

AGRO-TECHNOPRENEURSHIP DI ERA ARTIFICIAL INTELLIGENCE: MENJEMBATANI INOVASI DIGITAL, PRODUKTIVITAS, DAN KEBERLANJUTAN PERTANIAN

Nugrahini Susantinah Wisnujati¹, Dewa Oka Suparwata², Suherlan³

¹Universitas Wijaya Kusuma Surabaya, Jl. Dukuh Kupang XXV No.54, Surabaya, Jawa Timur 60225, Indonesia

²Universitas Muhammadiyah Gorontalo, Jl. Prof. Dr. H. Mansoer Pateda Gorontalo, Gorontalo 96181, Indonesia

³Universitas Subang, Jl. Raden Ajeng Kartini, Subang, Jawa Barat 41285, Indonesia

Email: wisnujatinugrahini@uwks.ac.id

Article History

Received: 07-05-2026

Revision: 25-05-2026

Accepted: 29-05-2026

Published: 03-06-2026

Abstract. This study aims to comprehensively examine the role of agro-technopreneurship in the era of Artificial Intelligence in bridging digital innovation, productivity improvement, and agricultural sustainability. This research employed a literature review method with a qualitative approach. The data was obtained from Google Scholar for the period 2014–2026. Of the 50 articles identified, 33 were selected based on their relevance to the study. The data analysis technique used descriptive qualitative analysis through data reduction, data presentation, and conclusion drawing. The findings indicate that entrepreneurship education plays an important role in shaping innovative mindsets and technological adaptability, the development of superior human resources enhances analytical capacity and productivity, AI-based digital innovation accelerates efficiency and the transformation of agricultural business models, while sustainability ensures a balance between economic, social, and environmental aspects. The integration of these four aspects creates a synergy that strengthens the competitiveness of agro-technopreneurship in facing global challenges. The limitation of this study lies in the use of a literature review method, which does not provide an in-depth representation of empirical conditions and variations in local contexts. Further research is recommended to employ empirical studies and an integrative model of agro-technopreneurship so that the relationships between variables can be tested in a more contextual and measurable manner.

Keywords: Agro-Technopreneurship, Artificial Intelligence, Digital Innovation, Sustainability, Agricultural Productivity

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif peran *agro-technopreneurship* di era *Artificial Intelligence* dalam menjembatani inovasi digital, peningkatan produktivitas, dan keberlanjutan sektor pertanian. Metode penelitian ini menggunakan tinjauan pustaka dengan pendekatan kualitatif. Data diperoleh dari *Google Scholar* periode 2014–2026. Dari 50 artikel yang ditemukan, sebanyak 33 artikel dipilih berdasarkan relevansi penelitian. Teknik analisis data menggunakan analisis deskriptif kualitatif melalui reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Hasil kajian menunjukkan bahwa pendidikan kewirausahaan berperan dalam membentuk pola pikir inovatif dan kesiapan adaptasi teknologi, pengembangan SDM unggul meningkatkan kapasitas analitis dan produktivitas, inovasi digital berbasis AI mempercepat efisiensi serta transformasi model bisnis pertanian, sementara keberlanjutan memastikan keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Integrasi keempat aspek tersebut menciptakan sinergi yang memperkuat daya saing *agro-technopreneurship* dalam menghadapi tantangan global. Keterbatasan penelitian ini terletak pada penggunaan metode tinjauan pustaka yang belum merepresentasikan kondisi empiris dan variasi konteks lokal secara mendalam. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan studi empiris dan model integratif *agro-technopreneurship* agar hubungan antar variabel dapat diuji secara lebih kontekstual dan terukur.

Kata Kunci: *Agro-Technopreneurship*, *Artificial Intelligence*, Inovasi Digital, Keberlanjutan, Produktivitas Pertanian

How to Cite: Wisnujati, N. S., Suparwata, D. O., & Suherlan. (2026). *Agro-Technopreneurship* di Era *Artificial Intelligence*: Menjembatani Inovasi Digital, Produktivitas, dan Keberlanjutan Pertanian. *HORIZON: Indonesian Journal of Multidisciplinary*, 4 (3), 1442-1458. <http://doi.org/10.54373/hijm.v4i3.5651>

PENDAHULUAN

Pendidikan kewirausahaan dalam konteks *agro-technopreneurship* berperan dalam membentuk pola pikir inovatif dan adaptif terhadap perkembangan teknologi. Proses pembelajaran yang mengintegrasikan aspek agribisnis dan teknologi digital mendorong lahirnya pelaku usaha pertanian yang kreatif serta berorientasi pada solusi berbasis data. Literatur menunjukkan bahwa pendidikan kewirausahaan berbasis teknologi mampu meningkatkan intensi berwirausaha serta kemampuan individu dalam mengidentifikasi peluang bisnis di sektor pertanian modern (Liang et al., 2025). Kurikulum yang menerapkan pendekatan berbasis proyek dan pengalaman langsung memberikan ruang eksplorasi terhadap dinamika pasar serta tantangan implementasi teknologi di lapangan. Penguatan kapasitas ini menjadi landasan dalam menciptakan generasi *agro-technopreneur* yang mampu memanfaatkan AI untuk meningkatkan efisiensi produksi dan distribusi. Institusi pendidikan memiliki peran strategis dalam menjembatani kesenjangan antara teori akademik dan praktik industri pertanian. Integrasi pembelajaran kewirausahaan dan teknologi memperkuat fondasi pengembangan ekosistem *agro-technopreneurship*. Pendidikan berfungsi sebagai penggerak transformasi pertanian yang lebih inovatif dan berbasis teknologi.

Pengembangan sumber daya manusia unggul menjadi faktor penentu dalam keberhasilan implementasi *agro-technopreneurship* di era *Artificial Intelligence*. SDM yang memiliki literasi digital, kemampuan analisis data, serta pemahaman terhadap teknologi AI akan lebih siap menghadapi perubahan dalam sektor pertanian. Perspektif *human capital theory* menjelaskan bahwa investasi pada pendidikan dan pelatihan meningkatkan produktivitas serta kualitas tenaga kerja secara berkelanjutan (Becker, 1964). Dalam praktik pertanian modern, kompetensi seperti penggunaan sensor, analisis data cuaca, dan sistem otomatisasi menjadi bagian dari kebutuhan utama.

