

Smart Plantation Berbasis Artificial Intelligence: Transformasi SDM Perkebunan Kelapa Sawit Menuju Sistem Berkelanjutan, Unggul, dan Adaptif

Suhela Putri Nasution^{1,*}, Abdurrozzaq Hasibuan², Junaidi³

^{1,3}) Program Studi Budidaya Perkebunan, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan Estate, Sumatera Utara, 20226, Indonesia

²) Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara, Kota Medan, Sumatera Utara, 20217, Indonesia

*) Corresponding author: suhelaputrinasion@itsi.ac.id

Abstrak

Transformasi digital menjadi kebutuhan strategis industri perkebunan kelapa sawit dalam meningkatkan produktivitas, daya saing, dan keberlanjutan. Penerapan *Artificial Intelligence* (AI) melalui konsep *Smart Plantation* menawarkan peluang untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan perkebunan, namun keberhasilannya memerlukan kesiapan teknologi yang didukung pengembangan dan kompetensi digital sumber daya manusia (SDM). Penelitian ini bertujuan menganalisis mekanisme transformasi SDM berbasis AI dalam meningkatkan kinerja perkebunan berkelanjutan. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain survei eksplanatori terhadap 250 responden yang terlibat dalam aktivitas operasional dan manajerial perkebunan kelapa sawit. Model penelitian mengintegrasikan *Artificial Intelligence Readiness*, *Human Resource Development*, *Digital Competence*, *Adaptive Work Performance*, dan *Sustainable Plantation Performance*. Data dianalisis menggunakan *Partial Least Squares Structural Equation Modeling* (PLS-SEM) dengan SmartPLS 4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh hubungan struktural yang diuji berpengaruh positif dan signifikan. Pengaruh terkuat ditemukan pada hubungan AI terhadap pengembangan SDM ($\beta = 0,598$), diikuti kompetensi digital terhadap kinerja adaptif ($\beta = 0,517$), pengembangan SDM terhadap kompetensi digital ($\beta = 0,480$), dan kinerja adaptif terhadap kinerja perkebunan berkelanjutan ($\beta = 0,470$). Model menjelaskan 39,8% variasi *Sustainable Plantation Performance*. Temuan menegaskan bahwa keberhasilan *Smart Plantation* tidak hanya ditentukan oleh kesiapan AI, tetapi juga oleh pengembangan SDM, kompetensi digital, dan kemampuan kerja adaptif. Integrasi teknologi dan kapabilitas manusia menjadi fondasi strategis transformasi perkebunan kelapa sawit yang unggul, adaptif, dan berkelanjutan.

Kata kunci: Artificial Intelligence; Smart Plantation; Pengembangan SDM; Kompetensi Digital; Kinerja Berkelanjutan

Abstract

Digital transformation has become a strategic imperative for the palm oil plantation industry to enhance productivity, competitiveness, and sustainability. The application of Artificial Intelligence (AI) through the Smart Plantation concept offers significant opportunities to improve plantation management effectiveness; however, its successful implementation requires technological readiness supported by human resource development and digital competence. This study aims to analyze the mechanism of AI-based human resource transformation in improving sustainable plantation performance. A quantitative approach with an explanatory survey design was employed involving 250 respondents engaged in operational and managerial activities within palm oil plantations. The research model integrates Artificial Intelligence Readiness, Human Resource Development, Digital Competence, Adaptive Work Performance, and Sustainable Plantation Performance. Data were analyzed using Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) with SmartPLS 4. The results demonstrate that all examined structural relationships are positive and significant. The strongest effect was identified between AI readiness and human resource development ($\beta = 0.598$), followed by digital competence on adaptive work performance ($\beta = 0.517$), human resource development on digital competence ($\beta = 0.480$), and adaptive work performance on sustainable plantation performance ($\beta = 0.470$). The model explains 39.8% of the variance in Sustainable

Plantation Performance. These findings confirm that successful Smart Plantation implementation depends not only on AI readiness but also on human resource development, digital competence, and adaptive work performance. The integration of technological readiness and human capabilities therefore provides a strategic foundation for developing a competitive, adaptive, and sustainable palm oil plantation system.

Keywords: *Artificial Intelligence; Smart Plantation; Human Resource Development; Digital Competence; Sustainable Performance*

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit memiliki posisi strategis dalam struktur perekonomian Indonesia karena berperan dalam aktivitas perkebunan, industri pengolahan, perdagangan, penyerapan tenaga kerja, dan pengembangan ekonomi wilayah. Posisi tersebut sekaligus menempatkan industri kelapa sawit pada tuntutan yang semakin kompleks untuk meningkatkan produktivitas tanpa mengabaikan aspek lingkungan, sosial, tata kelola, dan keberlanjutan. Data perkebunan nasional menunjukkan bahwa kelapa sawit tetap menjadi salah satu komoditas perkebunan utama Indonesia dengan skala areal dan produksi yang sangat besar (Badan Pusat Statistik [BPS], 2025). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan daya saing industri kelapa sawit tidak cukup dilakukan melalui perluasan kapasitas produksi, tetapi perlu diarahkan pada peningkatan produktivitas, efisiensi proses, kualitas pengambilan keputusan, kompetensi sumber daya manusia (SDM), dan penerapan teknologi yang mendukung keberlanjutan.

Perubahan lingkungan bisnis dan perkembangan teknologi digital mendorong industri perkebunan memasuki fase transformasi yang lebih intensif. Digitalisasi tidak lagi terbatas pada penggunaan perangkat komputer untuk administrasi, tetapi berkembang menuju integrasi data, otomatisasi, Internet of Things (IoT), sensor, remote sensing, analitik data, machine learning, dan Artificial Intelligence (AI). (Ramadian et al., 2025) Dalam konteks perkebunan, integrasi teknologi tersebut membentuk konsep Smart Plantation, yaitu sistem pengelolaan perkebunan yang memanfaatkan teknologi dan data untuk meningkatkan ketepatan pemantauan, perencanaan, pengendalian, dan pengambilan keputusan. Perkembangan ini sejalan dengan arah penguatan inovasi industri kelapa sawit Indonesia yang menempatkan ilmu pengetahuan dan teknologi sebagai salah satu instrumen penting dalam meningkatkan produktivitas, daya saing, dan keberlanjutan industri.

Artificial Intelligence memiliki potensi strategis dalam pengembangan Smart Plantation karena mampu mengolah data dalam jumlah besar menjadi informasi yang relevan bagi pengambilan keputusan. AI dapat dikembangkan untuk mendukung prediksi

produksi, identifikasi kondisi tanaman, deteksi gangguan dan penyakit, pemantauan aktivitas perkebunan, perencanaan tenaga kerja, pengendalian penggunaan sumber daya, serta evaluasi kinerja operasional. Pemanfaatan teknologi tersebut memungkinkan perusahaan bergerak dari pola pengambilan keputusan yang dominan berdasarkan pengalaman menuju data-driven decision making. Pada tingkat yang lebih luas, digitalisasi juga semakin relevan dengan tuntutan ketertelusuran dan keberlanjutan industri kelapa sawit. Pengembangan Sistem Informasi ISPO, misalnya, menunjukkan arah penguatan integrasi data untuk mendukung sertifikasi, pemantauan keberlanjutan, transparansi, dan traceability industri kelapa sawit nasional (Bpdp & Sawit, 2026);(Abdurrozzaq, et, 2024).

