



Perkembangan Teknologi dan Dampaknya terhadap Efisiensi dalam Industri Pengolahan Minyak Sawit

Cevin Bernando Damanik^{1*}, Iqbal Baihaqi Batubara², Muhammad Fathir Azmi³,
Damar Helga⁴, Mario Purba⁵, Guntoro⁶

¹⁻⁶ Institut Teknologi Sawit Indonesia, Indonesia

Email: cevinbernando71@gmail.com^{1*}, kakikbal212@gmail.com², mfathir261006@gmail.com³,
damarhelga139@gmail.com⁴, mariopurba850@gmail.com⁵

*Penulis Korespondensi: cevinbernando71@gmail.com

Abstract. *The palm oil processing industry faces increasing demands for efficiency, product quality, and sustainability in line with technological advancements. This study aims to examine recent technological developments in the palm oil processing industry and critically analyze their impacts on factory efficiency and sustainability. A qualitative descriptive literature review method was employed through the collection, selection, classification, and analysis of relevant scientific publications from the last ten years. The findings indicate that technologies such as Programmable Logic Controller (PLC)-based automation, Internet of Things (IoT), biomass and biogas utilization, process equipment modernization, and digitalization through Manufacturing Execution Systems (MES) contribute to improved production efficiency, reduced oil losses, energy savings, and enhanced Crude Palm Oil (CPO) quality. However, the implementation of these technologies remains constrained by limited investment, inadequate human resource competencies, poor system integration, and weak managerial commitment. The study concludes that the success of modernization in the palm oil industry depends not only on technological sophistication but also on organizational readiness to integrate technology, human resources, and management practices in a sustainable manner.*

Keywords: *Digitalization; Efficiency; Internet of Things; Palm Oil Industry; Process Automation.*

Abstrak. Industri pengolahan kelapa sawit menghadapi tuntutan peningkatan efisiensi, kualitas produk, dan keberlanjutan seiring perkembangan teknologi industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perkembangan teknologi terkini dalam industri pengolahan kelapa sawit serta menganalisis secara kritis dampaknya terhadap efisiensi dan keberlanjutan pabrik. Metode penelitian yang digunakan adalah studi literatur dengan pendekatan deskriptif kualitatif melalui pengumpulan, seleksi, klasifikasi, dan analisis berbagai sumber ilmiah yang relevan dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir. Hasil kajian menunjukkan bahwa teknologi seperti otomasi berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC), *Internet of Things* (IoT), pemanfaatan biomassa dan biogas, modernisasi peralatan proses, serta digitalisasi melalui *Manufacturing Execution System* (MES) berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi produksi, pengurangan kehilangan minyak, penghematan energi, dan peningkatan kualitas *Crude Palm Oil* (CPO). Namun, implementasi teknologi tersebut masih menghadapi berbagai kendala berupa keterbatasan investasi, rendahnya kompetensi sumber daya manusia, kurangnya integrasi sistem, dan lemahnya komitmen manajerial. Penelitian ini menyimpulkan bahwa keberhasilan modernisasi industri kelapa sawit tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga oleh kesiapan organisasi dalam mengintegrasikan aspek teknologi, manusia, dan manajemen secara berkelanjutan.

Kata kunci: Digitalisasi Industri; Efisiensi Produksi; Industri Kelapa Sawit; *Internet of Things*; Otomasi.

1. LATAR BELAKANG

Industri kelapa sawit berkembang pesat seiring meningkatnya kebutuhan global terhadap minyak nabati. Untuk meningkatkan efisiensi serta menjamin kualitas hasil pengolahan, berbagai inovasi teknologi terus diperkenalkan, mulai dari modernisasi mesin pabrik, sistem digital, otomasi proses, hingga penerapan *Internet of Things* (IoT) pada perkebunan (Purba, 2019).

Perkembangan teknologi industri, seperti otomasi berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC), *Internet of Things* (IoT), sistem manajemen energi, dan digitalisasi produksi, menawarkan potensi besar untuk mengatasi permasalahan tersebut. Namun, adopsi teknologi tidak selalu menghasilkan peningkatan kinerja yang signifikan apabila tidak diikuti kesiapan organisasi dan sumber daya manusia. Oleh karena itu, kajian kritis diperlukan untuk menilai sejauh mana teknologi benar-benar berkontribusi terhadap efisiensi industri kelapa sawit (Sari & Hutapea, 2020).