Inovasi digital berbasis Artificial Intelligence menjadi elemen strategis dalam meningkatkan produktivitas pertanian secara signifikan. Teknologi seperti *machine learning*, *Internet of Things* (IoT), dan sistem prediksi berbasis data memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih akurat dan efisien dalam aktivitas pertanian. Penerapan AI dalam pertanian presisi mampu mengoptimalkan penggunaan pupuk, air, dan pestisida sehingga menghasilkan efisiensi biaya sekaligus peningkatan hasil panen. Literatur menunjukkan bahwa adopsi teknologi digital berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi operasional serta penurunan risiko kegagalan panen akibat faktor lingkungan (Nguyen et al., 2025). Transformasi ini juga membuka peluang bagi pengembangan model bisnis agribisnis yang lebih fleksibel dan berbasis teknologi. Dampak inovasi digital tidak terbatas pada proses

produksi, melainkan mencakup distribusi dan pemasaran produk pertanian secara lebih luas. Integrasi teknologi dalam seluruh rantai nilai pertanian menciptakan keunggulan kompetitif yang sulit ditiru. Inovasi digital berbasis AI menjadi pendorong utama dalam penguatan agro-technopreneurship.

Keberlanjutan dalam sektor pertanian semakin mendapatkan perhatian seiring meningkatnya tekanan terhadap sumber daya alam dan perubahan iklim global. Konsep pertanian berkelanjutan menekankan keseimbangan antara produktivitas ekonomi, kelestarian lingkungan, dan kesejahteraan sosial dalam jangka panjang. Agro-technopreneurship memiliki potensi besar dalam mendorong praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan melalui pemanfaatan teknologi berbasis AI. Sistem *monitoring* berbasis data memungkinkan pengelolaan sumber daya yang lebih efisien serta pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan. Literatur menunjukkan bahwa penggunaan teknologi dalam pertanian dapat meningkatkan efisiensi sekaligus menjaga keberlanjutan ekosistem (Gamage et al., 2024). Pendekatan ini mendorong lahirnya inovasi yang berorientasi pada solusi lingkungan dan efisiensi sumber daya. Integrasi prinsip keberlanjutan dalam agro-technopreneurship memperkuat daya saing usaha dalam jangka panjang. Keberlanjutan menjadi bagian yang menyatu dalam transformasi pertanian modern berbasis teknologi.

Ekosistem *agro-technopreneurship* mencerminkan interaksi antara berbagai aktor seperti pemerintah, institusi pendidikan, pelaku usaha, dan komunitas inovasi. Hubungan antar elemen tersebut membentuk lingkungan yang mendukung pengembangan inovasi berbasis teknologi dalam sektor pertanian. Kebijakan pemerintah yang mendukung digitalisasi serta kemudahan akses terhadap pendanaan menjadi faktor pendorong utama pertumbuhan agro-technopreneurship. Infrastruktur teknologi seperti jaringan internet dan platform digital mempercepat proses adopsi inovasi di tingkat pelaku usaha. Literatur menunjukkan bahwa keberhasilan ekosistem kewirausahaan dipengaruhi oleh interaksi dinamis antara aktor dan sumber daya yang tersedia (Filippelli et al., 2025). Kolaborasi lintas sektor mempercepat proses transformasi pertanian menuju sistem berbasis teknologi. Ekosistem yang terbangun secara kuat akan mendorong munculnya inovasi yang berkelanjutan dan berdampak luas. Pendekatan sistemik diperlukan untuk memahami dan mengembangkan *agro-technopreneurship* secara optimal.

Potensi *agro-technopreneurship* yang besar tetap dihadapkan pada berbagai tantangan dalam implementasinya di lapangan. Keterbatasan akses terhadap teknologi serta rendahnya literasi digital di kalangan petani menjadi hambatan utama dalam proses adopsi inovasi. Biaya investasi awal yang tinggi dalam penerapan teknologi AI juga menjadi kendala bagi pelaku

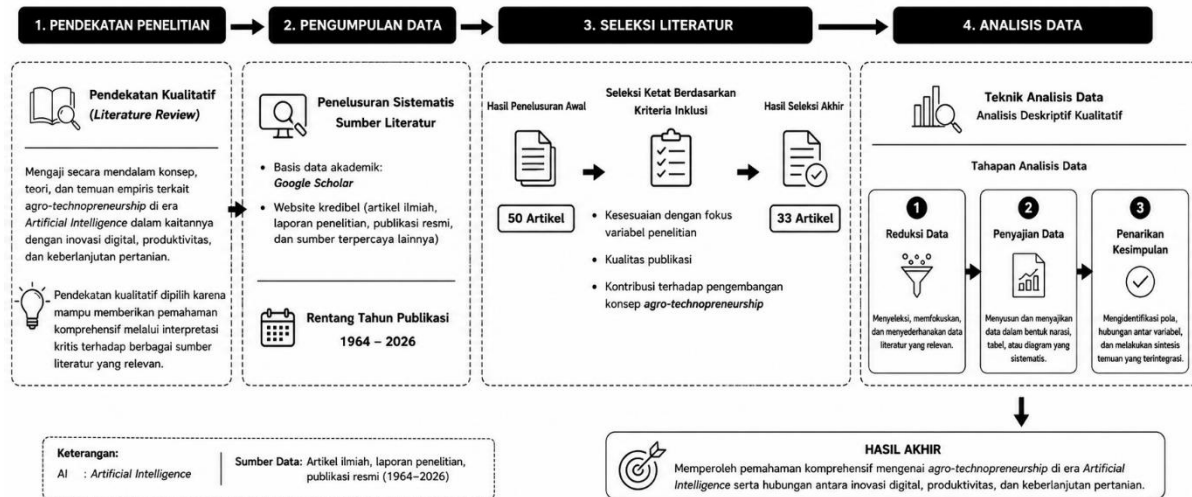
usaha skala kecil dan menengah. Kesenjangan antara perkembangan teknologi dan kesiapan SDM menciptakan ketidakseimbangan dalam pemanfaatan peluang digital. Literatur menunjukkan bahwa faktor sosial, ekonomi, dan budaya turut mempengaruhi tingkat adopsi teknologi dalam sektor pertanian (Curry et al., 2021). Kondisi ini membutuhkan pendekatan yang lebih komprehensif dan kolaboratif untuk mengurangi hambatan yang ada. Dukungan kebijakan, program pelatihan, serta peningkatan akses terhadap teknologi menjadi bagian dari solusi yang dapat diterapkan. Penanganan tantangan tersebut akan mempercepat pengembangan agro-technopreneurship yang lebih inklusif dan berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara mendalam peran *agro-technopreneurship* dalam menjembatani inovasi digital, produktivitas, dan keberlanjutan pertanian di era *Artificial Intelligence*. Pendekatan tinjauan pustaka digunakan untuk mengintegrasikan berbagai temuan ilmiah ke dalam kerangka konseptual yang lebih komprehensif. Kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teori terkait kewirausahaan berbasis teknologi di sektor pertanian. Fokus utama penelitian terletak pada integrasi antara pendidikan kewirausahaan, pengembangan SDM, inovasi digital, dan keberlanjutan. Pendekatan holistik digunakan untuk memahami kompleksitas dinamika sektor pertanian berbasis teknologi.