Meskipun demikian, keberhasilan Smart Plantation tidak dapat dipahami hanya sebagai persoalan investasi dan ketersediaan teknologi. Teknologi AI tidak akan menghasilkan peningkatan kinerja secara optimal apabila organisasi tidak memiliki SDM yang mampu memahami, menerima, menggunakan, dan mengintegrasikannya ke dalam proses kerja. Transformasi digital pada dasarnya merupakan perubahan sosio-teknis yang melibatkan interaksi antara teknologi, manusia, struktur organisasi, budaya kerja, dan proses pengambilan keputusan. Dalam konteks tersebut, kompetensi digital SDM menjadi salah satu fondasi penting karena menentukan kemampuan tenaga kerja dalam menggunakan perangkat digital, memahami informasi berbasis data, berinteraksi dengan sistem AI, dan menyesuaikan praktik kerja dengan perkembangan teknologi.

Kesiapan teknologi juga menjadi faktor yang perlu diperhatikan dalam implementasi AI. Organisasi dapat memiliki kebutuhan yang tinggi terhadap transformasi digital, tetapi implementasinya menghadapi hambatan ketika infrastruktur, integrasi sistem, kualitas data, maupun kesiapan pengguna belum memadai. Penelitian mengenai kompetensi digital dan kesiapan teknologi menunjukkan bahwa kedua aspek tersebut berkaitan dengan kemampuan pekerja beradaptasi terhadap AI dan peningkatan kinerja. Hal ini mengindikasikan bahwa manfaat AI tidak bersifat otomatis, tetapi bergantung pada kesiapan manusia dan organisasi dalam mengadopsi serta menggunakannya secara produktif (Maulana et al., 2026).

Budaya organisasi merupakan dimensi lain yang menentukan keberhasilan transformasi. Implementasi teknologi baru sering menimbulkan perubahan pada prosedur, pola komunikasi, distribusi pekerjaan, kompetensi yang dibutuhkan, bahkan cara organisasi memahami kinerja. Budaya yang mendukung pembelajaran, inovasi, keterbukaan terhadap teknologi, kolaborasi, dan pengambilan keputusan berbasis data berpotensi mempercepat proses transformasi. Sebaliknya, resistensi terhadap perubahan,

keterbatasan komunikasi, dan rendahnya kepercayaan terhadap sistem digital dapat menghambat pemanfaatan AI. Penelitian (Shin et al., 2026) memperlihatkan keterkaitan antara budaya digital, kapabilitas digital pekerja, dan kinerja organisasi dalam konteks transformasi menuju keberlanjutan. Temuan tersebut memperkuat argumentasi bahwa transformasi teknologi perlu disertai perubahan pada dimensi manusia dan organisasi.

Selain kompetensi digital dan budaya organisasi, kemampuan adaptif (*adaptive capability*) menjadi semakin penting ketika teknologi berkembang dengan cepat. Kemampuan adaptif menunjukkan kapasitas SDM dan organisasi untuk mempelajari teknologi baru, merespons perubahan lingkungan, menyesuaikan prosedur kerja, serta mengembangkan solusi terhadap permasalahan yang muncul. Pada lingkungan kerja yang semakin dipengaruhi otomatisasi dan AI, kompetensi yang bersifat statis menjadi kurang memadai apabila tidak disertai kemampuan belajar dan beradaptasi secara berkelanjutan. Digitalisasi dengan demikian membutuhkan SDM yang tidak hanya mampu mengoperasikan teknologi, tetapi juga mampu melakukan pembelajaran ulang (*reskilling*) dan peningkatan kompetensi (*upskilling*) sesuai perubahan kebutuhan pekerjaan. (Abdurrozzaq Hasibuan, et., 2026)

Aspek tersebut menjadi relevan bagi industri perkebunan kelapa sawit karena karakteristik kegiatan perkebunan berbeda dengan organisasi berbasis kantor maupun industri digital. Aktivitas perkebunan tersebar secara geografis, melibatkan tenaga kerja dengan karakteristik pendidikan dan pekerjaan yang beragam, menghadapi kondisi lapangan yang dinamis, serta membutuhkan koordinasi antara kegiatan operasional dan manajerial. Studi terbaru pada lanskap kelapa sawit Indonesia juga menunjukkan bahwa inklusi digital memiliki keterkaitan dengan kesiapan pelaku perkebunan dalam menghadapi perubahan yang berorientasi pada keberlanjutan. Temuan ini memperlihatkan bahwa akses dan kemampuan memanfaatkan teknologi perlu ditempatkan sebagai bagian dari strategi transisi perkebunan yang berkelanjutan. (Hasibuan & Nasution, 2026)

Kajian terdahulu menunjukkan bahwa pemanfaatan Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), sensor, dan analitik data memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan sistem pertanian (Macpherson et al., 2022). Dalam konteks perkebunan kelapa sawit, penerapan neural network dan machine learning juga mulai dikembangkan untuk mendukung pertanian presisi dan pengambilan keputusan berbasis data (Terbaru & Presisi, 2023). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih menempatkan transformasi digital dari perspektif teknologi, sementara dimensi manusia dan organisasi yang menentukan keberhasilan implementasinya belum

memperoleh perhatian yang seimbang. Studi mengenai AI readiness menunjukkan bahwa kesiapan organisasi untuk mengadopsi AI bersifat multidimensional dan mencakup aspek informasi, lingkungan, infrastruktur, sumber daya manusia, proses, data, pelanggan, dan teknologi (Tehrani et al., 2024). Pada saat yang sama, adaptive capability dan environmental behavior terbukti berkontribusi terhadap corporate sustainability performance (Algarni et al., 2022), sementara organizational culture, digital strategy, digital skills, dan penggunaan teknologi digital merupakan komponen penting dalam membangun digital transforming capability yang dapat mendorong kinerja inovasi organisasi (Cao et al., 2025). Pada konteks kelapa sawit Indonesia, digital inclusion juga telah ditemukan berkaitan dengan kesiapan pelaku perkebunan menghadapi perubahan yang berorientasi pada keberlanjutan (Hasmin et al., 2026). Namun, masih terbatas penelitian yang mengintegrasikan kesiapan teknologi AI, kompetensi digital SDM, budaya organisasi, kemampuan adaptif, dan kinerja berkelanjutan dalam satu model empiris pada industri perkebunan kelapa sawit. Kesenjangan tersebut menunjukkan perlunya perspektif sosio-teknis yang menempatkan SDM sebagai mekanisme strategis yang menghubungkan kesiapan teknologi dengan pencapaian kinerja berkelanjutan. (Passalacqua et al., 2025)

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan model transformasi SDM berbasis Artificial Intelligence dalam kerangka Smart Plantation yang mengintegrasikan lima konstruk utama, yaitu Artificial Intelligence Readiness (AI), Human Resource Development (HRD), Digital Competence (DC), Adaptive Work Performance (AP), dan Sustainable Plantation Performance (SP). Berbeda dengan penelitian terdahulu yang lebih banyak menempatkan AI dan digitalisasi sebagai instrumen teknis untuk meningkatkan efisiensi pertanian, penelitian ini menggunakan perspektif sosio-teknis dengan menempatkan pengembangan SDM, kompetensi digital, dan kinerja kerja adaptif sebagai mekanisme yang menerjemahkan kesiapan AI menjadi kinerja perkebunan berkelanjutan. Model tersebut dikembangkan secara spesifik pada konteks industri perkebunan kelapa sawit sehingga diharapkan dapat menjelaskan bagaimana kesiapan teknologi dan kapabilitas manusia bekerja secara terintegrasi dalam membentuk Smart Plantation yang produktif, adaptif, unggul, dan berkelanjutan. (Nugroho & Wulandhari, 2025)

Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan Artificial Intelligence Readiness (AI), Human Resource Development (HRD), Digital Competence (DC), Adaptive Work Performance (AP), dan Sustainable Plantation Performance (SP) pada industri perkebunan kelapa sawit serta mengembangkan model transformasi SDM berbasis AI dalam kerangka Smart Plantation. Hubungan antarkonstruk

dianalisis menggunakan Structural Equation Modeling–Partial Least Squares (SEM-PLS). Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi teoretis dalam memperkuat perspektif integrasi manusia dan teknologi pada transformasi perkebunan, sekaligus memberikan dasar empiris bagi perusahaan perkebunan dalam merancang strategi kesiapan AI, pengembangan SDM, penguatan kompetensi digital, peningkatan kemampuan kerja adaptif, dan kinerja perkebunan berkelanjutan. (Insani et al., 2026)

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain survei eksplanatori dan bersifat cross-sectional. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menguji hubungan struktural antara Artificial Intelligence Readiness (AI), Human Resource Development (HRD), Digital Competence (DC), Adaptive Work Performance (AP), dan Sustainable Plantation Performance (SP) dalam kerangka Smart Plantation. Desain eksplanatori dipilih karena penelitian diarahkan tidak hanya untuk menggambarkan tingkat kesiapan transformasi digital, tetapi juga menjelaskan mekanisme hubungan antarkonstruksi yang membentuk transformasi SDM perkebunan kelapa sawit. Data penelitian dikumpulkan pada satu periode pengamatan melalui kuesioner terstruktur kepada responden yang terlibat dalam kegiatan manajerial maupun operasional perkebunan kelapa sawit. (Valtonen et al., 2025)

Objek penelitian adalah transformasi SDM berbasis AI pada organisasi perkebunan kelapa sawit. Populasi penelitian mencakup SDM yang bekerja pada perusahaan atau unit usaha perkebunan kelapa sawit dan memiliki keterlibatan dalam aktivitas operasional, teknis, administrasi, pengawasan, atau manajerial yang berkaitan dengan pemanfaatan teknologi digital. Responden dipilih menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan kriteria: (1) bekerja pada organisasi atau unit perkebunan kelapa sawit; (2) memiliki pengalaman kerja sekurang-kurangnya satu tahun; (3) memahami proses kerja yang menggunakan atau berpotensi menggunakan teknologi digital; dan (4) bersedia berpartisipasi secara sukarela dalam penelitian. Penentuan jumlah sampel mempertimbangkan kompleksitas model struktural dan kebutuhan statistical power dalam analisis PLS-SEM sehingga ukuran sampel tidak hanya didasarkan pada aturan praktis sederhana. (M. Adenuddin Alwy, 2022); (Hartini, 2021)

Model penelitian terdiri atas lima konstruk laten, yaitu Artificial Intelligence Readiness (AI), Human Resource Development (HRD), Digital Competence (DC), Adaptive Work Performance (AP), dan Sustainable Plantation Performance (SP). Artificial

Intelligence Readiness menggambarkan kesiapan infrastruktur, data, integrasi sistem, dukungan teknologi dan manajemen, serta proses implementasi AI. Human Resource Development merepresentasikan upaya organisasi dalam pelatihan, pengembangan kompetensi, pembelajaran, upskilling, reskilling, pengembangan karier, berbagi pengetahuan, dan dukungan pengembangan SDM. Digital Competence menunjukkan kemampuan SDM dalam literasi digital, penggunaan teknologi, pengelolaan informasi dan data, komunikasi digital, pemecahan masalah, pembelajaran teknologi, dan inovasi digital. Adaptive Work Performance menunjukkan kemampuan pekerja menyesuaikan diri terhadap perubahan, teknologi, prosedur, dan kondisi kerja secara fleksibel dan responsif. Sustainable Plantation Performance menggambarkan pencapaian produktivitas, efisiensi operasional dan sumber daya, kinerja ekonomi, sosial, lingkungan, daya saing, serta keberlanjutan jangka panjang.

Instrumen penelitian menggunakan kuesioner terstruktur dengan indikator yang diadaptasi dan dikembangkan berdasarkan literatur terdahulu serta disesuaikan dengan karakteristik pekerjaan di perkebunan kelapa sawit. Seluruh indikator diukur menggunakan skala Likert lima tingkat, mulai dari 1 = sangat tidak setuju sampai 5 = sangat setuju. Sebelum pengumpulan data utama, instrumen ditelaah untuk memastikan kesesuaian isi, kejelasan bahasa, relevansi indikator, dan keterbacaan pertanyaan. Uji awal (pilot test) dilakukan pada kelompok responden yang memiliki karakteristik serupa dengan populasi penelitian untuk mengidentifikasi pertanyaan yang ambigu dan memastikan instrumen dapat dipahami secara konsisten.(Hair et al., 2022)

Pengumpulan data dilakukan melalui penyebaran kuesioner secara langsung dan/atau daring kepada responden yang memenuhi kriteria penelitian. Pada bagian awal kuesioner, responden diberikan informasi mengenai tujuan penelitian, sifat sukarela partisipasi, kerahasiaan informasi, dan penggunaan data hanya untuk kepentingan akademik. Kuesioner tidak meminta informasi pribadi yang tidak relevan dengan tujuan penelitian. Data yang terkumpul selanjutnya melalui tahapan pemeriksaan kelengkapan jawaban, identifikasi data yang tidak layak digunakan, pengkodean, dan penyusunan basis data sebelum dilakukan analisis statistik.(Hair et al., 2022)

Analisis data dilakukan menggunakan Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) dengan perangkat lunak SmartPLS 4. PLS-SEM dipilih karena sesuai untuk penelitian yang berorientasi pada penjelasan dan prediksi konstruk sasaran serta memungkinkan pengujian secara simultan terhadap hubungan antarkonstruk dalam model yang melibatkan sejumlah indikator (Joseph F. Hair Jr, et., 2021);(Hair et al., 2022).

Prosedur analisis dilaksanakan melalui dua tahap utama, yaitu evaluasi model pengukuran (measurement model) dan evaluasi model struktural (structural model).

Evaluasi model pengukuran dilakukan untuk menguji reliabilitas dan validitas konstruk. Untuk konstruk reflektif, reliabilitas indikator dievaluasi melalui nilai outer loading, dengan nilai sekitar 0,708 atau lebih dipertimbangkan sebagai indikator reliabilitas yang baik. Konsistensi internal dievaluasi menggunakan Cronbach's alpha, ρ_A , dan composite reliability (CR), sedangkan validitas konvergen dinilai berdasarkan Average Variance Extracted (AVE) dengan nilai minimum 0,50. Validitas diskriminan terutama dievaluasi menggunakan Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT) untuk memastikan bahwa masing-masing konstruk memiliki karakteristik empiris yang berbeda (Dedi Rianto Rahadi, 2023);(Ringle & Sarstedt, 2021).

