



Implementasi Strategi Pengembangan Industri Kelapa Sawit dalam Menghadapi Revolusi 4.0

Miftahulk N.A Buluaro^{1*}, Putra Jaya Sinulingga², Riki Rikardo Simanjuntak³, Kristian Jonathan Harianja⁴, Wahyu Hutapea⁵, Andreas S.M Raja Guk Guk⁶, Rizky Pratama Putra Damanik⁷

¹⁻⁷ Institut Teknologi Sawit Indonesia

Korespondensi penulis : masdaeng063@gmail.com

Abstract : *This research uses a qualitative descriptive method to evaluate the implementation of development strategies in the palm oil industry in facing the Fourth Industrial Revolution. The palm oil industry is a nationally strategic sector that plays a crucial role in Indonesia's economy, both in terms of exports and employment absorption. In the digital era, technological transformation has become a necessity for industry players to improve efficiency, transparency, and global competitiveness. This study examines various adaptive strategies that have been developed, such as the application of digital technologies in the supply chain, integration of information systems in production processes, and the strengthening of human resources through technology-based training. The analysis is conducted through a literature review of recent academic works, government policies, and industrial reports. The findings indicate that the implementation of digitalization strategies still faces challenges, such as limited technological infrastructure, disparities in digital literacy, and regulations that are not yet fully supportive. These results provide a comprehensive picture of the readiness and direction of the palm oil industry's development in the Industrial Revolution 4.0 era to achieve long-term sustainability and efficiency.*

Keywords: *Palm oil, industrial strategy, digitalization, qualitative descriptive.*

Abstrak : Penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif untuk mengevaluasi implementasi strategi pengembangan industri kelapa sawit dalam menghadapi Revolusi Industri 4.0. Industri kelapa sawit merupakan sektor strategis nasional yang memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia, baik dari sisi ekspor maupun serapan tenaga kerja. Dalam menghadapi era digital, transformasi teknologi menjadi keniscayaan yang harus dijalankan oleh pelaku industri untuk meningkatkan efisiensi, transparansi, dan daya saing global. Penelitian ini mengkaji berbagai strategi adaptif yang telah dikembangkan, seperti penerapan teknologi digital dalam rantai pasok, integrasi sistem informasi dalam proses produksi, serta penguatan sumber daya manusia melalui pelatihan berbasis teknologi. Analisis dilakukan melalui studi pustaka terhadap literatur terbaru, kebijakan pemerintah, dan laporan industri. Hasil kajian menunjukkan bahwa implementasi strategi digitalisasi masih menghadapi tantangan, seperti keterbatasan infrastruktur teknologi, ketimpangan pengetahuan digital, dan regulasi yang belum sepenuhnya mendukung. Temuan ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai kesiapan dan arah pengembangan industri kelapa sawit di era Revolusi Industri 4.0 untuk mencapai keberlanjutan dan efisiensi jangka panjang.

Kata Kunci: Kelapa sawit, strategi industri, digitalisasi, kualitatif deskriptif.

1. PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan sektor strategis nasional yang memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian Indonesia, baik dari sisi ekspor, pendapatan negara, maupun penyerapan tenaga kerja. Dalam beberapa dekade terakhir, Indonesia telah menjadi produsen dan eksportir utama minyak sawit dunia. Namun, tantangan global yang terus berkembang menuntut industri ini untuk beradaptasi, khususnya dalam menghadapi era Revolusi Industri 4.0 yang ditandai oleh digitalisasi dan otomatisasi di berbagai lini produksi. Transformasi digital menjadi kunci utama dalam meningkatkan efisiensi, transparansi, serta daya saing global industri kelapa sawit. Perubahan sistem produksi tradisional menuju sistem yang berbasis teknologi tinggi menuntut perencanaan strategi yang matang dan adaptif. Oleh karena

itu, pemahaman mendalam terhadap strategi pengembangan industri kelapa sawit dalam konteks revolusi digital sangat penting untuk memastikan keberlanjutan dan pertumbuhan sektor ini di masa depan. (Putri & Rahman, 2021)