METODE

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif melalui tinjauan pustaka (*literature review*) yang bertujuan untuk mengkaji secara mendalam konsep, teori, serta temuan empiris terkait agro-technopreneurship di era *Artificial Intelligence* dalam kaitannya dengan inovasi digital, produktivitas, dan keberlanjutan pertanian. Pendekatan kualitatif dipilih karena mampu memberikan pemahaman yang komprehensif melalui interpretasi kritis terhadap berbagai sumber literatur yang relevan. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran sistematis pada basis data akademik seperti Google Scholar serta berbagai *website* kredibel seperti *ScienceDirect*, *Taylor & Francis*, dan *ResearchGate* yang menyediakan artikel ilmiah, laporan penelitian, dan publikasi resmi lainnya. Proses pencarian literatur dibatasi pada rentang tahun publikasi 1964 hingga 2026 untuk memastikan relevansi dan kebaruan data yang digunakan dalam analisis. Kata kunci yang digunakan dalam proses pencarian data meliputi *agro-technopreneurship*, *Artificial Intelligence*, inovasi digital, keberlanjutan pertanian, produktivitas pertanian, dan aspek-aspek relevan lainnya yang mendukung. Hasil penelusuran awal memperoleh sebanyak 50 artikel yang sesuai dengan topik penelitian, kemudian dilakukan proses seleksi secara ketat berdasarkan kriteria inklusi seperti kesesuaian dengan fokus variabel penelitian, kualitas publikasi, serta kontribusi terhadap pengembangan konsep

agro-technopreneurship. Setelah melalui tahap penyaringan, diperoleh 33 artikel yang digunakan sebagai sumber utama dalam penelitian ini. Teknik analisis data menggunakan analisis deskriptif kualitatif melalui tahapan reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan untuk mengidentifikasi pola, hubungan antar variabel, dan sintesis temuan yang terintegrasi.



Gambar 1. Diagram alur metodologi penelitian

HASIL

Agro-technopreneurship berkembang sebagai bentuk transformasi sektor pertanian yang mengintegrasikan kewirausahaan dan teknologi dalam menciptakan nilai tambah berbasis inovasi. Konsep ini mencerminkan pergeseran dari pola produksi tradisional menuju sistem agribisnis yang lebih adaptif terhadap perubahan pasar dan perkembangan teknologi. *Agro-technopreneurship* mencakup pengembangan model bisnis, efisiensi rantai nilai, serta pemanfaatan teknologi digital untuk memperluas akses pasar. Temuan literatur memperlihatkan bahwa pelaku usaha yang mengadopsi pendekatan ini cenderung memiliki daya saing yang lebih tinggi karena mampu merespons dinamika pasar secara cepat dan fleksibel (Alghamdi & Agag, 2024). Integrasi berbagai aspek seperti pendidikan, inovasi, dan keberlanjutan menjadi fondasi dalam membangun ekosistem *agro-technopreneurship* yang kuat. Perkembangan ini menunjukkan bahwa sektor pertanian memiliki potensi besar untuk menjadi motor pertumbuhan ekonomi berbasis teknologi. Hasil ini menegaskan bahwa *agro-technopreneurship* menjadi pendekatan strategis dalam modernisasi pertanian.

Pemanfaatan *Artificial Intelligence* memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam aktivitas pertanian. Teknologi ini memungkinkan pengolahan data dalam jumlah besar untuk menghasilkan prediksi yang lebih tepat terkait

cuaca, kondisi tanah, serta kebutuhan tanaman. Implementasi AI dalam pertanian presisi membantu petani dalam mengoptimalkan penggunaan input seperti air, pupuk, dan pestisida sehingga dapat meningkatkan hasil panen secara efisien. Literatur menunjukkan bahwa penggunaan AI mampu mengurangi risiko kegagalan produksi serta meningkatkan produktivitas secara konsisten (Wang et al., 2026). Teknologi ini juga mendukung pengambilan keputusan berbasis data yang lebih objektif dan terukur. Penerapan AI tidak terbatas pada produksi, tetapi juga mencakup distribusi dan pemasaran produk pertanian. Hasil ini memperlihatkan bahwa AI berperan sebagai *enabler* utama dalam transformasi sektor pertanian modern. Integrasi AI dalam *agro-technopreneurship* memperkuat kemampuan inovasi dan daya saing pelaku usaha.

Pendidikan kewirausahaan memiliki peran dalam membentuk pola pikir inovatif dan kesiapan individu dalam mengembangkan usaha berbasis teknologi pertanian. Proses pembelajaran yang mengintegrasikan teori dan praktik memberikan pengalaman nyata dalam menghadapi tantangan agribisnis modern. Literatur menunjukkan bahwa keterlibatan dalam program kewirausahaan berbasis teknologi meningkatkan intensi berwirausaha serta kemampuan dalam mengidentifikasi peluang usaha (Li et al., 2026). Kurikulum yang berbasis proyek dan pengalaman langsung membantu mahasiswa memahami dinamika pasar dan penerapan teknologi di lapangan. Pendidikan kewirausahaan juga berkontribusi dalam membangun kepercayaan diri dan kemampuan pengambilan keputusan. Hasil ini menunjukkan bahwa pendidikan menjadi faktor awal dalam membentuk *agro-technopreneur* yang kompeten. Integrasi pendidikan dan teknologi memperkuat fondasi pengembangan ekosistem kewirausahaan pertanian. Peran pendidikan semakin relevan dalam mendukung transformasi pertanian berbasis inovasi.