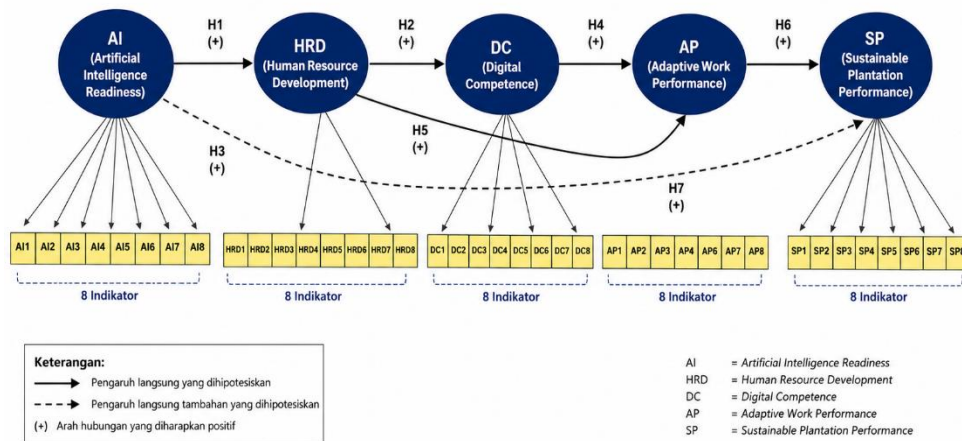
Setelah model pengukuran memenuhi kriteria reliabilitas dan validitas, evaluasi model struktural dilakukan dengan memeriksa kolinearitas melalui Variance Inflation Factor (VIF), koefisien jalur (β), koefisien determinasi (R^2), ukuran efek (f^2), dan relevansi prediktif model. Signifikansi hubungan antarvariabel ditentukan menggunakan prosedur bootstrapping pada SmartPLS 4. Analisis akhir menggunakan jumlah bootstrap subsamples yang memadai, dengan 10.000 subsampel untuk memperoleh estimasi standard error, nilai t, nilai p, dan confidence interval yang stabil. Hubungan antarvariabel dinyatakan signifikan pada tingkat signifikansi 5% apabila nilai $p < 0,05$ dan interval kepercayaan tidak mencakup nol.(Subhaktiyasa, 2024)

Model struktural dirancang untuk menjelaskan mekanisme transformasi SDM berbasis AI dengan Artificial Intelligence Readiness (AI) sebagai pendorong awal, Human Resource Development (HRD) sebagai mekanisme pengembangan kapabilitas manusia, Digital Competence (DC) sebagai kemampuan digital pekerja, Adaptive Work Performance (AP) sebagai kemampuan penyesuaian terhadap perubahan teknologi dan proses kerja, serta Sustainable Plantation Performance (SP) sebagai luaran utama. Model menguji tujuh hubungan langsung, yaitu $AI \rightarrow HRD$, $HRD \rightarrow DC$, $AI \rightarrow DC$, $DC \rightarrow AP$, $HRD \rightarrow AP$, $AP \rightarrow SP$, dan $DC \rightarrow SP$. Pendekatan tersebut memungkinkan penelitian menjelaskan bagaimana kesiapan AI diterjemahkan melalui pengembangan SDM, kompetensi digital, dan kemampuan kerja adaptif menjadi peningkatan kinerja perkebunan berkelanjutan.

Tabel 1. Tujuh Hipotesis Utama

Hipotesis	Hubungan	Dasar Konseptual
H1	AI → HRD	Kesiapan AI mendorong kebutuhan pengembangan SDM
H2	HRD → DC	Pengembangan SDM meningkatkan kompetensi digital
H3	AI → DC	Kesiapan AI mendukung peningkatan kompetensi digital
H4	DC → AP	Kompetensi digital meningkatkan kemampuan kerja adaptif
H5	HRD → AP	Pengembangan SDM memperkuat kemampuan adaptasi kerja
H6	AP → SP	Kemampuan kerja adaptif meningkatkan kinerja perkebunan berkelanjutan
H7	DC → SP	Kompetensi digital meningkatkan kinerja perkebunan berkelanjutan

Model konseptual penelitian dikembangkan untuk menjelaskan mekanisme transformasi SDM berbasis Artificial Intelligence dalam mendukung penerapan Smart Plantation. Model mengintegrasikan lima konstruk utama, yaitu Artificial Intelligence Readiness (AI), Human Resource Development (HRD), Digital Competence (DC), Adaptive Work Performance (AP), dan Sustainable Plantation Performance (SP). (Proceedings, 2023); (Vong et al., 2025) Hubungan antarkonstruk dirancang untuk menggambarkan bagaimana kesiapan AI dapat mendorong pengembangan SDM dan kompetensi digital, memperkuat kemampuan adaptif dalam bekerja, serta berkontribusi terhadap peningkatan kinerja perkebunan yang berkelanjutan. Hubungan konseptual antarvariabel dan arah hipotesis penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Konseptual Transformasi SDM Berbasis Artificial Intelligence dalam Kerangka Smart Plantation

Keterangan: AI = Artificial Intelligence Readiness; HRD = Human Resource Development; DC = Digital Competence; AP = Adaptive Work Performance; SP = Sustainable Plantation Performance.

Sumber: Dikembangkan oleh peneliti (2026).

Gambar 1 menunjukkan bahwa transformasi menuju Smart Plantation diposisikan sebagai proses bertahap yang mengintegrasikan kesiapan teknologi dan pengembangan

kapabilitas SDM. Artificial Intelligence Readiness menjadi faktor awal yang mendorong Human Resource Development dan Digital Competence. Pengembangan SDM selanjutnya memperkuat kompetensi digital dan Adaptive Work Performance, sedangkan kompetensi digital berkontribusi terhadap kemampuan adaptif dan Sustainable Plantation Performance. Pada tahap akhir, Adaptive Work Performance diharapkan meningkatkan kinerja perkebunan berkelanjutan. Model tersebut menegaskan bahwa keberhasilan implementasi AI pada perkebunan kelapa sawit tidak hanya bergantung pada kesiapan teknologi, tetapi juga pada proses pengembangan SDM, penguatan kompetensi digital, dan kemampuan pekerja beradaptasi terhadap perubahan teknologi serta proses kerja.(Vong et al., 2025)

Tabel 2. Operasional Variabel Penelitian

Konstruk	Kode	Indikator/Dimensi Pengukuran	Jumlah Item
<i>Artificial Intelligence Readiness</i> (AI)	AI1-AI8	Infrastruktur AI; kesiapan data; integrasi sistem; dukungan teknologi; kompetensi teknis; dukungan manajemen; kesiapan proses; kesiapan implementasi	8
<i>Human Resource Development</i> (HRD)	HRD1-HRD8	Pelatihan; pengembangan kompetensi; pembelajaran; <i>upskilling</i> ; <i>reskilling</i> ; pengembangan karier; berbagi pengetahuan; dukungan pengembangan SDM	8
<i>Digital Competence</i> (DC)	DC1-DC8	Literasi digital; penggunaan teknologi; pengelolaan informasi; analisis data; komunikasi digital; pemecahan masalah; pembelajaran teknologi; inovasi digital	8
<i>Adaptive Work Performance</i> (AP)	AP1-AP8	Adaptasi perubahan; fleksibilitas kerja; pembelajaran berkelanjutan; responsivitas; penyesuaian proses; pemecahan masalah; adaptasi teknologi; ketangguhan kerja	8
<i>Sustainable Plantation Performance</i> (SP)	SP1-SP8	Produktivitas; efisiensi operasional; efisiensi sumber daya; kinerja ekonomi; kinerja sosial; kinerja lingkungan; daya saing; keberlanjutan jangka panjang	8
Total	AI1-SP8	5 konstruk penelitian	40

Sumber: Dikembangkan dan diadaptasi dari literatur untuk penelitian ini (2026).