Revolusi Industri 4.0 membuka peluang besar bagi sektor perkebunan, termasuk kelapa sawit, untuk melakukan modernisasi. Teknologi seperti Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), serta blockchain dapat diterapkan dalam rantai pasok untuk meningkatkan efisiensi dan akuntabilitas. Di sisi lain, pengembangan strategi berbasis teknologi memerlukan kesiapan infrastruktur, peningkatan kapasitas sumber daya manusia, serta kebijakan yang mendukung digitalisasi. Implementasi teknologi tanpa dukungan sistem yang kuat hanya akan memperlebar kesenjangan produktivitas antar pelaku industri. Selain itu, tantangan keberlanjutan lingkungan dan sosial yang melekat pada industri sawit juga perlu dikelola secara bijak agar transformasi digital tidak hanya berdampak pada ekonomi, tetapi juga aspek sosial dan ekologis. Oleh karena itu, evaluasi terhadap strategi pengembangan berbasis teknologi menjadi krusial dalam merumuskan kebijakan industri sawit di era Revolusi 4.0. (Suryani & Nugroho, 2020)

Pemerintah Indonesia telah merancang sejumlah kebijakan untuk mendorong transformasi digital sektor pertanian dan perkebunan melalui program seperti Making Indonesia 4.0 dan digitalisasi pertanian presisi. Namun, efektivitas kebijakan ini dalam konteks industri kelapa sawit masih memerlukan pengkajian lebih lanjut. Tantangan utama meliputi kurangnya akses teknologi di daerah perkebunan terpencil, keterbatasan pelatihan tenaga kerja, serta minimnya integrasi data antar lembaga terkait. Strategi pengembangan industri sawit yang berorientasi teknologi harus mempertimbangkan keterlibatan semua pemangku kepentingan, termasuk perusahaan besar, petani kecil, lembaga pemerintah, dan pihak swasta lainnya. Kesenjangan antara perusahaan besar yang mampu mengadopsi teknologi dan petani mandiri yang masih konvensional juga harus menjadi fokus perhatian. Dengan memahami dinamika ini, kebijakan transformasi digital dapat disesuaikan agar inklusif dan berkelanjutan. (Hidayat & Lestari, 2022)

Selain kebijakan dan kesiapan infrastruktur, aspek sosial dan budaya juga memengaruhi keberhasilan implementasi strategi pengembangan industri sawit berbasis Revolusi 4.0. Masyarakat di sekitar kawasan perkebunan seringkali masih memiliki keterbatasan literasi digital, yang berimplikasi pada lambatnya proses adaptasi terhadap sistem baru. Budaya kerja yang masih tradisional dan keengganan untuk berubah juga menjadi kendala dalam proses transformasi. Oleh karena itu, perlu pendekatan holistik yang tidak hanya fokus pada teknologi, tetapi juga pada edukasi, pelatihan, dan pemberdayaan masyarakat lokal. Dengan demikian,

industri kelapa sawit tidak hanya tumbuh dari sisi teknologi dan ekonomi, tetapi juga berkembang secara sosial. Peran aktif komunitas lokal dalam proses digitalisasi akan menciptakan ekosistem industri yang lebih inklusif dan berkelanjutan. (Wulandari & Prabowo, 2019)

Transformasi industri kelapa sawit menuju era 4.0 tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan profitabilitas, tetapi juga mendorong keberlanjutan dalam jangka panjang. Dalam konteks ini, digitalisasi dapat digunakan untuk pemantauan lingkungan, efisiensi energi, hingga mitigasi dampak perubahan iklim. Misalnya, penggunaan sensor cerdas untuk memantau kelembapan tanah dan kebutuhan nutrisi tanaman dapat membantu mengurangi pemborosan sumber daya. Selain itu, sistem pelacakan berbasis blockchain dapat memberikan transparansi dalam rantai pasok, sehingga meningkatkan kepercayaan pasar internasional. Oleh karena itu, strategi pengembangan industri sawit harus bersifat integratif, menggabungkan efisiensi ekonomi dengan keberlanjutan lingkungan dan sosial. Hal ini menandakan bahwa implementasi Revolusi 4.0 bukan sekadar soal teknologi, melainkan juga soal komitmen terhadap masa depan yang lestari. (Nasution & Handayani, 2023).