Kualitas sumber daya manusia menjadi faktor utama dalam keberhasilan implementasi *agro-technopreneurship*. SDM yang memiliki literasi digital dan kemampuan analisis data lebih mampu mengadopsi teknologi dalam praktik pertanian. Literatur menunjukkan bahwa peningkatan kompetensi melalui pendidikan dan pelatihan berdampak langsung pada produktivitas dan efisiensi usaha (Sun, 2026). Kemampuan berpikir kritis, kreativitas, dan kolaborasi menjadi kompetensi utama yang dibutuhkan dalam menghadapi kompleksitas sektor pertanian modern. Pengembangan SDM dilakukan melalui pelatihan berbasis teknologi serta kolaborasi lintas sektor. Hasil ini menunjukkan bahwa SDM unggul berperan sebagai penggerak inovasi dalam *agro-technopreneurship*. Kapasitas manusia yang kuat akan mempercepat proses transformasi pertanian berbasis teknologi. Peran SDM menjadi kunci dalam menciptakan sistem pertanian yang adaptif dan berdaya saing.

Inovasi digital menjadi faktor utama dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam sektor pertanian. Teknologi digital memungkinkan integrasi data dalam seluruh rantai nilai agribisnis, mulai dari produksi hingga distribusi. Literatur menunjukkan bahwa adopsi teknologi seperti IoT dan *big data analytics* mampu meningkatkan efisiensi operasional dan memperluas akses pasar (Brous et al., 2020). Inovasi digital juga mendorong pengembangan model bisnis baru yang lebih fleksibel dan berbasis platform. Transformasi digital memungkinkan pelaku usaha untuk merespons perubahan pasar secara lebih cepat. Hasil ini menunjukkan bahwa inovasi digital menjadi pendorong utama dalam penguatan *agro-technopreneurship*. Integrasi teknologi dalam aktivitas bisnis menciptakan keunggulan kompetitif yang signifikan. Peran inovasi digital semakin penting dalam mendukung modernisasi sektor pertanian.

Keberlanjutan menjadi aspek yang semakin terintegrasi dalam pengembangan *agro-technopreneurship*. Pendekatan ini menekankan keseimbangan antara produktivitas ekonomi, kelestarian lingkungan, dan kesejahteraan sosial. Literatur menunjukkan bahwa penerapan teknologi dalam pertanian dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan serta meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya (Abiri et al., 2023). Inovasi berbasis keberlanjutan mendorong penggunaan energi terbarukan dan pengelolaan limbah yang lebih baik. Hasil ini menunjukkan bahwa praktik pertanian modern semakin berorientasi pada efisiensi dan tanggung jawab lingkungan. Integrasi keberlanjutan dalam model bisnis meningkatkan kepercayaan pasar dan daya saing. Keberlanjutan menjadi faktor yang menentukan keberlangsungan usaha dalam jangka panjang. Peran aspek ini semakin kuat dalam transformasi *agro-technopreneurship*.

Integrasi *agro-technopreneurship*, *Artificial Intelligence*, pendidikan kewirausahaan, SDM unggul, inovasi digital, dan keberlanjutan memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan produktivitas pertanian. Penggunaan teknologi memungkinkan optimalisasi penggunaan sumber daya sehingga hasil produksi meningkat secara efisien. Literatur menunjukkan bahwa penerapan pertanian presisi dapat meningkatkan hasil panen sekaligus menurunkan biaya produksi. Sinergi antar faktor menciptakan sistem pertanian yang lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan dan pasar. Hasil ini menunjukkan bahwa produktivitas ditentukan oleh kualitas manajemen dan inovasi. Integrasi berbagai aspek dalam *agro-technopreneurship* menghasilkan peningkatan nilai tambah yang berkelanjutan. Pendekatan ini memperkuat daya saing sektor pertanian dalam konteks global. Produktivitas pertanian menjadi indikator utama keberhasilan transformasi berbasis teknologi.

DISKUSI

Keberhasilan *agro-technopreneurship* di era *Artificial Intelligence* tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan teknologi, tetapi lebih dipengaruhi oleh kemampuan membangun ekosistem kewirausahaan yang mengintegrasikan pendidikan, pengalaman praktik, inovasi digital, dan dukungan institusional secara simultan (Elam et al., 2026). Temuan penelitian memperlihatkan bahwa pendidikan kewirausahaan berbasis pengalaman, seperti inkubasi agribisnis dan proyek bisnis teknologi pertanian, mampu meningkatkan *entrepreneurial intention*, kepercayaan diri, kemampuan pengambilan keputusan, serta kesiapan mahasiswa menghadapi risiko usaha pertanian modern (Krueger & Carsrud, 1993; Rosado-Cubero et al., 2024), yang diperkuat oleh pendekatan *experiential learning* dari Kolb (1984) melalui keterlibatan langsung dalam aktivitas bisnis berbasis teknologi.

Pengembangan sumber daya manusia unggul dalam *agro-technopreneurship* dapat dijelaskan melalui *human capital theory* oleh Becker (1964) yang menekankan bahwa investasi dalam pendidikan, pelatihan, dan pengalaman kerja akan meningkatkan produktivitas serta kualitas output individu secara berkelanjutan. Dalam konteks pertanian modern, kualitas SDM menjadi faktor penentu dalam mengelola teknologi seperti *Artificial Intelligence*, sensor, dan sistem berbasis data yang kompleks. Penelitian empiris menunjukkan bahwa pelaku agribisnis yang memiliki literasi digital tinggi lebih mampu mengadopsi teknologi pertanian presisi serta mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya (Choruma et al., 2024). Kompetensi seperti analisis data, pengambilan keputusan berbasis informasi, kreativitas, dan kemampuan inovatif menjadi elemen kunci dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi usaha.

Peran inovasi digital dalam *agro-technopreneurship* dapat dianalisis melalui teori *dynamic capabilities* oleh Teece et al. (1997) yang menekankan kemampuan organisasi dan individu dalam merespons perubahan lingkungan secara cepat melalui proses *sensing*, *seizing*, dan *transforming*. Teknologi seperti *Artificial Intelligence*, *Internet of Things*, dan *big data analytics* memungkinkan pengelolaan pertanian secara lebih presisi melalui pemanfaatan data dalam pengambilan keputusan. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan teknologi digital dalam pertanian presisi mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya hingga lebih dari 20 persen, yang berdampak langsung pada peningkatan produktivitas (Mamabolo et al., 2025). Inovasi digital juga mendorong pengembangan model bisnis berbasis platform yang lebih fleksibel, skalabel, dan responsif terhadap kebutuhan pasar. Transformasi digital mempercepat proses pengambilan keputusan melalui data real-time yang meningkatkan akurasi dan kecepatan respons terhadap perubahan lingkungan. Kemampuan untuk mengintegrasikan teknologi dalam aktivitas agribisnis menjadi sumber keunggulan kompetitif yang sulit ditiru

oleh pesaing. Selain itu, inovasi digital memperluas akses pasar melalui platform yang menghubungkan produsen dan konsumen secara langsung tanpa batas geografis. Inovasi digital menjadi penggerak utama dalam memperkuat kapasitas agro-technopreneurship.

