



Transformasi Pertanian Presisi Berbasis Digital di Indonesia: Tinjauan Sistematis Peluang dan Tantangan

Iwan Patria

Politeknik Pembangunan Pertanian Bogor, Badan Penyuluhan SDM Pertanian, Kementerian Pertanian,
Bogor, Indonesia

Email: iwpatria@gmail.com

Abstract

Precision agriculture has emerged as a key solution to address food security challenges, resource efficiency, and agricultural sustainability in Indonesia. This study aims to analyze the opportunities and challenges of adopting digital applications in precision agriculture through a systematic literature review using the PRISMA approach. Data were obtained from eight scientific articles published between 2021–2025 and one additional relevant supporting article. The findings indicate that digital applications in precision agriculture provide significant opportunities for improving productivity, optimizing input use, and enhancing information access. However, several challenges persist, including low digital literacy among farmers, limited internet infrastructure in rural areas, high technological investment costs, resistance to adoption, socio-economic disparities, and inadequate policy support. Proposed solutions include the development of user-friendly application interfaces, digital literacy training programs, provision of affordable internet access, subsidized devices, cross-sector collaboration, and evidence-based regulatory policies. This review concludes that inclusive, participatory, and sustainable digital transformation is essential to advance agricultural modernization in Indonesia.

Keywords: Opportunities and Challenges, Digital Applications, Precision Agriculture in Indonesia.

Abstrak

Pertanian presisi menjadi salah satu solusi penting dalam menjawab tantangan ketahanan pangan, efisiensi sumber daya, dan keberlanjutan pertanian di Indonesia. Studi ini bertujuan menganalisis peluang dan tantangan penerapan aplikasi digital pertanian presisi di Indonesia melalui metode literature review dengan pendekatan sistematis PRISMA. Sumber data berasal dari delapan artikel ilmiah yang diterbitkan pada periode 2021–2025 serta satu artikel pendukung lain yang relevan dengan tema penelitian. Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan aplikasi digital pertanian presisi memberikan peluang dalam peningkatan produktivitas, efisiensi input, dan akses informasi. Namun demikian, terdapat tantangan signifikan berupa rendahnya literasi digital petani, keterbatasan infrastruktur internet, tingginya biaya investasi teknologi, resistensi terhadap adopsi, kesenjangan sosial-ekonomi, serta minimnya dukungan kebijakan. Strategi penyelesaian yang diusulkan mencakup pengembangan antarmuka aplikasi yang sederhana, program pelatihan literasi digital, penyediaan akses internet berbiaya rendah, subsidi perangkat, kolaborasi lintas sektor, serta kebijakan regulasi berbasis bukti. Simpulan dari kajian ini menegaskan pentingnya transformasi digital yang inklusif, partisipatif, dan berkelanjutan guna mendorong modernisasi sektor pertanian di Indonesia.

Kata Kunci: Peluang dan Tantangan, Aplikasi Digital, Presisi di Indonesia.

1. PENDAHULUAN

Pertanian presisi merupakan pendekatan inovatif yang mengintegrasikan teknologi informasi, sensor, sistem global positioning system (GPS), citra satelit, dan big data analytics untuk meningkatkan produktivitas serta efisiensi penggunaan sumber daya dalam budidaya pertanian (Robin Gebbers and Viacheslav I. Adamchuk, 2010). Konsep

ini semakin relevan di Indonesia mengingat tantangan ketahanan pangan, keterbatasan lahan, perubahan iklim, serta kebutuhan peningkatan efisiensi input pertanian seperti pupuk dan air (Natasya, 2024). Indonesia sebagai negara agraris menghadapi berbagai persoalan dalam sektor pertanian, mulai dari rendahnya produktivitas, ketergantungan pada pola budidaya tradisional, hingga keterbatasan akses petani terhadap teknologi modern (I GN Aryawan Asasandi, Efendi, 2025). Oleh karena itu, penerapan pertanian presisi dianggap penting sebagai upaya transformasi pertanian menuju sistem yang lebih berkelanjutan, efisien, dan adaptif terhadap perkembangan global.

Urgensi penerapan pertanian presisi di Indonesia terletak pada perannya dalam meningkatkan produksi pangan nasional, menekan biaya produksi, serta menjaga keberlanjutan lingkungan. Di tengah meningkatnya jumlah penduduk dan kebutuhan pangan, modernisasi sektor pertanian tidak lagi menjadi pilihan, melainkan sebuah keharusan (Munir, 2024). Selain itu, pertanian presisi dapat menjadi solusi untuk meningkatkan daya saing produk pertanian Indonesia di pasar global. Rasionalisasi dari kajian ini adalah memberikan gambaran komprehensif mengenai peluang besar yang dimiliki Indonesia dalam adopsi pertanian presisi, sekaligus mengidentifikasi tantangan utama yang harus diatasi, seperti keterbatasan infrastruktur digital, biaya investasi yang tinggi, serta rendahnya literasi teknologi di kalangan petani (Suci Santo, 2021).