Berdasarkan Tabel 2, lima konstruk penelitian dioperasionalkan menjadi 40 indikator yang terdiri atas masing-masing delapan indikator untuk AI, HRD, DC, AP, dan SP. Indikator diadaptasi dari literatur dan disesuaikan dengan konteks SDM perkebunan kelapa sawit. Seluruh indikator diukur menggunakan skala Likert lima tingkat, mulai dari 1 = sangat tidak setuju hingga 5 = sangat setuju. Data selanjutnya dianalisis menggunakan PLS-SEM dengan SmartPLS 4 untuk mengevaluasi model pengukuran dan model struktural.

Pengumpulan data dilakukan melalui penyebaran kuesioner terstruktur kepada responden yang memenuhi kriteria penelitian. Partisipasi responden bersifat sukarela dengan tetap menjaga kerahasiaan informasi yang diberikan, dan seluruh data digunakan hanya untuk kepentingan akademik. Kuesioner yang terkumpul selanjutnya melalui proses screening untuk memastikan kelengkapan dan konsistensi jawaban. Data yang memenuhi kriteria kemudian dikodekan dan dipersiapkan untuk tahap analisis.(Hair et al., 2022)

Analisis data dilakukan menggunakan Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) dengan perangkat lunak SmartPLS 4. Prosedur analisis terdiri atas evaluasi model pengukuran (measurement model) dan model struktural (structural model). Model pengukuran dievaluasi melalui outer loading, Cronbach's alpha, rho_A, composite reliability (CR), dan Average Variance Extracted (AVE), sedangkan validitas diskriminan dinilai menggunakan Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT). Setelah kriteria reliabilitas dan validitas terpenuhi, evaluasi model struktural dilakukan dengan menguji Variance Inflation Factor (VIF), koefisien jalur (β), koefisien determinasi (R^2), effect size (f^2), dan relevansi prediktif model. Signifikansi hubungan antarkonstruk diuji melalui prosedur bootstrapping sebanyak 10.000 subsampel pada tingkat signifikansi 5% (Hair et al., 2021; Ringle et al., 2023). Prosedur tersebut digunakan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam menjelaskan hubungan antara Artificial Intelligence Readiness, Human Resource Development, Digital Competence, Adaptive Work Performance, dan Sustainable Plantation Performance.(Ștefan, Simona Cătălina, at., 2024)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Responden

Penelitian melibatkan 250 responden yang berasal dari SDM pada kegiatan perkebunan kelapa sawit. Karakteristik responden dianalisis berdasarkan jenis kelamin, usia, tingkat pendidikan, jabatan, dan masa kerja. Informasi tersebut digunakan untuk memberikan gambaran mengenai latar belakang responden yang menjadi unit analisis serta memastikan keterwakilan SDM yang terlibat dalam aktivitas operasional dan manajerial perkebunan. Distribusi karakteristik responden disajikan pada Tabel 3.

Penelitian melibatkan 250 responden yang bekerja pada berbagai fungsi operasional dan pendukung di lingkungan perkebunan kelapa sawit. Karakteristik responden dianalisis berdasarkan jenis kelamin, usia, tingkat pendidikan, jabatan, dan masa

kerja untuk memberikan gambaran mengenai profil SDM yang menjadi unit analisis penelitian. Distribusi karakteristik responden disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Responden Penelitian

Karakteristik	Kategori	Frekuensi (n)	Persentase (%)
Jenis Kelamin	Laki-laki	169	67,6
	Perempuan	81	32,4
Usia	20-29 tahun	41	16,4
	30-39 tahun	92	36,8
	40-49 tahun	82	32,8
	50-59 tahun	35	14,0
Pendidikan	SMA/SMK	126	50,4
	D3	35	14,0
	S1	74	29,6
	S2	15	6,0
Jabatan	Operator	85	34,0
	Mandor	40	16,0
	Staf Lapangan	35	14,0
	Teknisi	32	12,8
	Asisten	30	12,0
	Staf Administrasi	28	11,2
Masa Kerja	<5 tahun	67	26,8
	5-10 tahun	67	26,8
	11-15 tahun	68	27,2
	>15 tahun	48	19,2
Total Responden		250	100,0

Sumber: Data penelitian diolah (2026).

Berdasarkan Tabel 3, responden didominasi oleh laki-laki sebesar 67,6% dan kelompok usia 30-39 tahun sebesar 36,8%. Dari tingkat pendidikan, sebagian besar responden berpendidikan SMA/SMK (50,4%), diikuti S1 (29,6%). Berdasarkan jabatan, operator merupakan kelompok terbesar dengan proporsi 34,0%, sedangkan masa kerja responden relatif tersebar, dengan proporsi terbesar berada pada kelompok 11-15 tahun sebesar 27,2%. Komposisi tersebut menunjukkan bahwa penelitian melibatkan SDM dengan karakteristik pendidikan, jabatan, dan pengalaman kerja yang beragam, sehingga relevan untuk mengevaluasi kesiapan AI, pengembangan SDM, kompetensi digital, kemampuan adaptif, dan kinerja perkebunan berkelanjutan.

Karakteristik pada Tabel 3 menunjukkan bahwa responden memiliki latar belakang pekerjaan, pendidikan, usia, dan pengalaman kerja yang beragam. Keragaman tersebut memberikan dasar yang relevan untuk mengevaluasi kesiapan penerapan AI dan transformasi SDM karena kemampuan menerima, menggunakan, dan beradaptasi terhadap teknologi digital dapat berkembang dalam kondisi demografis dan pengalaman kerja yang berbeda.

Evaluasi Model Pengukuran

Evaluasi model pengukuran dilakukan untuk memastikan bahwa indikator mampu mengukur konstruk penelitian secara reliabel dan valid. Penilaian dilakukan berdasarkan outer loading, Cronbach's alpha, composite reliability (CR), dan Average Variance Extracted (AVE). Secara umum, nilai outer loading sebesar 0,708 atau lebih menunjukkan reliabilitas indikator yang memadai, sedangkan nilai reliabilitas konstruk di atas 0,70 dan AVE di atas 0,50 menunjukkan konsistensi internal dan validitas konvergen yang dapat diterima (Hair et al., 2021). Hasil evaluasi model pengukuran disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Evaluasi Reliabilitas dan Validitas Konvergen

Konstruk	Indikator	Outer Loading	Cronbach's Alpha	CR	AVE
Artificial Intelligence Readiness (AI)	AI1-AI8	0,781-0,848	0,930	0,943	0,673
Human Resource Development (HRD)	HRD1-HRD8	0,707-0,873	0,925	0,939	0,657
Digital Competence (DC)	DC1-DC8	0,740-0,825	0,909	0,926	0,612
Adaptive Work Performance (AP)	AP1-AP8	0,741-0,848	0,924	0,937	0,652
Sustainable Plantation Performance (SP)	SP1-SP8	0,750-0,833	0,916	0,932	0,631

Sumber: Data penelitian diolah (2026).