Aspek keberlanjutan dalam agro-technopreneurship dapat dijelaskan melalui konsep *triple bottom line* oleh Elkington (1998) yang menekankan keseimbangan antara dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam aktivitas bisnis. Sektor pertanian modern menghadapi tekanan yang semakin besar akibat perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan keterbatasan sumber daya alam yang mempengaruhi keberlanjutan produksi. Integrasi teknologi berbasis *Artificial Intelligence* memungkinkan pengelolaan sumber daya secara lebih efisien melalui sistem monitoring dan prediksi yang akurat. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi pertanian presisi mampu mengurangi penggunaan air, pupuk, dan bahan kimia secara signifikan tanpa mengorbankan hasil produksi (Getahun et al., 2024). Pendekatan keberlanjutan mendorong pengembangan inovasi yang berorientasi pada efisiensi sumber daya serta pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan. Model bisnis berbasis keberlanjutan juga meningkatkan kepercayaan konsumen dan pemangku kepentingan, yang berdampak pada peningkatan daya saing produk di pasar global. Integrasi prinsip keberlanjutan dalam agro-technopreneurship menciptakan nilai jangka panjang yang lebih stabil dan resilien terhadap perubahan eksternal. Keberlanjutan menjadi elemen strategis dalam memastikan transformasi sektor pertanian yang berkelanjutan dan berdaya saing tinggi.

Kasus implementasi *precision agriculture* di Amerika Serikat menunjukkan bahwa integrasi *Artificial Intelligence*, *Internet of Things*, *sensor*, dan *drone* mampu meningkatkan hasil panen hingga 15% serta mengurangi penggunaan air sebesar 20% melalui pengelolaan pertanian berbasis data dan efisiensi sumber daya (Bayar et al., 2025; AI Magicx, 2026; Duguma & Bai, 2024). Di Indonesia, eFishery berhasil menerapkan teknologi *Internet of Things* dalam sistem pemberian pakan otomatis yang meningkatkan produktivitas budidaya hingga 26% dan telah digunakan lebih dari 300 ribu pengguna aktif, sekaligus memperluas akses pasar dan pembiayaan bagi pembudidaya (Wibisono, 2023; Hönigsberg et al., 2026). Sementara itu, Indigo Agriculture memanfaatkan integrasi mikrobiologi dan *Artificial Intelligence* untuk meningkatkan hasil panen hingga 10% serta mengurangi ketergantungan pada input kimia melalui pendekatan *bio-based innovation* yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan (Dann, 2020; Escobar & Laibach, 2021).

Tantangan dalam pengembangan *agro-technopreneurship* menunjukkan kompleksitas yang tinggi terutama pada kesenjangan antara kemajuan teknologi dan kesiapan sumber daya manusia dalam mengadopsinya secara efektif. Banyak pelaku usaha pertanian masih

menghadapi keterbatasan literasi digital, sehingga pemanfaatan teknologi seperti *Artificial Intelligence*, *Internet of Things*, dan analitik data belum dapat dioptimalkan dalam aktivitas produksi. Kondisi ini diperkuat oleh keterbatasan akses terhadap infrastruktur digital seperti jaringan internet, perangkat teknologi, serta layanan pendukung lainnya yang belum merata, khususnya di wilayah pedesaan. Temuan empiris dalam literatur menunjukkan bahwa tingkat adopsi teknologi di sektor pertanian di negara berkembang masih relatif rendah akibat kombinasi faktor ekonomi, sosial, dan budaya yang mempengaruhi persepsi terhadap inovasi (Ruzzante et al., 2021). Perspektif *diffusion of innovation theory* menjelaskan bahwa adopsi teknologi sangat dipengaruhi oleh karakteristik individu, lingkungan sosial, serta tingkat kemudahan penggunaan teknologi itu sendiri (Rogers et al., 2019). Kesenjangan antara inovasi yang berkembang pesat dan kemampuan implementasi di lapangan menyebabkan potensi peningkatan produktivitas belum tercapai secara optimal. Hambatan ini juga mencerminkan adanya disconnect antara pengembangan teknologi dan kebutuhan riil pengguna di sektor pertanian. Diperlukan strategi yang lebih terarah, kontekstual, dan berbasis kebutuhan lokal untuk menjembatani kesenjangan tersebut secara sistematis dan berkelanjutan.

Solusi pertama berfokus pada penguatan pendidikan kewirausahaan berbasis teknologi pertanian yang dirancang secara integratif melalui kombinasi pembelajaran teoritis dan praktik langsung di lapangan. Pendekatan *experiential learning* dari Kolb (1984) memberikan ruang bagi mahasiswa untuk mengalami secara langsung proses pengembangan usaha agribisnis berbasis teknologi, sehingga meningkatkan pemahaman kontekstual terhadap dinamika sektor pertanian modern. Program inkubasi bisnis, startup agritech, serta kolaborasi dengan industri menjadi instrumen penting dalam meningkatkan relevansi pembelajaran terhadap kebutuhan pasar. Penguatan kurikulum berbasis teknologi seperti penggunaan *Artificial Intelligence* dalam pertanian presisi, analisis data agribisnis, serta pengelolaan *platform digital* akan menciptakan lulusan yang memiliki kompetensi yang sesuai dengan tuntutan industri. Integrasi antara teori dan praktik memperkuat kemampuan *problem solving*, kreativitas, serta inovasi yang menjadi karakter utama *technopreneur*. Pendekatan ini juga mendorong terbentuknya mindset kewirausahaan yang adaptif terhadap perubahan teknologi yang cepat. Pendidikan berfungsi sebagai mekanisme transformasi yang menghubungkan pengetahuan akademik dengan implementasi praktis dalam sektor riil. Solusi ini memberikan arah strategis dalam menciptakan generasi *agro-technopreneur* yang kompeten dan berdaya saing tinggi.