Meskipun demikian, banyak pabrik sawit konvensional belum memanfaatkan teknologi modern secara optimal (Sadewa et al., 2025; Munir et al., 2026). Masalah seperti tingginya kehilangan minyak, penggunaan energi yang besar, serta proses yang kurang efektif masih terjadi. Karena itu, penelitian ini bertujuan mengkaji perkembangan teknologi terbaru dalam industri sawit serta menilai kontribusinya terhadap peningkatan kinerja pabrik pengolahan (Hasibuan, 2017; Rahmadani & Lubis, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perkembangan teknologi terkini dalam industri pengolahan kelapa sawit serta menganalisis secara kritis dampaknya terhadap efisiensi dan keberlanjutan pabrik (Buluaro et al., 2025). Kajian ini diharapkan dapat menjadi referensi akademis dan praktis bagi pengembangan kebijakan serta strategi modernisasi industri sawit (Manurung & Wiraguna, 2025; Emiliana et al., 2025).

2. KAJIAN TEORITIS

Industri Pengolahan Kelapa Sawit

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis yang berkontribusi besar terhadap perekonomian Indonesia. Proses pengolahan kelapa sawit bertujuan menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO) dan palm kernel melalui serangkaian tahapan yang meliputi sterilisasi, perontokan, pelumatan, pengepresan, klarifikasi, serta pemulihan minyak. Efisiensi setiap tahapan proses sangat menentukan kualitas produk dan tingkat kehilangan minyak (*oil losses*). Menurut Pahan (2015), peningkatan efisiensi pengolahan sawit tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas bahan baku, tetapi juga oleh teknologi yang digunakan dalam sistem produksi.

Perkembangan industri global mendorong perusahaan kelapa sawit untuk melakukan modernisasi proses produksi guna meningkatkan produktivitas, kualitas produk, serta daya saing. Modernisasi tersebut meliputi penggunaan peralatan otomatis, sistem kontrol digital, dan teknologi berbasis data yang memungkinkan pengendalian proses secara lebih akurat dan efisien.

Teori Efisiensi Produksi

Efisiensi produksi merupakan kemampuan suatu organisasi untuk menghasilkan output maksimum dengan penggunaan input yang minimum. Menurut Farrell (1957), efisiensi terdiri atas efisiensi teknis dan efisiensi alokatif. Efisiensi teknis berkaitan dengan kemampuan perusahaan menghasilkan output optimal dari sumber daya yang tersedia, sedangkan efisiensi alokatif berhubungan dengan penggunaan kombinasi input yang memberikan biaya paling rendah.

Dalam konteks industri kelapa sawit, efisiensi produksi dapat diukur melalui peningkatan rendemen minyak, penurunan kehilangan minyak, penghematan energi, serta pengurangan waktu proses produksi. Penerapan teknologi modern menjadi salah satu instrumen utama untuk mencapai efisiensi tersebut. Namun, efektivitas teknologi sangat bergantung pada kesiapan organisasi dalam mengelola perubahan operasional dan sumber daya manusia yang terlibat.

Teori Sistem Sosio-Teknis (*Socio-Technical System Theory*)

Teori sistem sosio-teknis yang dikembangkan oleh Trist dan Emery menjelaskan bahwa keberhasilan organisasi tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga oleh interaksi antara sistem teknis dan sistem sosial. Sistem teknis mencakup peralatan, mesin, dan teknologi yang digunakan dalam proses produksi, sedangkan sistem sosial meliputi manusia, budaya organisasi, struktur kerja, dan pola komunikasi.

Pendekatan ini menegaskan bahwa implementasi teknologi baru tidak akan memberikan hasil optimal apabila tidak disertai dengan peningkatan kompetensi sumber daya manusia dan dukungan manajerial yang memadai. Oleh karena itu, keberhasilan modernisasi industri kelapa sawit memerlukan integrasi antara teknologi, tenaga kerja, dan kebijakan organisasi secara simultan.