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai outer loading indikator berada pada rentang yang memadai. Seluruh konstruk memiliki Cronbach's alpha dan CR di atas 0,70 serta AVE di atas 0,50. Hasil tersebut menunjukkan bahwa AI, HRD, DC, AP, dan SP memiliki konsistensi internal dan validitas konvergen yang memadai. Dengan demikian, model pengukuran memenuhi kriteria untuk dilanjutkan pada pengujian validitas diskriminan.

Validitas diskriminan dievaluasi menggunakan Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT). Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa masing-masing konstruk mengukur konsep yang berbeda secara empiris. Hasil pengujian HTMT disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT)

Konstruk	AI	HRD	DC	AP	SP
AI	-				
HRD	0,645	-			
DC	0,495	0,633	-		
AP	0,350	0,541	0,691	-	
SP	0,489	0,464	0,565	0,661	-

Sumber: Data penelitian diolah (2026).

Seluruh nilai HTMT pada Tabel 5 berada di bawah 0,85, dengan nilai tertinggi sebesar 0,691 pada hubungan DC dan AP. Hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap

konstruk memiliki validitas diskriminan yang memadai. Dengan demikian, Artificial Intelligence Readiness, Human Resource Development, Digital Competence, Adaptive Work Performance, dan Sustainable Plantation Performance dapat diperlakukan sebagai konstruk yang berbeda dalam model struktural.

Evaluasi Model Struktural

Setelah model pengukuran memenuhi kriteria reliabilitas dan validitas, analisis dilanjutkan dengan evaluasi model struktural. Kemampuan model dalam menjelaskan konstruk endogen dievaluasi melalui koefisien determinasi (R^2). Hasil pengujian menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan penjelasan yang moderat terhadap konstruk endogen sebagaimana disajikan pada Tabel 6.

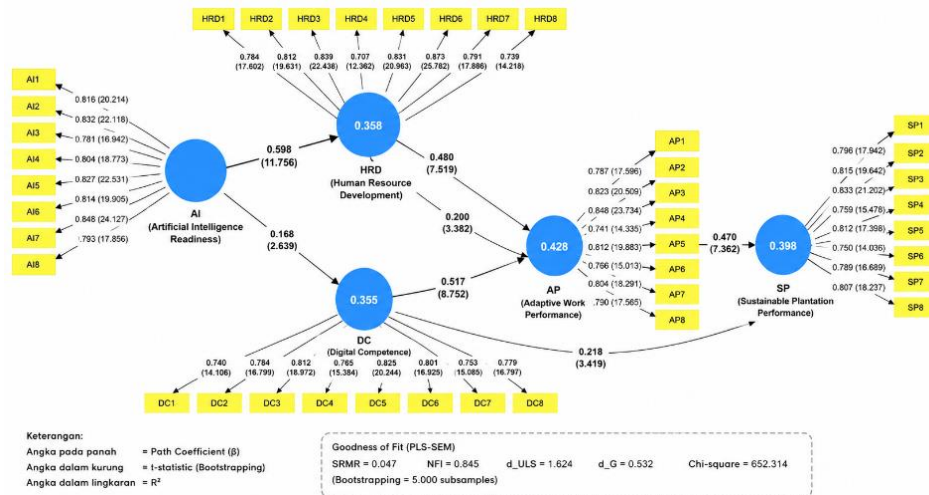
Tabel 6. Koefisien Determinasi Model Struktural

Konstruk Endogen	R^2	Interpretasi
Human Resource Development (HRD)	0,358	Moderat
Digital Competence (DC)	0,355	Moderat
Adaptive Work Performance (AP)	0,428	Moderat
Sustainable Plantation Performance (SP)	0,398	Moderat

Sumber: Data penelitian diolah (2026).

Nilai R^2 menunjukkan bahwa Artificial Intelligence Readiness mampu menjelaskan 35,8% variasi HRD. Kombinasi AI dan HRD menjelaskan 35,5% variasi DC, sedangkan HRD dan DC mampu menjelaskan 42,8% variasi AP. Pada konstruk akhir, DC dan AP menjelaskan 39,8% variasi SP. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan penjelasan pada tingkat moderat dan mengindikasikan bahwa transformasi SDM, kompetensi digital, serta kemampuan adaptif merupakan komponen penting dalam menjelaskan kinerja perkebunan berkelanjutan.

Hasil model struktural secara keseluruhan divisualisasikan pada Gambar 2. Visualisasi tersebut memperlihatkan koefisien jalur dan nilai R^2 pada masing-masing konstruk endogen sehingga mekanisme transformasi SDM berbasis AI menuju Sustainable Plantation Performance dapat diamati secara lebih komprehensif.



Gambar 2. Hasil Model Struktural PLS-SEM Transformasi SDM Berbasis Artificial Intelligence pada Smart Plantation

Pengujian Hipotesis

Pengujian hubungan struktural dilakukan untuk mengetahui arah, besarnya pengaruh, dan signifikansi hubungan antarkonstrukt. Keputusan hipotesis didasarkan pada koefisien jalur (β), t-statistic, p-value, dan effect size (f^2). Hasil pengujian hubungan struktural disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Hipotesis Model Struktural

Hipotesis	Hubungan	β	t-statistic	p-value	f^2	Keputusan
H1	AI $\rightarrow$ HRD	0,598	11,756	<0,001	0,557	Diterima
H2	HRD $\rightarrow$ DC	0,480	7,519	<0,001	0,229	Diterima
H3	AI $\rightarrow$ DC	0,168	2,639	0,009	0,028	Diterima
H4	DC $\rightarrow$ AP	0,517	8,752	<0,001	0,310	Diterima
H5	HRD $\rightarrow$ AP	0,200	3,382	<0,001	0,046	Diterima
H6	AP $\rightarrow$ SP	0,470	7,362	<0,001	0,219	Diterima
H7	DC $\rightarrow$ SP	0,218	3,419	<0,001	0,047	Diterima

Sumber: Data penelitian diolah (2026).

Hasil pada Tabel 7 menunjukkan bahwa seluruh hubungan yang diuji memiliki arah positif dan signifikan. Pengaruh terbesar ditemukan pada hubungan AI terhadap HRD ($\beta = 0,598$; $p < 0,001$), diikuti DC terhadap AP ($\beta = 0,517$; $p < 0,001$), HRD terhadap DC ($\beta = 0,480$; $p < 0,001$), dan AP terhadap SP ($\beta = 0,470$; $p < 0,001$). Pola hubungan tersebut menunjukkan bahwa kesiapan AI tidak bekerja secara terisolasi, tetapi diterjemahkan melalui pengembangan SDM, peningkatan kompetensi digital, dan kemampuan adaptif sebelum menghasilkan peningkatan kinerja perkebunan berkelanjutan.