2. TINJAUAN TEORITIS

Konsep Digitalisasi dalam Industri Kelapa Sawit

Digitalisasi merupakan sebuah proses penting dalam perkembangan teknologi informasi yang melibatkan transformasi sistem manual menjadi sistem berbasis digital yang lebih terintegrasi, efisien, dan transparan. Dalam konteks industri kelapa sawit, digitalisasi tidak hanya terbatas pada penggunaan perangkat keras seperti komputer dan ponsel pintar, tetapi juga mencakup pemanfaatan sistem manajemen berbasis aplikasi, otomatisasi data keuangan, serta pemantauan dan pengelolaan aktivitas kebun secara real-time. Saputri et al. (2024) menegaskan bahwa digitalisasi dapat membawa perubahan signifikan terhadap sistem kerja tradisional di sektor perkebunan, karena memudahkan pencatatan transaksi, pelacakan distribusi hasil panen, penggajian tenaga kerja, serta pelaporan keuangan harian dan bulanan. Dengan adanya sistem digital yang terintegrasi, pelaku usaha tidak lagi bergantung sepenuhnya pada pencatatan manual yang rentan terhadap human error, korupsi, maupun keterlambatan dalam pengambilan keputusan. Hal ini membuktikan bahwa digitalisasi telah menjadi elemen kunci dalam upaya mewujudkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan kebun kelapa sawit secara menyeluruh.

Peran Internet of Things (IoT) dalam Monitoring Perkebunan Sawit

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi mutakhir yang memungkinkan terhubungnya berbagai perangkat fisik ke dalam jaringan internet, sehingga masing-masing perangkat dapat saling bertukar data dan memberikan informasi secara real-time tanpa campur tangan manusia secara langsung. Dalam industri kelapa sawit, teknologi IoT mulai diterapkan untuk mendukung proses monitoring lahan, kondisi tanaman, cuaca, kelembaban tanah, serta aktivitas panen dan distribusi hasil kebun. Wahyuni et al. (2022) menyebutkan bahwa mereka telah mengembangkan sistem monitoring yang memanfaatkan sensor QR Code dan modul ESP8266 untuk mendeteksi dan merekam kondisi pohon sawit berdasarkan lokasi, jumlah tandan buah segar, dan ketinggian pohon. Teknologi ini memungkinkan pengelola kebun untuk mengambil tindakan cepat berdasarkan data yang diterima dari perangkat IoT, seperti menyiram tanaman yang kekurangan air atau memperbaiki jalur distribusi buah sawit yang mengalami hambatan. Selain itu, penerapan teknologi ini juga mendukung terciptanya sistem pelaporan berbasis data yang lebih akurat, dapat diakses dari jarak jauh, serta sangat berguna dalam pengambilan keputusan strategis oleh manajemen perusahaan.

Digitalisasi dalam Sektor Pembibitan dan Pemeliharaan

Tahapan pembibitan dan pemeliharaan merupakan fondasi awal yang sangat krusial dalam siklus produksi kelapa sawit, karena keberhasilan pada tahap ini akan sangat menentukan produktivitas pohon sawit di masa mendatang. Oleh karena itu, proses pembibitan perlu dilakukan secara teliti, konsisten, dan terkontrol. Putra et al. (2024) mengembangkan sebuah sistem penyiraman otomatis yang menggunakan mikrokontroler ESP32 serta sensor kelembaban tanah yang dikendalikan melalui aplikasi pada ponsel pintar. Sistem ini memungkinkan petani untuk memantau tingkat kelembaban tanah secara akurat, serta mengatur jadwal penyiraman bibit sawit secara otomatis berdasarkan data real-time yang dikumpulkan oleh sensor. Dengan cara ini, tidak hanya efisiensi penggunaan air yang meningkat, tetapi juga konsistensi pertumbuhan bibit dapat dijaga dengan optimal. Dalam jangka panjang, otomatisasi proses penyiraman akan sangat menghemat biaya operasional dan mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual. Ini membuktikan bahwa digitalisasi memiliki manfaat praktis dan ekonomis yang nyata dalam tahap awal budidaya kelapa sawit.