Otomasi Industri dan *Programmable Logic Controller (PLC)*

Otomasi industri merupakan penggunaan sistem kontrol otomatis untuk menjalankan proses produksi dengan intervensi manusia yang minimal. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah *Programmable Logic Controller (PLC)*, yaitu perangkat elektronik yang dirancang untuk mengendalikan proses industri secara otomatis dan terprogram.

Menurut Bolton (2015), penggunaan PLC mampu meningkatkan akurasi kontrol proses, mengurangi kesalahan operasional, serta meningkatkan konsistensi kualitas produk. Dalam industri kelapa sawit, otomasi berbasis PLC banyak diterapkan pada stasiun sterilisasi, klarifikasi, dan pengolahan limbah untuk mengoptimalkan kinerja produksi dan menekan kehilangan minyak.

Internet of Things (IoT) dalam Industri Sawit

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang memungkinkan berbagai perangkat dan sensor saling terhubung melalui jaringan internet untuk mengumpulkan, mengirimkan, dan menganalisis data secara real-time. Menurut Atzori et al. (2017), IoT memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat karena data operasional dapat dipantau secara berkelanjutan.

Dalam industri kelapa sawit, IoT digunakan untuk memantau suhu sterilisasi, tekanan mesin, konsumsi energi, kualitas bahan baku, serta kondisi peralatan produksi. Pemanfaatan IoT dapat membantu perusahaan melakukan predictive maintenance dan mencegah kerusakan mesin yang dapat mengganggu proses produksi. Namun, implementasinya masih menghadapi tantangan berupa biaya investasi yang tinggi, keterbatasan infrastruktur digital, dan rendahnya kompetensi teknologi tenaga kerja.

Digitalisasi dan *Manufacturing Execution System* (MES)

Digitalisasi industri merupakan proses transformasi penggunaan teknologi digital untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi operasional perusahaan. Salah satu sistem yang banyak digunakan adalah *Manufacturing Execution System* (MES), yaitu sistem yang menghubungkan aktivitas produksi di lapangan dengan sistem manajemen perusahaan.

Menurut Kletti (2010), MES berfungsi untuk mengontrol, memonitor, dan mendokumentasikan seluruh aktivitas produksi secara real-time. Melalui sistem ini, perusahaan dapat meningkatkan transparansi data, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, serta mempercepat pengambilan keputusan. Dalam industri kelapa sawit, digitalisasi produksi berpotensi meningkatkan pengendalian mutu CPO dan efisiensi proses apabila diterapkan secara terintegrasi.

Efisiensi Energi dan Pemanfaatan Limbah Sawit

Konsep pembangunan berkelanjutan mendorong industri kelapa sawit untuk mengembangkan sistem energi yang lebih ramah lingkungan. Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan adalah pemanfaatan biomassa dan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebagai sumber energi alternatif.

Menurut Yacob et al. (2006), limbah cair pabrik kelapa sawit memiliki potensi besar untuk menghasilkan biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik maupun energi termal. Pemanfaatan biomassa dan biogas tidak hanya mengurangi biaya operasional tetapi juga menekan emisi gas rumah kaca. Namun, keberhasilan implementasinya sangat bergantung pada sistem pemeliharaan, investasi teknologi, dan komitmen manajemen perusahaan.

Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan teknologi modern memberikan dampak positif terhadap peningkatan efisiensi industri kelapa sawit. Purba (2019) menemukan bahwa otomasi proses produksi mampu meningkatkan stabilitas operasi dan menurunkan tingkat kehilangan minyak. Sementara itu, Sari dan Hutapea (2020) melaporkan bahwa penggunaan sistem digital dan sensor berbasis IoT meningkatkan kemampuan monitoring proses produksi secara real-time.