Gambar 2 memperlihatkan jalur transformasi utama AI $\rightarrow$ HRD $\rightarrow$ DC $\rightarrow$ AP $\rightarrow$ SP. Jalur tersebut menunjukkan bahwa kesiapan AI menjadi titik awal transformasi,

sedangkan pengembangan SDM dan kompetensi digital berfungsi sebagai kapabilitas yang memungkinkan pekerja beradaptasi terhadap perubahan teknologi dan proses kerja. Selanjutnya, kemampuan adaptif memberikan kontribusi terhadap pencapaian kinerja perkebunan yang berkelanjutan. Temuan ini memperlihatkan bahwa keberhasilan Smart Plantation merupakan hasil interaksi antara kesiapan teknologi dan kemampuan manusia dalam memanfaatkan serta beradaptasi terhadap teknologi tersebut.

Transformasi AI dan Pengembangan SDM

Pengaruh AI terhadap HRD merupakan hubungan terkuat dalam model ($\beta = 0,598$; $f^2 = 0,557$). Temuan tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan kesiapan organisasi dalam menerapkan AI berkaitan erat dengan kebutuhan pengembangan kapasitas SDM. Implementasi AI pada perkebunan kelapa sawit membutuhkan pekerja yang tidak hanya mampu mengoperasikan teknologi, tetapi juga memahami data, menyesuaikan prosedur kerja, dan mengembangkan kompetensi yang relevan dengan perubahan pekerjaan. Dengan demikian, investasi pada teknologi AI perlu berjalan bersama program upskilling, reskilling, pembelajaran berkelanjutan, dan pengembangan kompetensi SDM.

Pengaruh langsung AI terhadap DC juga positif dan signifikan ($\beta = 0,168$; $p = 0,009$), tetapi memiliki effect size relatif kecil ($f^2 = 0,028$). Perbedaan kekuatan tersebut memberikan temuan penting bahwa ketersediaan dan kesiapan AI saja belum cukup untuk membentuk kompetensi digital yang kuat. Pengembangan SDM menjadi mekanisme yang lebih substantif karena HRD memberikan pengaruh sebesar $\beta = 0,480$ terhadap DC. Hal ini menunjukkan bahwa organisasi perkebunan perlu menghindari pendekatan transformasi digital yang hanya berorientasi pada pengadaan teknologi tanpa investasi yang memadai pada pengembangan manusia.

Kompetensi Digital dan Kemampuan Adaptif

Digital Competence memberikan pengaruh positif yang kuat terhadap Adaptive Work Performance ($\beta = 0,517$; $f^2 = 0,310$). Temuan tersebut menunjukkan bahwa pekerja yang mampu menggunakan teknologi digital, memahami informasi berbasis data, menyelesaikan masalah menggunakan perangkat digital, dan mempelajari teknologi baru cenderung memiliki kemampuan lebih tinggi dalam menyesuaikan diri terhadap perubahan pekerjaan. HRD juga berpengaruh positif terhadap AP ($\beta = 0,200$; $p < 0,001$), meskipun kekuatannya lebih rendah dibandingkan pengaruh DC. Hasil ini memperlihatkan bahwa program pengembangan SDM akan menghasilkan kemampuan adaptif yang lebih efektif

apabila berhasil diterjemahkan menjadi kompetensi digital yang dapat diterapkan dalam pekerjaan.

Adaptive Work Performance dan Kinerja Perkebunan Berkelanjutan

Adaptive Work Performance memberikan pengaruh positif dan signifikan terhadap Sustainable Plantation Performance ($\beta = 0,470$; $f^2 = 0,219$). Hasil ini menunjukkan bahwa kemampuan SDM dalam menyesuaikan diri terhadap teknologi, perubahan prosedur, dan kondisi operasional menjadi salah satu mekanisme utama dalam menghasilkan kinerja perkebunan yang berkelanjutan. Digital Competence juga memberikan pengaruh langsung terhadap SP ($\beta = 0,218$; $p < 0,001$), yang menunjukkan bahwa kompetensi digital dapat memberikan manfaat terhadap kinerja sekaligus bekerja melalui peningkatan kemampuan adaptif.

Secara keseluruhan, temuan penelitian membentuk mekanisme transformasi **AI Readiness $\rightarrow$ Human Resource Development $\rightarrow$ Digital Competence $\rightarrow$ Adaptive Work Performance $\rightarrow$ Sustainable Plantation Performance**. Pola tersebut menegaskan bahwa *Smart Plantation* tidak cukup dibangun melalui adopsi AI, sensor, sistem informasi, atau otomatisasi. Teknologi perlu dikombinasikan dengan strategi pengembangan SDM yang sistematis agar mampu membentuk kompetensi digital dan perilaku kerja adaptif. Integrasi teknologi dan kapabilitas manusia tersebut menjadi fondasi bagi peningkatan produktivitas, efisiensi operasional, kemampuan merespons perubahan, serta pencapaian kinerja perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa transformasi menuju *Smart Plantation* berbasis *Artificial Intelligence* tidak hanya ditentukan oleh kesiapan teknologi, tetapi juga oleh kemampuan organisasi dalam mengembangkan kompetensi dan adaptabilitas SDM. *Artificial Intelligence Readiness* berperan penting dalam mendorong *Human Resource Development* dan *Digital Competence*, sementara pengembangan SDM memperkuat kompetensi digital serta *Adaptive Work Performance*. Kompetensi digital selanjutnya meningkatkan kemampuan adaptif dan berkontribusi terhadap *Sustainable Plantation Performance*. Seluruh hubungan yang diuji dalam model menunjukkan arah positif dan signifikan, dengan pengaruh AI terhadap pengembangan SDM sebagai hubungan yang paling kuat. Temuan ini menegaskan bahwa pengembangan SDM merupakan komponen

strategis yang menghubungkan kesiapan teknologi dengan kemampuan organisasi perkebunan dalam menghadapi transformasi digital.

Secara konseptual, penelitian ini menghasilkan model transformasi AI Readiness → Human Resource Development → Digital Competence → Adaptive Work Performance → Sustainable Plantation Performance. Model tersebut menunjukkan bahwa penerapan AI pada perkebunan kelapa sawit perlu ditempatkan dalam kerangka transformasi sosio-teknis yang mengintegrasikan teknologi dengan kapabilitas manusia. Kontribusi utama penelitian terletak pada penegasan bahwa keberhasilan *Smart Plantation* tidak cukup dicapai melalui investasi pada AI, otomatisasi, dan infrastruktur digital, tetapi membutuhkan pengembangan SDM yang sistematis untuk membentuk kompetensi digital dan perilaku kerja adaptif sebagai penggerak kinerja perkebunan yang produktif, unggul, dan berkelanjutan.