Solusi kedua menekankan peningkatan investasi dalam pengembangan sumber daya manusia melalui pelatihan digital yang berkelanjutan dan berbasis kebutuhan industri pertanian modern. Pendekatan ini dapat dianalisis melalui perspektif *lifelong learning* yang

menempatkan pembelajaran sebagai proses berkelanjutan sepanjang kehidupan individu dalam merespons perubahan teknologi (Zuo et al., 2025). Program pelatihan yang dirancang secara adaptif terhadap kebutuhan industri akan meningkatkan relevansi keterampilan tenaga kerja, sehingga mampu menjawab tantangan digitalisasi sektor pertanian. Peran pemerintah dan sektor swasta menjadi krusial dalam menyediakan akses pelatihan yang merata melalui program nasional, kemitraan industri, serta inisiatif berbasis komunitas. Pemanfaatan *platform digital* sebagai media pembelajaran memungkinkan perluasan jangkauan pelatihan hingga ke wilayah yang sebelumnya sulit dijangkau secara geografis. Pengembangan *soft skills* seperti kreativitas, kemampuan berpikir kritis, komunikasi, dan kolaborasi juga menjadi elemen penting dalam meningkatkan kapasitas adaptif tenaga kerja. SDM yang kompeten akan memperkuat daya saing sektor pertanian melalui kemampuan dalam mengelola teknologi secara efektif. Investasi pada pengembangan SDM memberikan dampak jangka panjang terhadap peningkatan produktivitas serta pertumbuhan ekonomi berbasis inovasi. Solusi ini memperkuat fondasi utama dalam pengembangan agro-technopreneurship yang berkelanjutan.

Solusi ketiga menekankan pentingnya mendorong inovasi digital berbasis keberlanjutan melalui dukungan kebijakan, regulasi, dan insentif yang mampu menciptakan lingkungan yang kondusif bagi pengembangan teknologi ramah lingkungan. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *sustainable innovation* yang mengintegrasikan tujuan ekonomi dengan tanggung jawab sosial dan lingkungan dalam proses inovasi (Hermundsdottir & Aspelund, 2022). Pemerintah memiliki peran strategis dalam menyediakan insentif fiskal, pendanaan riset, serta kemudahan akses perizinan bagi pelaku usaha yang mengembangkan teknologi pertanian berkelanjutan. Kolaborasi antara sektor publik dan swasta menjadi faktor penting dalam mempercepat difusi inovasi melalui penggabungan sumber daya, pengetahuan, dan jaringan yang lebih luas. Pelaku usaha didorong untuk mengintegrasikan prinsip keberlanjutan dalam model bisnis melalui efisiensi penggunaan sumber daya, pengurangan limbah, serta pengembangan produk yang ramah lingkungan. Pendekatan ini menciptakan keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan kelestarian lingkungan yang semakin menjadi perhatian global. Inovasi berkelanjutan juga meningkatkan kepercayaan pasar serta memperkuat posisi kompetitif dalam pasar internasional yang semakin selektif terhadap aspek lingkungan. Strategi ini memberikan arah yang jelas dalam membangun ekosistem *agro-technopreneurship* yang inklusif, adaptif, dan berorientasi jangka panjang.

Agro-technopreneurship di era *Artificial Intelligence* menunjukkan hubungan yang saling memperkuat antara pendidikan kewirausahaan, pengembangan sumber daya manusia, inovasi digital, dan keberlanjutan dalam membentuk sistem pertanian modern yang kompetitif.

Integrasi keempat aspek tersebut menciptakan sinergi yang memungkinkan peningkatan produktivitas, efisiensi, serta daya saing sektor pertanian dalam menghadapi tekanan global. Pendekatan yang memisahkan masing-masing variabel cenderung menghasilkan pemahaman yang parsial dan kurang mampu menjelaskan kompleksitas interaksi dalam ekosistem agribisnis berbasis teknologi. Analisis yang lebih mendalam menunjukkan bahwa keberhasilan *agro-technopreneurship* sangat ditentukan oleh kemampuan dalam mengelola interaksi antar faktor secara strategis dan berkelanjutan. Penguatan setiap aspek perlu dilakukan secara simultan melalui kebijakan yang terintegrasi, sistem pendidikan yang adaptif, serta praktik industri yang inovatif. Perspektif ini memberikan kontribusi dalam memperkaya pengembangan teori kewirausahaan berbasis teknologi sekaligus memberikan implikasi praktis bagi pemangku kepentingan. Kajian ini memperluas pemahaman mengenai transformasi pertanian modern yang berbasis inovasi dan berorientasi keberlanjutan.

Implikasi teoritis dari kajian ini terletak pada penguatan konsep *agro-technopreneurship* sebagai pendekatan multidimensional yang menggabungkan perspektif kewirausahaan, teknologi, dan keberlanjutan dalam sektor pertanian. Kajian ini memperluas pemahaman bahwa integrasi antar variabel memiliki peran krusial dalam membentuk ekosistem inovasi yang efektif. Implikasi praktis terlihat pada perlunya perancangan kebijakan yang mendukung pengembangan pendidikan kewirausahaan berbasis teknologi, peningkatan kualitas SDM, serta akselerasi adopsi inovasi digital di sektor pertanian. Institusi pendidikan, pemerintah, dan pelaku industri perlu membangun kolaborasi yang lebih kuat untuk menciptakan sistem yang responsif terhadap perubahan teknologi. Pelaku usaha pertanian juga perlu mengadopsi pendekatan berbasis data dan keberlanjutan dalam model bisnis mereka untuk meningkatkan daya saing.

Tabel 1. *Agro-Technopreneurship* di Era *Artificial Intelligence* dalam Mendorong Produktivitas dan Keberlanjutan Pertanian

No	Aspek Utama	Temuan Kunci	Teori Pendukung	Implikasi
1	Transformasi <i>Agro-Technopreneurship</i>	Pertanian bertransformasi dari sistem tradisional menuju sistem berbasis data, otomatisasi, dan AI yang meningkatkan efisiensi dan produktivitas	<i>Entrepreneurial Ecosystem</i>	Keberhasilan ditentukan oleh interaksi aktor, institusi, dan sumber daya dalam ekosistem
2	Pendidikan Kewirausahaan	Meningkatkan intensi berwirausaha, kepercayaan diri, dan kesiapan menghadapi	<i>Entrepreneurial Intention</i> (Krueger & Carsrud),	Membentuk <i>agro-technopreneur</i> yang adaptif, inovatif, dan resilien