Hasibuan (2017) menunjukkan bahwa modernisasi peralatan pengolahan berkontribusi terhadap peningkatan rendemen minyak dan kualitas CPO. Penelitian Rahmadani dan Lubis (2020) juga mengungkapkan bahwa digitalisasi produksi mampu meningkatkan efektivitas pengendalian mutu apabila didukung oleh integrasi data yang baik.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada aspek teknis penerapan teknologi. Kajian yang menganalisis secara kritis hubungan antara teknologi, kesiapan organisasi, dan keberlanjutan operasional masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengkaji secara komprehensif perkembangan teknologi industri kelapa sawit dan dampaknya terhadap efisiensi serta keberlanjutan pabrik pengolahan.

3. METODE PENELITIAN

Tahap pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan berbagai sumber rujukan dari jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian, artikel online ilmiah, serta dokumen yang diterbitkan oleh lembaga resmi. Literatur yang dipilih dibatasi pada publikasi dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir agar informasi yang diperoleh bersifat mutakhir. Seluruh sumber kemudian diseleksi berdasarkan kredibilitas, relevansi terhadap topik penelitian, serta kesesuaian dengan fokus teknologi industri sawit.

Sumber literatur yang telah terkumpul dipilah menjadi beberapa kategori tema seperti teknologi otomasi pabrik, penggunaan *Internet of Things* (IoT), efisiensi energi, digitalisasi sistem produksi, serta inovasi peningkatan mutu dan rendemen minyak sawit. Klasifikasi ini dilakukan agar proses analisis dapat berjalan lebih terstruktur.

Analisis data dilakukan dengan teknik deskriptif kualitatif, yang meliputi proses reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Pada tahap reduksi data, informasi penting dari setiap sumber dipilih dan disaring, sementara data yang tidak relevan dieliminasi. Informasi yang dianggap signifikan kemudian disajikan dalam bentuk uraian tematik yang

menghubungkan berbagai temuan antar peneliti. Melalui penyajian data ini, pola dan tren perkembangan teknologi dapat terlihat secara lebih jelas.

Untuk memastikan keakuratan dan konsistensi temuan penelitian, dilakukan proses validasi menggunakan triangulasi sumber. Data dari beberapa literatur dibandingkan satu sama lain untuk melihat kesesuaian informasi. Selain itu, dilakukan pula verifikasi konsep untuk memastikan bahwa teori dan temuan yang dianalisis masih sesuai dengan standar teknologi pabrik kelapa sawit modern.

Penelitian ini memiliki batasan karena seluruh data diperoleh melalui literatur tanpa observasi lapangan langsung. Selain itu, fokus penelitian hanya pada perkembangan teknologi industri sawit tanpa membahas secara mendalam aspek ekonomi, manajemen tenaga kerja, atau dampak sosial.

Melalui metode penelitian ini, diharapkan hasil kajian mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan teknologi sawit, efektivitas penerapannya, serta kontribusinya terhadap efisiensi dan keberlanjutan industri sawit.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kajian menunjukkan bahwa perkembangan teknologi pada industri kelapa sawit memberikan perubahan signifikan pada efisiensi proses produksi, tetapi penerapannya belum merata di seluruh pabrik. Otomatisasi berbasis PLC dan sensor digital terbukti mampu menekan kehilangan minyak dan meningkatkan stabilitas proses. Namun, temuan literatur juga memperlihatkan bahwa banyak pabrik masih mengandalkan sistem manual, yang menjadi penyebab utama ketidakkonsistenan mutu CPO dan tingginya *oil losses*.

Namun demikian, pembahasan kritis menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi akibat otomasi tidak selalu bersifat signifikan dan berkelanjutan. Pada beberapa kasus, sistem otomasi hanya diterapkan pada stasiun tertentu tanpa integrasi menyeluruh antar unit proses. Kondisi ini menyebabkan bottleneck pada stasiun lain yang masih beroperasi secara manual, sehingga efisiensi total pabrik tidak meningkat secara optimal. Selain itu, ketergantungan pada sistem otomatis tanpa pemahaman teknis yang memadai justru meningkatkan risiko downtime ketika terjadi gangguan sistem.

Literatur juga menyoroti bahwa otomasi sering dipersepsikan sebagai solusi instan untuk meningkatkan kinerja pabrik, padahal efektivitasnya sangat bergantung pada strategi pemeliharaan dan kompetensi operator. Tanpa program pelatihan berkelanjutan, otomasi berpotensi menurunkan fleksibilitas operasional karena tenaga kerja tidak mampu melakukan penyesuaian ketika kondisi proses menyimpang dari standar.