Kesiapan dan Tantangan di Kalangan Petani dan Koperasi

Meskipun digitalisasi menawarkan berbagai manfaat dan potensi besar dalam mendorong modernisasi sektor kelapa sawit, adopsinya di lapangan masih menghadapi sejumlah kendala, terutama di kalangan petani swadaya dan koperasi lokal. Falatehan et al. (2021) mencatat bahwa tantangan utama terletak pada rendahnya tingkat literasi digital petani,

keterbatasan infrastruktur teknologi di wilayah pedesaan, serta kurangnya pelatihan yang tepat sasaran. Sebagian besar petani sawit di Indonesia masih mengandalkan cara-cara tradisional dalam mengelola lahan dan hasil panennya, dan mereka belum terbiasa menggunakan teknologi seperti aplikasi keuangan digital, GPS pertanian, atau sistem pemantauan online. Oleh karena itu, agar digitalisasi dapat diimplementasikan secara merata dan efektif, dibutuhkan pendekatan yang bersifat edukatif, kolaboratif, dan inklusif. Pemerintah, perusahaan swasta, serta lembaga pendidikan harus berperan aktif dalam memberikan pelatihan, menyediakan infrastruktur pendukung, serta menciptakan ekosistem teknologi yang mudah diakses oleh semua lapisan masyarakat. Hanya dengan cara inilah transformasi digital dapat benar-benar menyentuh seluruh elemen rantai nilai dalam industri kelapa sawit.

Implikasi Strategis Digitalisasi dalam Industri Sawit

Transformasi digital dalam industri kelapa sawit bukan hanya sebuah pilihan, melainkan menjadi sebuah kebutuhan strategis untuk memastikan keberlanjutan dan daya saing sektor ini di tingkat global. Indonesia sebagai salah satu produsen utama kelapa sawit dunia memiliki peluang besar untuk meningkatkan efisiensi, kualitas, dan transparansi melalui penerapan teknologi digital. Hawanda dan Sudiarti (2023) menyatakan bahwa penguatan digitalisasi pada sistem produksi, logistik, dan pemasaran hasil sawit akan mendukung terciptanya rantai pasok yang efisien dan tangguh terhadap perubahan pasar global. Di samping itu, digitalisasi juga mendukung upaya pelestarian lingkungan, karena memungkinkan pemantauan terhadap deforestasi, emisi karbon, serta penggunaan lahan secara berkelanjutan. Penerapan sistem berbasis teknologi ini pada akhirnya akan memberikan nilai tambah bagi industri sawit Indonesia, sekaligus memperkuat posisi negara dalam memenuhi standar keberlanjutan internasional seperti ISPO dan RSPO. Dengan demikian, digitalisasi menjadi jalan penting untuk menciptakan industri kelapa sawit yang lebih modern, adil, produktif, dan berwawasan lingkungan.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif, yang bertujuan untuk memberikan gambaran sistematis, faktual, dan akurat mengenai strategi digitalisasi dalam industri kelapa sawit dalam menghadapi Revolusi Industri 4.0. Data diperoleh melalui studi pustaka, yaitu mengumpulkan informasi dari jurnal ilmiah nasional dan internasional, dokumen kebijakan pemerintah, laporan industri, serta artikel akademik yang relevan dari tahun 2019 ke atas. Penelitian ini menitikberatkan pada analisis terhadap berbagai strategi adaptif yang diterapkan oleh pelaku industri sawit, termasuk pemanfaatan teknologi informasi,

Internet of Things (IoT), digitalisasi proses produksi, dan pelatihan tenaga kerja berbasis teknologi. Teknik analisis data dilakukan melalui reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai tantangan dan peluang implementasi digitalisasi dalam industri kelapa sawit di Indonesia..