		risiko melalui <i>experiential learning</i> dan inkubasi bisnis	<i>Experiential Learning</i> (Kolb)	
3	Pengembangan SDM Unggul	Literasi digital, kemampuan analisis data, dan inovasi menjadi faktor kunci dalam adopsi teknologi pertanian modern	<i>Human Capital Theory</i> (Becker)	SDM menjadi penggerak utama inovasi dan transformasi pertanian
4	Inovasi Digital (AI, IoT, Big Data)	Teknologi meningkatkan efisiensi sumber daya >20%, mempercepat pengambilan keputusan, dan memperluas akses pasar	<i>Dynamic Capabilities</i> (Teece)	Menjadi sumber keunggulan kompetitif dalam agribisnis modern
5	Keberlanjutan	Teknologi memungkinkan efisiensi penggunaan air, pupuk, dan energi tanpa menurunkan hasil produksi	<i>Triple Bottom Line</i> (Elkington)	Mendorong keseimbangan ekonomi, sosial, dan lingkungan
6	Kasus 1: Precision Agriculture (AS)	Hasil panen meningkat $\pm 15\%$, penggunaan air turun $\pm 20\%$ melalui sensor dan AI	<i>Precision Agriculture Theory</i>	Efisiensi operasional dan keberlanjutan meningkat secara signifikan
7	Kasus 2: eFishery (Indonesia)	Produktivitas naik $\pm 26\%$, >300.000 pengguna aktif, adopsi teknologi tinggi di sektor perikanan	<i>Digital Platform Ecosystem</i>	Mendorong inklusi ekonomi dan efisiensi usaha kecil
8	Kasus 3: Indigo Agriculture (AS)	Produktivitas meningkat $\pm 10\%$, penggunaan input kimia berkurang melalui AI dan mikrobiologi	<i>Bio-based Innovation</i>	Integrasi inovasi dan keberlanjutan dalam agribisnis global
9	Tantangan Utama	Kesenjangan literasi digital, keterbatasan infrastruktur, dan rendahnya adopsi teknologi di sektor pertanian	<i>Diffusion of Innovation</i> (Rogers)	Potensi teknologi belum dimanfaatkan secara optimal
10	Solusi 1: Pendidikan	Kurikulum berbasis teknologi dan praktik meningkatkan kesiapan technopreneur	<i>Experiential Learning</i>	Meningkatkan kompetensi dan relevansi lulusan
11	Solusi 2: SDM	Pelatihan digital berkelanjutan meningkatkan daya saing tenaga kerja	<i>Lifelong Learning</i>	Fondasi pertumbuhan ekonomi berbasis inovasi
12	Solusi 3: Kebijakan & Inovasi	Insentif dan regulasi mendukung inovasi	<i>Sustainable Innovation</i>	Memperkuat ekosistem agro-

		ramah lingkungan dan teknologi berkelanjutan		<i>technopreneurship</i> jangka panjang
13	Sintesis Keseluruhan	Integrasi pendidikan, SDM, inovasi digital, dan keberlanjutan menciptakan sinergi dalam meningkatkan daya saing pertanian	Pendekatan Holistik	Kunci keberhasilan transformasi pertanian modern berbasis teknologi

KESIMPULAN

Kajian ini menunjukkan bahwa *agro-technopreneurship* di era *Artificial Intelligence* berkembang melalui integrasi yang erat antara pendidikan kewirausahaan, pengembangan sumber daya manusia unggul, inovasi digital, dan keberlanjutan dalam satu kerangka yang saling memperkuat. Pendidikan kewirausahaan membentuk pola pikir adaptif dan kesiapan psikologis pelaku usaha dalam merespons perubahan teknologi, sementara pengembangan SDM unggul memperkuat kapasitas teknis dan analitis dalam mengelola sistem berbasis data. Inovasi digital berbasis AI berperan sebagai penggerak utama peningkatan produktivitas dan efisiensi pertanian, sedangkan keberlanjutan memastikan bahwa pertumbuhan yang dihasilkan tetap sejalan dengan aspek sosial dan lingkungan. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan *agro-technopreneurship* tidak ditentukan oleh satu faktor tunggal, melainkan oleh sinergi antar elemen yang terintegrasi secara sistematis. Pendekatan yang komprehensif memungkinkan terciptanya ekosistem pertanian modern yang lebih adaptif, inovatif, dan berdaya saing tinggi.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Pendekatan tinjauan pustaka menyebabkan analisis bergantung pada ketersediaan dan kualitas literatur yang digunakan, sehingga kemungkinan terdapat bias dalam pemilihan sumber. Data yang dianalisis tidak berasal dari observasi lapangan secara langsung, sehingga tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi empiris di berbagai wilayah secara spesifik. Selain itu, kajian ini belum mengakomodasi secara mendalam variasi konteks lokal, terutama terkait perbedaan tingkat adopsi teknologi di berbagai negara atau daerah. Keterbatasan lain terletak pada belum adanya pengujian model konseptual secara kuantitatif untuk mengukur hubungan antar variabel secara empiris.

REKOMENDASI

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan pendekatan empiris melalui studi lapangan atau metode kuantitatif guna menguji hubungan antar variabel secara lebih terukur. Pengembangan model integratif *agro-technopreneurship* yang mempertimbangkan

faktor lokal dan kontekstual juga perlu dilakukan untuk meningkatkan relevansi hasil penelitian. Pemangku kebijakan diharapkan dapat memperkuat dukungan terhadap digitalisasi pertanian melalui penyediaan infrastruktur, pelatihan, dan insentif bagi pelaku usaha. Institusi pendidikan perlu mengembangkan kurikulum kewirausahaan berbasis teknologi yang lebih aplikatif dan terhubung dengan kebutuhan industri. Pelaku usaha pertanian disarankan untuk meningkatkan literasi digital serta mengadopsi teknologi berbasis AI secara bertahap sesuai kapasitas yang dimiliki. Kolaborasi lintas sektor menjadi kunci dalam mempercepat pengembangan *agro-technopreneurship* yang berkelanjutan dan inklusif.