Implementasi *Internet of Things* (IoT): Potensi Tinggi, Realisasi Terbatas

Penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam industri pengolahan kelapa sawit menawarkan kemampuan pemantauan proses secara real-time melalui sensor digital dan sistem jaringan. Teknologi ini memungkinkan deteksi dini terhadap penyimpangan proses, kerusakan peralatan, serta fluktuasi kualitas bahan baku. Secara teoritis, IoT dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan operasional pabrik.

Akan tetapi, hasil kajian menunjukkan bahwa implementasi IoT di pabrik sawit masih bersifat terbatas dan eksperimental. Banyak pabrik hanya memanfaatkan IoT sebagai alat monitoring sederhana tanpa analisis lanjutan terhadap data yang dihasilkan. Akibatnya, potensi besar IoT untuk pengambilan keputusan berbasis data tidak terealisasi secara maksimal.

Hambatan utama implementasi IoT meliputi biaya investasi awal yang tinggi, keterbatasan infrastruktur jaringan, serta rendahnya literasi digital sumber daya manusia. Selain itu, beberapa penelitian mencatat bahwa data IoT sering berdiri sendiri dan tidak terintegrasi dengan sistem manajemen produksi lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa kegagalan IoT bukan disebabkan oleh teknologi itu sendiri, melainkan oleh lemahnya kesiapan organisasi dalam mengelola transformasi digital.

Penerapan *Internet of Things* (IoT) menawarkan kemampuan pemantauan real-time yang sangat dibutuhkan dalam industri yang sensitif terhadap perubahan suhu dan tekanan. Walaupun demikian, hambatan biaya investasi awal dan keterbatasan SDM terlatih membuat banyak pabrik belum mampu mengadopsi teknologi ini secara optimal. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara potensi teknologi dan implementasi lapangan.

Dari sisi energi, pemanfaatan biomassa dan biogas memberikan dampak positif terhadap pengurangan biaya operasional serta menekan emisi pabrik. Sayangnya, beberapa penelitian mencatat bahwa sistem biogas masih menghadapi masalah efisiensi konversi dan perawatan instalasi, sehingga tidak semua pabrik dapat mempertahankannya sebagai sumber energi jangka panjang.

Inovasi seperti *continuous sterilizer* dan *modern decanter* memperlihatkan peningkatan rendemen yang signifikan, namun penggunaan teknologi ini sering terkendala oleh minimnya peremajaan alat di beberapa pabrik skala menengah. Hal ini menunjukkan bahwa modernisasi belum menjadi prioritas, meskipun teknologi terbukti meningkatkan profitabilitas.

Digitalisasi manajemen produksi melalui MES dan analitik data menawarkan peluang besar untuk kontrol mutu dan prediksi gangguan mesin. Namun, literatur kritis menekankan bahwa tanpa integrasi data yang baik antarstasiun produksi, digitalisasi hanya menjadi tampilan modern tanpa dampak nyata.

Secara keseluruhan, teknologi sawit memiliki potensi kuat untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan industri, tetapi keberhasilan implementasinya sangat bergantung pada kesiapan infrastruktur, kemampuan SDM, komitmen investasi, dan konsistensi manajemen pabrik. Dengan demikian, tantangan terbesar bukan pada teknologi itu sendiri, tetapi pada bagaimana industri mampu mengintegrasikan teknologi secara menyeluruh dan berkelanjutan.

Efisiensi Energi dan Pemanfaatan Limbah: Antara Keberhasilan Teknis dan Tantangan Manajerial

Pemanfaatan biomassa dan biogas dari limbah pabrik kelapa sawit, khususnya *Palm Oil Mill Effluent* (POME), telah terbukti mampu menurunkan ketergantungan terhadap energi fosil. Beberapa studi melaporkan penurunan biaya energi operasional serta kontribusi positif terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca.