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa digitalisasi telah mulai diimplementasikan dalam beberapa aspek industri kelapa sawit, seperti pengelolaan lahan, sistem pelaporan keuangan, distribusi hasil panen, dan pemantauan kinerja tenaga kerja. Namun, penerapannya belum merata di seluruh wilayah produksi sawit, terutama di daerah-daerah dengan keterbatasan infrastruktur digital. Perusahaan besar relatif lebih siap dalam mengadopsi sistem digital, sementara petani swadaya dan koperasi lokal masih menghadapi tantangan dari sisi literasi teknologi dan ketersediaan sumber daya.

Digitalisasi dalam industri kelapa sawit berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi operasional, transparansi dalam pencatatan produksi dan distribusi, serta pengambilan keputusan yang lebih cepat dan berbasis data. Kendati demikian, tantangan yang dihadapi seperti keterbatasan jaringan internet di daerah terpencil, resistensi terhadap perubahan teknologi, dan ketidaksesuaian regulasi digital masih menjadi hambatan yang harus segera diatasi. Oleh karena itu, diperlukan kolaborasi antara pemerintah, pelaku industri, dan lembaga pendidikan untuk mendukung percepatan transformasi digital di sektor ini.

Tabel 1. Aspek Digitalisasi yang Telah Diterapkan dalam Industri Kelapa Sawit

No	Aspek Digitalisasi	Implementasi Utama	Skala Penggunaan
1	Sistem Informasi Manajemen	Pelaporan produksi dan keuangan	Perusahaan besar
2	IoT Monitoring	Sensor kelembaban tanah dan cuaca	Pilot project terbatas
3	Aplikasi Mobile Petani	Pencatatan panen dan penyuluhan digital	Skala kecil
4	GPS dan Droning	Pemetaan dan pemantauan kebun	Skala menengah

Penjelasan Tabel 1 :

Tabel 1 menunjukkan bahwa aspek digitalisasi yang telah diterapkan dalam industri kelapa sawit meliputi sistem informasi manajemen, monitoring berbasis IoT, penggunaan aplikasi mobile oleh petani, serta pemanfaatan teknologi GPS dan drone. Implementasi paling dominan ditemukan pada perusahaan berskala besar yang memiliki modal dan infrastruktur cukup untuk menyerap teknologi digital ke dalam sistem kerja mereka.

Namun, beberapa teknologi seperti IoT dan aplikasi mobile masih sebatas proyek percontohan di lokasi tertentu atau digunakan oleh kelompok terbatas. Ini menunjukkan bahwa adopsi teknologi digital belum merata di seluruh pelaku industri sawit, khususnya bagi petani kecil yang membutuhkan dukungan pelatihan dan perangkat yang memadai agar dapat memanfaatkan teknologi secara optimal.

Tabel 2. Tantangan Utama Implementasi Digitalisasi di Sektor Sawit

No	Tantangan Digitalisasi	Dampak Terhadap Industri
1	Infrastruktur teknologi lemah	Menghambat koneksi dan akses data
2	Literasi digital rendah	Kurangnya pemanfaatan teknologi
3	Biaya implementasi tinggi	Kesulitan untuk UMKM atau petani
4	Regulasi belum adaptif	Tidak sinkron dengan inovasi digital

Penjelasan Tabel 2 :

Tabel 2 menggambarkan berbagai tantangan besar yang menghambat proses digitalisasi di sektor kelapa sawit. Salah satu tantangan paling mendasar adalah lemahnya infrastruktur teknologi, khususnya di wilayah perkebunan yang jauh dari pusat kota. Hal ini menyebabkan banyak sistem digital tidak dapat berjalan optimal karena bergantung pada konektivitas dan akses internet yang stabil.