REFERENSI

- Abiri, R., Rizan, N., Balasundram, S. K., Shahbazi, A. B., & Abdul-Hamid, H. (2023). Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. *Heliyon*, 9(12), e22601. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22601>
- AI Magicx. (2026). *AI in Precision Agriculture: How Farmers Are Using AI to Increase Yields 20% and Cut Water Use by 35%*. [Www.Aimagicx.Com. https://www.aimagicx.com/blog/ai-precision-agriculture-farming-yields-2026](https://www.aimagicx.com/blog/ai-precision-agriculture-farming-yields-2026)
- Alghamdi, Omar A., & Agag, G. (2024). Competitive advantage: A longitudinal analysis of the roles of data-driven innovation capabilities, marketing agility, and market turbulence. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 76, 103547. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2023.103547>
- Bayar, J., Ali, N., Cao, Z., Ren, Y., & Dong, Y. (2025). Artificial intelligence of things (AIoT) for precision agriculture: applications in smart irrigation, nutrient and disease management. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101629. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101629>
- Becker, G. S. (1964). *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*. National Bureau of Economic Results.
- Brous, P., Janssen, M., & Herder, P. (2020). The dual effects of the Internet of Things (IoT): A systematic review of the benefits and risks of IoT adoption by organizations. *International Journal of Information Management*, 51, 101952. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.008>
- Choruma, D. J., Dirwai, T. L., Mutenje, M. J., Mustafa, M., Chimonyo, V. G. P., Jacobs-Mata, I., & Mabhaudhi, T. (2024). Digitalisation in agriculture: A scoping review of technologies in practice, challenges, and opportunities for smallholder farmers in sub-Saharan Africa. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101286. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101286>
- Curry, G. N., Nake, S., Koczberski, G., Oswald, M., Rafflegeau, S., Lummani, J., Peter, E., & Nailina, R. (2021). Disruptive innovation in agriculture: Socio-cultural factors in technology adoption in the developing world. *Journal of Rural Studies*, 88, 422–431. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.07.022>
- Dann, M. (2020). *Indigo Ag Pursues Innovation in the Dirt and from Outer Space*. ESRI. <https://www.esri.com/about/newsroom/publications/wherenext/indigo-ag-pursues-innovation-in-the-dirt-and-from-outer-space>
- Duguma, A. L., & Bai, X. (2024). How the internet of things technology improves agricultural efficiency. *Artificial Intelligence Review*, 58(2), 63. <https://doi.org/10.1007/s10462-024-11046-0>

- Elam, L. I. D., Begalli, D., & Capitello, R. (2026). Entrepreneurial ecosystems in the food industry: a systematic literature review through the lens of complex adaptive system theory. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 33(8), 63–88. <https://doi.org/10.1108/JSBED-11-2024-0577>
- Elkington, J. (1998). Accounting for the Triple Bottom Line. *Measuring Business Excellence*, 2(3), 18–22. <https://doi.org/10.1108/eb025539>
- Escobar, N., & Laibach, N. (2021). Sustainability check for bio-based technologies: A review of process-based and life cycle approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110213. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110213>
- Filippelli, S., Troise, C., Bigliardi, B., & Corvello, V. (2025). Examining the influence of entrepreneurial ecosystem pressure on the economic, social, and environmental orientation of startups. *Technological Forecasting and Social Change*, 210, 123900. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123900>
- Gamage, A., Gangahagedara, R., Subasinghe, S., Gamage, J., Guruge, C., Senaratne, S., Randika, T., Rathnayake, C., Hameed, Z., Madhujith, T., & Merah, O. (2024). Advancing sustainability: The impact of emerging technologies in agriculture. *Current Plant Biology*, 40, 100420. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2024.100420>
- Getahun, S., Kefale, H., & Gelaye, Y. (2024). Application of Precision Agriculture Technologies for Sustainable Crop Production and Environmental Sustainability: A Systematic Review. *The Scientific World Journal*, 2024(1). <https://doi.org/10.1155/2024/2126734>
- Hermundsdottir, F., & Aspelund, A. (2022). Competitive sustainable manufacturing - Sustainability strategies, environmental and social innovations, and their effects on firm performance. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133474. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133474>
- Hönigsberg, S., Li, M. M., Korneeva, E., Wache, H., & Dinter, B. (2026). The impact of digital platform introduction on business models in SMEs—The interplay of efficiency and innovation orientation. *The Journal of Strategic Information Systems*, 35(2), 101967. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2026.101967>
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience As The Source Of Learning And Development* (1st ed., Vol. 1). Prentice-Hall.
- Krueger, N. F., & Carsrud, A. L. (1993). Entrepreneurial intentions: Applying the theory of planned behaviour. *Entrepreneurship & Regional Development*, 5(4), 315–330. <https://doi.org/10.1080/08985629300000020>
- Li, X., Weng, X., & Qu, Q. (2026). Technology-enhanced creativity and entrepreneurship curricula in higher education: Systematic review from the perspective of self-determination theory. *Thinking Skills and Creativity*, 61, 102144. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2026.102144>
- Liang, Y., Chen, R., Hong, H., Li, S., & Han, L. (2025). Shaping digital entrepreneurial intention in higher education: the role of entrepreneurship education, creativity, and digital literacy among Chinese university students. *Journal of Innovation & Knowledge*, 10(5), 100788. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2025.100788>
- Mamabolo, E., Mashala, M. J., Mugari, E., Mogale, T. E., Mathebula, N., Mabitsela, K., & Ayisi, K. K. (2025). Application of precision agriculture technologies for crop protection and soil health. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101270. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101270>
- Nguyen, D. L., Cao, H. Van, Duong, V. T. T., & Nguyen, N. A. T. (2025). Digital Technology Adoption and its impact on household Efficiency: case study drones in rural Vietnam. *Smart Agricultural Technology*, 11, 100980. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100980>

- Rogers, E. M., Singhal, A., & Quinlan, M. M. (2019). Diffusion of Innovations 1. In *An Integrated Approach to Communication Theory and Research* (pp. 415–434). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203710753-35>
- Rosado-Cubero, A., Hernández, A., Blanco-Jiménez, F. J., & Freire-Rubio, T. (2024). Seeding young entrepreneurs: The role of business incubators. *Journal of Innovation & Knowledge*, 9(4), 100579. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100579>
- Ruzzante, S., Labarta, R., & Bilton, A. (2021). Adoption of agricultural technology in the developing world: A meta-analysis of the empirical literature. *World Development*, 146, 105599. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105599>
- Sun, H. (2026). The impact of vocational skills training on earnings: Evidence from China. *International Review of Economics & Finance*, 107, 105079. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2026.105079>
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z)
- Wang, J., Shi, Y., Jiang, X., & Venkatesh, V. G. (2026). How does artificial intelligence capacity enhance the production system resilience and operational performance? A human-organization-technology fit perspective. *International Journal of Information Management*, 87, 103023. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2025.103023>
- Wibisono, A. (2023). *Gibran Huzaifah bred fish to pay his university fees, then built eFishery into a company involving 300,000 fishponds. He's expanding to India and elsewhere.* Forbes. <https://www.forbes.com/sites/ardianwibisono/2023/10/14/young-indonesian-entrepreneur-parlays-digital-tool-for-fish-breeders-into-a-rare-unicorn>
- Zuo, H., Zhang, M., & Huang, W. (2025). Lifelong learning in vocational education: A game-theoretical exploration of innovation, entrepreneurial spirit, and strategic challenges. *Journal of Innovation & Knowledge*, 10(3), 100694. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2025.100694>