Meskipun demikian, pembahasan kritis mengungkapkan bahwa keberhasilan teknis sistem energi terbarukan tidak selalu diikuti oleh keberlanjutan operasional. Permasalahan umum yang sering muncul meliputi ketidakstabilan produksi biogas, tingginya biaya perawatan instalasi, serta kurangnya komitmen manajemen dalam jangka panjang. Pada beberapa kasus, fasilitas biogas tidak beroperasi optimal setelah beberapa tahun karena tidak adanya strategi pemeliharaan yang konsisten.

Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi energi bukan semata persoalan teknologi, tetapi juga berkaitan erat dengan kebijakan perusahaan dan kapasitas manajerial dalam mengelola sistem energi terintegrasi.

Modernisasi Peralatan Proses dan Dampaknya Terhadap Rendemen

Modernisasi peralatan proses seperti continuous sterilizer, modern decanter, dan sistem oil recovery terbaru terbukti meningkatkan rendemen minyak dan menurunkan kehilangan minyak pada sludge dan empty fruit bunch. Teknologi ini memungkinkan proses berlangsung secara kontinu dengan kontrol yang lebih baik.

Namun, literatur kritis mencatat bahwa modernisasi peralatan sering terkendala oleh keterbatasan investasi, khususnya pada pabrik skala menengah dan kecil. Banyak pabrik masih mengoperasikan peralatan lama yang secara teknis sudah tidak efisien. Kondisi ini menciptakan kesenjangan teknologi antar pabrik, yang pada akhirnya mempengaruhi daya saing industri secara keseluruhan.

Digitalisasi Manajemen Produksi: Kritik Terhadap Implementasi Parsial

Digitalisasi melalui *Manufacturing Execution System* (MES) dan analitik data dipromosikan sebagai solusi untuk meningkatkan transparansi dan pengendalian produksi.

Sistem ini memungkinkan pelacakan kinerja mesin, kualitas produk, dan efisiensi proses secara menyeluruh.

Namun, hasil kajian menunjukkan bahwa digitalisasi sering kali hanya berfungsi sebagai alat pelaporan, bukan sebagai dasar pengambilan keputusan strategis. Tanpa integrasi data antar stasiun produksi dan tanpa perubahan budaya kerja, digitalisasi tidak memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi. Oleh karena itu, digitalisasi harus dipahami sebagai perubahan sistemik yang melibatkan teknologi, manusia, dan manajemen secara bersamaan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis kritis terhadap berbagai literatur dan pembahasan yang telah diuraikan, penelitian ini menegaskan bahwa perkembangan teknologi dalam industri pengolahan kelapa sawit merupakan prasyarat penting, namun bukan faktor penentu tunggal dalam peningkatan efisiensi dan keberlanjutan pabrik. Teknologi seperti otomasi proses, *Internet of Things* (IoT), sistem efisiensi energi, modernisasi peralatan, serta digitalisasi manajemen produksi terbukti mampu meningkatkan stabilitas proses, menurunkan *oil losses*, dan memperbaiki konsistensi mutu *Crude Palm Oil* (CPO) apabila diterapkan secara terintegrasi.

Temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa kegagalan teknologi dalam meningkatkan kinerja pabrik sawit lebih sering disebabkan oleh kelemahan sistem organisasi dibandingkan keterbatasan teknologi itu sendiri. Implementasi yang parsial, kurangnya integrasi antar stasiun produksi, serta rendahnya kesiapan sumber daya manusia menyebabkan teknologi hanya berfungsi sebagai alat pendukung, bukan sebagai penggerak utama efisiensi. Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan struktural antara kemajuan teknologi dan kapasitas manajerial industri.

Kesimpulan penting lainnya adalah bahwa digitalisasi dan IoT belum dimanfaatkan sebagai instrumen pengambilan keputusan strategis. Sebagian besar pabrik masih memanfaatkan teknologi digital sebatas fungsi monitoring dan pelaporan, tanpa analisis data yang mendalam dan berkelanjutan. Hal ini memperlihatkan bahwa transformasi digital di industri kelapa sawit masih berada pada tahap awal dan belum menyentuh aspek fundamental tata kelola produksi.