Selain itu, rendahnya literasi digital di kalangan petani dan pelaku koperasi membuat banyak teknologi tidak dimanfaatkan secara maksimal. Biaya implementasi teknologi digital juga tergolong tinggi dan sulit dijangkau oleh pelaku usaha kecil. Regulasi yang belum responsif terhadap perubahan teknologi menambah beban, karena beberapa inovasi tidak dapat dijalankan secara legal maupun administratif.

Tabel 3. Dampak Digitalisasi terhadap Efisiensi Produksi

No	Indikator Produksi	Sebelum Digitalisasi	Setelah Digitalisasi
1	Waktu pencatatan hasil panen	Lama	Cepat
2	Akurasi data produksi	Rendah	Tinggi
3	Penggunaan tenaga kerja	Tinggi	Berkurang
4	Biaya operasional	Tinggi	Lebih hemat

Penjelasan Tabel :

Tabel 3 memperlihatkan perbandingan yang jelas antara kondisi sebelum dan sesudah digitalisasi pada aspek produksi. Implementasi teknologi digital mampu mempercepat pencatatan hasil panen yang sebelumnya dilakukan secara manual dan memakan waktu. Dengan sistem digital, akurasi data pun meningkat secara signifikan, sehingga manajemen dapat mengambil keputusan berdasarkan data yang lebih valid.

Efisiensi juga terlihat dari berkurangnya kebutuhan akan tenaga kerja manual karena beberapa proses telah digantikan oleh sistem otomatisasi. Hal ini berimplikasi langsung pada

penurunan biaya operasional, karena pekerjaan yang sebelumnya membutuhkan banyak waktu dan tenaga kini dapat diselesaikan dengan teknologi secara cepat dan murah.

Tabel 4. Strategi Penguatan SDM dalam Digitalisasi Industri Sawit

No	Strategi Penguatan SDM	Pelaksana	Cakupan
1	Pelatihan digital bagi petani	Pemerintah/NGO	Terbatas
2	Workshop penggunaan aplikasi	Koperasi lokal	Regional
3	Pendidikan vokasi pertanian IT	Sekolah/Universitas	Nasional
4	Insentif pelatihan digital	Swasta/Pemerintah	Bertahap

Penjelasan Tabel 4

Tabel 4 menyoroti berbagai upaya strategis yang dilakukan untuk meningkatkan kapasitas sumber daya manusia dalam menghadapi digitalisasi industri sawit. Pelatihan digital oleh pemerintah dan LSM sudah mulai berjalan, meskipun cakupannya masih terbatas. Koperasi lokal pun berperan aktif dalam menyelenggarakan workshop penggunaan aplikasi pertanian, khususnya untuk pencatatan panen dan distribusi.

Pendidikan vokasi yang menggabungkan pertanian dan teknologi informasi telah mulai dikembangkan oleh sekolah-sekolah dan universitas, namun belum menyentuh seluruh daerah penghasil sawit. Pemberian insentif dan subsidi pelatihan digital oleh pihak swasta dan pemerintah juga menjadi salah satu cara untuk mempercepat adopsi teknologi, namun perlu perluasan cakupan dan monitoring implementasinya agar dampaknya lebih merata.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan ini menunjukkan bahwa strategi pengembangan industri kelapa sawit dalam menghadapi Revolusi Industri 4.0 membutuhkan pendekatan menyeluruh yang mencakup digitalisasi proses produksi, integrasi teknologi informasi, dan peningkatan kapasitas sumber daya manusia. Meskipun terdapat berbagai inisiatif dan kebijakan yang mendukung transformasi digital, tantangan seperti keterbatasan infrastruktur, ketimpangan pengetahuan teknologi, serta belum optimalnya regulasi masih menjadi hambatan utama. Oleh karena itu, kolaborasi antara pemerintah, pelaku industri, dan institusi pendidikan sangat diperlukan untuk menciptakan ekosistem digital yang mendorong efisiensi, keberlanjutan, dan daya saing industri kelapa sawit di tingkat global.

