2.13935>
- Setiawan, B., Rosmalinda, R., & Jannah, W. C. (2022). Pengaruh pemberian biochar tandan kosong kelapa sawit terhadap pertumbuhan stek lada pada lapisan tanah subsoil ultisol. *Journal of Agro Plantation (JAP)*, 1(2), 62–73. <https://doi.org/10.58466/jap.v1i2.1241>
- 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>
- Simanjuntak, A. L. S., Rangkuti, I. U. P., & Ginting, M. H. (2021). Potensi limbah padat kelapa sawit: Pelepah kelapa sawit dan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku bioetanol. *Jurnal Agro Fabrica*, 3(2), 52–63. <https://doi.org/10.47199/jaf.v3i2.224>
- Taib, M. N. A. M., Salleh, A., Jamaluddin, N. A. N., Rasheed, T., Hussin, M. H., Julkapli, N. M., ... & Saleh, T. A. (2025). A review on recent developments of oil palm solid waste upcycling into green bio-based materials for sustainable building and construction applications. *Results in Engineering*, 27, 107049. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107049>