Dari perspektif keberlanjutan, pemanfaatan energi terbarukan berbasis biomassa dan biogas menunjukkan potensi signifikan dalam menurunkan biaya operasional dan dampak lingkungan. Namun, keberhasilan teknis tersebut belum sepenuhnya diikuti oleh keberlanjutan operasional akibat lemahnya perencanaan jangka panjang dan komitmen manajerial. Dengan

demikian, teknologi ramah lingkungan hanya akan memberikan manfaat nyata apabila didukung oleh kebijakan perusahaan yang konsisten dan berorientasi jangka panjang.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa peningkatan efisiensi industri pengolahan kelapa sawit harus dipahami sebagai proses transformasi sistemik yang melibatkan teknologi, manusia, dan manajemen secara simultan. Tanpa perubahan paradigma dari sekadar adopsi teknologi menuju integrasi sistem dan penguatan kapasitas organisasi, modernisasi pabrik sawit berpotensi menghasilkan efisiensi semu yang tidak berkelanjutan.

Studi ini menegaskan bahwa aplikasi teknologi modern di pabrik minyak sawit berpotensi meningkatkan efisiensi pengolahan, mengurangi kehilangan minyak, dan meningkatkan konsistensi kualitas minyak sawit mentah (CPO). Namun, temuan menunjukkan bahwa implementasi teknologi di seluruh pabrik masih tidak merata dan seringkali terfragmentasi. Keterbatasan utama tidak terkait dengan ketersediaan teknologi, tetapi dengan kompetensi sumber daya manusia yang tidak memadai, integrasi sistem produksi digital yang lemah, dan komitmen manajerial jangka panjang yang tidak mencukupi.

Hasil penelitian menekankan bahwa modernisasi pabrik minyak sawit harus dipahami sebagai transformasi organisasi strategis, bukan sekadar intervensi teknis. Tanpa keselarasan antara adopsi teknologi, kemampuan tenaga kerja, dan sistem manajemen terpadu, inovasi teknologi tidak mungkin menghasilkan manfaat operasional yang signifikan dan berkelanjutan.

Oleh karena itu, upaya untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan di industri pengolahan minyak sawit harus memprioritaskan pengembangan sumber daya manusia, peningkatan infrastruktur yang berkelanjutan, dan kebijakan manajerial yang konsisten yang mendukung implementasi teknologi terpadu dan jangka panjang. Keselarasan tersebut sangat penting untuk memastikan bahwa kemajuan teknologi diterjemahkan menjadi peningkatan kinerja yang terukur dan berkelanjutan.

Implikasi Teoretis, Implikasi teoretis dari penelitian ini terletak pada penguatan perspektif bahwa efisiensi industri pengolahan kelapa sawit tidak dapat dijelaskan secara memadai melalui pendekatan teknologis semata. Temuan penelitian ini mendukung kerangka teori sistem sosio-teknis yang menempatkan teknologi, manusia, dan organisasi sebagai elemen yang saling bergantung. Dengan demikian, peningkatan efisiensi tidak dapat dipahami hanya sebagai hasil dari adopsi teknologi baru, melainkan sebagai keluaran dari interaksi dinamis antara sistem teknis dan sistem sosial dalam organisasi industri.

Penelitian ini juga memperluas kajian teoretis mengenai digitalisasi industri dengan menunjukkan bahwa keberadaan teknologi digital seperti IoT dan *Manufacturing Execution System* (MES) belum tentu menghasilkan keunggulan operasional apabila tidak diikuti dengan

kemampuan organisasi dalam mengelola data dan pengetahuan. Hal ini memberikan kontribusi teoretis terhadap literatur transformasi digital dengan menegaskan bahwa nilai strategis digitalisasi bergantung pada tingkat integrasi sistem dan kematangan manajerial, bukan semata pada kecanggihan teknologi.

Selain itu, hasil kajian ini memberikan implikasi pada teori efisiensi produksi dengan menyoroti pentingnya konteks institusional dan manajerial dalam menentukan keberhasilan inovasi teknologi. Temuan bahwa banyak pabrik sawit mengalami efisiensi yang semu akibat implementasi teknologi parsial menunjukkan bahwa model efisiensi berbasis input–output perlu dilengkapi dengan variabel organisasi, seperti kompetensi sumber daya manusia, komitmen manajemen, dan budaya kerja. Dengan demikian, penelitian ini mendorong pengembangan model teoretis efisiensi industri yang lebih holistik dan kontekstual.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kontribusi dalam penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada dosen pembimbing, rekan-rekan peneliti, serta institusi yang telah memberikan fasilitas dan dukungan selama proses penelitian berlangsung.