Berdasarkan temuan penelitian, perusahaan perkebunan kelapa sawit disarankan mengintegrasikan strategi penerapan AI dengan program pengembangan SDM melalui *upskilling*, *reskilling*, pelatihan kompetensi digital, pembelajaran berbasis teknologi, serta penguatan kemampuan adaptasi terhadap perubahan proses kerja. Implementasi *Smart Plantation* juga perlu dilakukan secara bertahap dengan mempertimbangkan kesiapan teknologi, kebutuhan kompetensi setiap kelompok pekerjaan, dan pencapaian kinerja ekonomi, operasional, sosial, serta lingkungan. Penelitian selanjutnya dapat memperluas model dengan mempertimbangkan faktor organisasi dan teknologi lainnya serta menggunakan desain longitudinal atau pendekatan multikelompok untuk menguji konsistensi model pada berbagai karakteristik perusahaan dan SDM perkebunan kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrozzaq, et, al. (2024). Model for the Development of Human Resources Quality in Foreign Companies. *Science and Technology Research Symposium 2022*, 030007. <https://doi.org/10.1063/5.0232748>
- Abdurrozzaq Hasibuan, el., al. (2026). *MANAJEMEN PERUSAHAAN INDUSTRI MODERN; Strategi, Sistem, Human Resource Development dan Artificial Intelligence di Era Industri 4.0 dan Society 5.0*. Padang: Bashaed.
- Bpdp, G. R., & Sawit, K. (2026). *Panduan Teknis Tata Cara Pengajuan Proposal Penelitian dan Pengembangan Kelapa Sawit, Kakao dan Kelapa* (Issue 16). Badan Pengelola Dana Perkebunan (BPDP).

- Cao, G., Duan, Y., & Edwards, J. S. (2025). Information & Management Organizational culture , digital transformation , and product innovation. *Information & Management*, 62(4), 104135. <https://doi.org/10.1016/j.im.2025.104135>
- Dedi Rianto Rahadi. (2023). *Introduction to Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)* (Issue August). Penerbit Lentara Ilmu Madani. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7>
- Djunaedi. (2025). Digital Transformation and the Strategic Role of Human Resources in Improving Organizational Performance. *Majority Science Journal (MSJ)*, 3(1), 123–134. <https://doi.org/10.61942/msj.v3i1.275>
- Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2022). *Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R* (Issue July). Classroom Companion: Business. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7>
- Hartini, et. a. (2021). *MSDM (Digitalisasi Human Resources)*. CV. Media Sains Indonesia.
- Hasibuan, A., & Nasution, S. P. (2026). *Manajemen Risiko Industri: Konsep, Metode, dan Implementasi pada Sistem Teknik Industri, Perkebunan, dan Pertanian*. GEMILANG PRESS INDONESIA.
- Insani, C. N., Riyanto, E., Muhammad, A., Mansyur, I. H., Budiwati, S. D., Tjondronegoro, N. N., & Trisnawan, A. B. (2026). *AI & Data Science : Teori, Model, dan Praktik untuk Inovasi Digital*. Lingkar Edukasi Indonesia.
- Joseph F. Hair Jr, et., at. (2021). *Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R*. Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7>
- M. Adenuddin Alwy. (2022). Manajemen Sumber Daya Manusia di Era Digital Melalui Lensa Manajer Sumber Daya Manusia Generasi Berikutnya. *Sibatik Journal*, 1(10), 2265–2276. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=gJOIEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=peran+teknologi+dalam+rekrutmen+dan+seleksi+karyawan&ots=TFsODQt042&sig=_-ziYxP4ySNHMjgwozSOH2AAfdU
- Macpherson, J., Voglhuber-slavinsky, A., Olbrisch, M., Schöbel, P., & Dönitz, E. (2022). Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals . A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(70). <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00792-6>
- Miraz, M. H., & Annamalah, S. (2025). Integrating PLS-SEM and NVivo in Mixed-Methods Educational Research : A Comprehensive Evaluation of Quantitative and

- Qualitative Analytical Tools. *Educational Process International Journal*, 19 (1), 1–34. <https://doi.org/10.22521/edupij.2025.19.531>
- Nugroho, A., & Wulandhari, O. (2025). Digital transformation in human resource management practices : a systematic meta-analysis of the industrial era 4 . 0. *Enrichment : Journal of Management*, 15(5). <https://doi.org/10.18845/te.v18i3.7289>
- Passalacqua, M., Pellerin, R., Magnani, F., Doyon-poulin, P., Del-aguila, L., Boasen, J., Léger, P., Passalacqua, M., Pellerin, R., Magnani, F., & Doyon-, P. (2025). Human-Centred AI in Industry 5.0 : a Systematic Review. *International Journal of Production Research*, 63(7), 2638–2669. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2406021>
- Proceedings, C. (2023). *Rediscovering Local Roots and Interactions in Management* (Issues 29-30 June 2023). The Conference Proceedings are published online on <https://www.sijmsima.it> © 2023. <https://doi.org/10.7433/SRECP.LP.2023.01>
- Ramadian, A., Nurlinda, D. Z., & Ramadhina, N. (2025). Digital transformation in HR Planning : Adaptation strategies and challenges in the industrial revolution 5 . 0 era. *Jurnal Akuntansi Dan Manajemen*, 22(01), 39–52. <https://doi.org/10.36406/jam.v22i1.137>
- Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2021). *Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R*. Springer Nature Switzerland AG.
- Shin, J., Mollah, A., & Choi, J. (2026). Sustainability and Organizational Performance in South Korea : The Effect of Digital Leadership on Digital Culture and Employees ' Digital Capabilities. *MDPI – Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15032027>
- Ștefan, Simona Cătălina, at., et. (2024). Implications of Artificial Intelligence on Organizational Agility: A PLS-SEM and PLS-POS Approach. *Amfiteatru Economic (AE)*, April. <https://doi.org/10.24818/EA/2024/66/403>
- Subhaktiyasa, P. G. (2024). PLS-SEM for Multivariate Analysis : A Practical Guide to Educational Research Using Smart-PLS. *Journal of Education and Learning Innovation*, 4(3). <https://doi.org/10.35877/454RI.eduline2861>
- Sucianti, R., Ambalele, E., & Tellu, A. H. (2023). Human Resource Management Transformation in the Digital Age : Recent Trends and Implications. *International Journal of Applied Research and Sustainable Sciences (IJARSS)*, 1(3), 239–258. <https://doi.org/10.59890/ijarss.v1i3.902>
- Terbaru, G., & Presisi, P. (2023). Pemanfaatan Model Neural Network dalam Generasi

- Baru Pertanian Presisi di Perkebunan Kelapa Sawit. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 28(1), 39–54. <https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v28i1.97>
- Valtonen, A., Saunila, M., Ukko, J., Treves, L., & Ritala, P. (2025). AI and employee wellbeing in the workplace : An empirical study. *Journal of Business Research*, 199(July), 115584. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2025.115584>
- Vong, K. C., Udomvitid, K., Ueki, Y., Intalar, N., Pongsathornwiwat, A., Pannakkong, W., Komolavanij, S., & Jeenanunta, C. (2025). Strategic Human Resource Development for Industry 4.0 Readiness : A Sustainable Transformation Framework for Emerging Economies. *Transformation Framework for Emerging Economies. Sustainability*, 17(6988.), 1–35. <https://doi.org/10.3390/su17156988>
- Algarni, M. A., Ali, M., Albort-Morant, G., Leal-Rodríguez, A. L., Latan, H., Ali, I., & Ullah, S. (2022). Make green, live clean! Linking adaptive capability and environmental behavior with financial performance through corporate sustainability performance. *Journal of Cleaner Production*, 346, 131156. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131156>
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Statistik tanaman perkebunan tahunan Indonesia 2024 (Kelapa sawit, kopi, kakao, karet, teh, dan komoditas perkebunan unggulan)*. Badan Pusat Statistik.