REFERENSI

- Ardiyanto, S., Azmi, Z., & Al Hafiz, A. (2022). Implementasi Internet of Things (IoT) sistem otomatis penyiraman pada bibit sawit menggunakan modul RTC berbasis NodeMCU. *Jurnal Cyber Tech*, 4(4), 154–160.
- Darmawan, R., Attirmidzi, H., Saputra, Z., & Yudhi, Y. (2023). Rancang bangun alat kontrol dan monitoring sistem penyiraman, pemupukan, dan pencegahan hama bercak daun pada pembibitan kelapa sawit berbasis IoT. *Prosiding SNITT*, Vol. 5, hal. 89–95.
- Fajar, M. H., & Waluyo, A. F. (2024). Sistem monitoring dan penyiraman otomatis pada bibit sawit berbasis Android. *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, 7(1), 123–132.
- Falatehan, A. F., Syaukat, Y., Hariyadi, H., & Ferindian, S. F. (2021). Strategi kesiapan koperasi dalam digitalisasi perkebunan kelapa sawit rakyat. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(4), 537–545.
- Farhani, A. A., & Purwanto, P. (2024). Sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis web dengan mikrokontroler ESP32, sensor DHT11, dan soil moisture. *Prosiding SENAFTI*, 3(2), 1100–1108.
- Iqbal, T., & Ahmad, L. (2023). Menerapkan blockchain untuk meningkatkan transparansi dan keamanan rantai pasokan: studi kasus di industri kelapa sawit. *Jurnal Manajemen dan Teknologi*, 22(1), 50–58.
- Nugraha, S. P. A., Putra, Y. T. N., Wahyuadi, R. A., Mahardi, R. D., 'Atiq, M., & Hendrawan, D. (2024). Sistem pompa air otomatis berbasis Arduino Uno untuk optimalisasi penyiraman tanaman menggunakan sensor soil moisture. *Jurnal Sains dan Ilmu Terapan*, 7(2), 193–202.
- Prayoga, K. A. M. D., & Pawana, I. G. N. A. P. (2023). Pengembangan sistem penyiraman dan pemupukan otomatis berbasis ESP32 dengan RTC dan Blynk. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, 9(1), 75–83.
- Putra, D. E., Rosman, E., G., K. F., Hasanah, M., & Salam, R. I. (2024). Sistem penyiraman otomatis pada pembibitan pre-nursery kelapa sawit berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknoif Teknik Informatika*, 12(2), 131–138.
- Putri, R., & Rahman, S. (2021). Digitalisasi rantai pasok kelapa sawit di era Revolusi Industri 4.0. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian*, 4(2), 85–92.
- Saputri, S., Hadi, A., Darni, R., & Asmara, D. (2024). Transformasi digital bisnis kelapa sawit: aplikasi mobile sebagai solusi pengelolaan efektif. *JPNM Jurnal Pustaka Nusantara Multidisiplin*, 2(3), 211–218.
- Suryani, D., & Nugroho, E. (2020). Analisis strategi berbasis teknologi dalam industri kelapa sawit era Revolusi 4.0. *Jurnal Teknologi Agroindustri*, 8(1), 14–22.
- Tundo, T., Sodik, S., Setiawan, K., & Aula, R. F. (2024). Penerapan IoT dengan algoritma fuzzy dan mikrokontroler ESP32 dalam monitoring penyiraman. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi*, 5(3), 2915–2924.

- Wahyuni, R. T., Hafiz, M., & Susianti, E. (2022). Sistem pengumpul data parameter kondisi pohon sawit berbasis Internet of Things. *Jurnal CoSciTech*, 4(1), 33–39.
- Wulandari, L., & Prabowo, H. (2019). Peran budaya dan sosial dalam digitalisasi industri kelapa sawit. *Jurnal Sosial Teknologi*, 2(1), 10–17.