DAFTAR REFERENSI

- Ginting, M. (2019). Pengembangan biogas POME sebagai sumber energi alternatif di pabrik kelapa sawit. *Jurnal Energi Dan Lingkungan*, 10(1), 20–30.
- Harahap, N. (2024). Analisis tren teknologi terkini pada industri kelapa sawit di Asia Tenggara. *Jurnal Sains Dan Teknologi Pertanian*, 9(1), 13–25.
- Hasibuan, S. (2017). Evaluasi sistem pemurnian CPO menggunakan teknologi kontrol otomatis. *Jurnal Pengolahan Hasil Perkebunan*, 8(2), 34–42.
- Hutagalung, D., & Manik, R. (2022). Analisis efisiensi energi berbasis biomassa di pabrik kelapa sawit. *Jurnal Energi Terbarukan*, 5(2), 101–110.
- Nugraha, T. (2021). Penerapan PLC pada sistem otomasi sterilisasi pabrik kelapa sawit. *Jurnal Mekanisasi Industri*, 9(3), 44–53.
- Pratama, Y., & Siregar, A. (2023). Optimalisasi oil recovery system pada pengolahan minyak sawit. *Jurnal Teknologi Agroindustri*, 6(1), 1–9.
- Purba, R. (2019). Pengaruh digitalisasi proses produksi terhadap efisiensi pabrik kelapa sawit. *Jurnal Agroindustri Indonesia*, 7(2), 55–63.
- Rahmadani, W., & Lubis, R. (2020). Penerapan sistem MES dalam pengendalian mutu proses produksi sawit. *Jurnal Sistem Industri*, 14(1), 71–80.
- Sari, L., & Hutapea, D. (2020). Implementasi *Internet of Things* untuk pemantauan proses pengolahan sawit. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12(1), 22–30.

- Simanjuntak, F. (2018). Pengaruh modern decanter terhadap peningkatan rendemen minyak sawit. *Jurnal Industri Kelapa Sawit*, 4(1), 11–20.
- Buluaro, M. N. A., Sinulingga, P. J., Simanjuntak, R. R., Harianja, K. J., Hutapea, W., Guk Guk, A. S. M. R., & Damanik, R. P. P. (2025). Implementasi strategi pengembangan industri kelapa sawit dalam menghadapi Revolusi 4.0. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian dan Teknologi dalam Ilmu Tanaman*, 2(2), 47–56. <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i2.377>
- Emiliana, N., Sudrajat, J., & Oktoriana, S. (2025). Curahan tenaga kerja berdasarkan gender pada usahatani karet dan kelapa sawit. *Botani: Publikasi Ilmu Tanaman dan Agribisnis*, 2(3), 153–163. <https://doi.org/10.62951/botani.v2i3.477>
- Manurung, H., & Wiraguna, E. (2025). Analisis efisiensi metode panen manual dan mekanisasi pada produksi kelapa sawit. *Botani: Publikasi Ilmu Tanaman dan Agribisnis*, 2(2), 1–11. <https://doi.org/10.62951/botani.v2i2.288>
- Munir, M. S., Sholihah, E. R. M., Atmojo, T. A., & Mangesti, G. H. (2026). Respon pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap dosis KCl dan metode aplikasinya di pre-nursery. *Botani: Publikasi Ilmu Tanaman dan Agribisnis*, 3(1), 32–38. <https://doi.org/10.62951/botani.v3i1.534>
- Sadewa, D., Dalimunthe, A. S., Rambe, P. F., Iswan, M., Pasaribu, M. I., Ardana, Y., & Hidayat, M. R. (2025). Hama *Oryctes* di perkebunan kelapa sawit. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian dan Teknologi dalam Ilmu Tanaman*, 2(2), 34–46. <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i2.376>