Pertanian presisi telah terbukti memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan hasil panen, efisiensi penggunaan input, dan keberlanjutan lingkungan. Selain itu, perkembangan Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan big data analytics semakin membuka peluang bagi penerapan pertanian presisi di Indonesia. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan data secara real-time mengenai kondisi tanah, kelembaban, cuaca, hingga deteksi hama, yang selanjutnya dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Misalnya, aplikasi sensor IoT yang terhubung dengan sistem irigasi otomatis terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 20% pada lahan padi sawah di Asia Tenggara (Shamshiri *et al.*, 2018). Dengan demikian, pemanfaatan teknologi digital tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu monitoring, tetapi juga sebagai instrumen strategis untuk meningkatkan efisiensi input, produktivitas, dan keberlanjutan pertanian. Hal ini semakin menegaskan bahwa transformasi pertanian presisi di Indonesia membutuhkan integrasi antara inovasi teknologi, kesiapan petani, serta dukungan kebijakan yang berorientasi pada modernisasi sektor pertanian. Di negara maju, teknologi ini berkembang pesat dengan dukungan infrastruktur digital yang kuat. Sementara di Indonesia, penerapan pertanian presisi masih terbatas pada komoditas tertentu, seperti padi dan kelapa sawit, serta didominasi oleh penelitian skala akademik dan uji coba. Hambatan utama adopsi pertanian presisi di Indonesia antara lain: kurangnya infrastruktur pendukung, keterbatasan modal, rendahnya literasi digital petani, serta minimnya dukungan kebijakan yang berorientasi pada transformasi digital pertanian (Sulaiman, 2024; Suci Santo, 2021). Namun demikian, peluang penerapannya tetap besar mengingat Indonesia memiliki populasi petani yang luas, kebutuhan peningkatan produktivitas pangan, serta potensi dukungan pemerintah dalam program digitalisasi pertanian.

Meskipun sejumlah penelitian telah menyoroti peluang dan tantangan pertanian presisi di Indonesia, hingga kini belum tersedia kajian sistematis berbasis metode PRISMA yang secara khusus menganalisis penerapan pertanian presisi berbasis digital di Indonesia. Sebagian besar literatur hanya membahas aspek parsial seperti literasi digital petani (Prasetyo *et al.*, 2025), keterbatasan infrastruktur (Wardhana and Fauzy, 2024), atau inovasi aplikasi tertentu (Muaziz *et al.*, 2024). Namun, belum ada sintesis komprehensif yang menelaah tren adopsi teknologi, hambatan implementasi, dan strategi kebijakan secara integratif dalam konteks nasional. Research gap ini penting untuk diisi

agar pengembangan pertanian presisi tidak sekadar menjadi diskursus akademik, melainkan mampu memberikan peta jalan (roadmap) berbasis bukti bagi transformasi pertanian di Indonesia.

Selain itu, data terkini menunjukkan urgensi peningkatan produktivitas pertanian melalui digitalisasi. Badan Pusat Statistik melaporkan bahwa produktivitas padi nasional rata-rata hanya mencapai 5,2 ton/ha, masih tertinggal dibandingkan negara-negara tetangga seperti Vietnam (5,8 ton/ha) dan Tiongkok (6,9 ton/ha) (Badan Pusat Statistik, 2023). Di sisi lain, tingkat adopsi teknologi digital di kalangan petani Indonesia masih relatif rendah; hanya sekitar 18% petani yang memanfaatkan aplikasi pertanian digital dalam kegiatan usahatani (Sukma, Puspitasari and Prasetyoputra, 2025). Berdasarkan Sensus Pertanian 2023, terdapat sekitar 6,18 juta petani milenial, yang mewakili 21,93 % dari total petani sebanyak 28,19 juta orang. Jumlah petani muda yang mulai beralih pada model usaha tani berbasis digital juga masih terbatas, yakni sekitar 9,3% dari total petani (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2023). Fakta ini memperlihatkan adanya kesenjangan antara potensi teknologi digital dan implementasi nyata di lapangan, sehingga diperlukan penelitian yang mampu mengidentifikasi faktor penghambat sekaligus strategi percepatan transformasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis peluang penerapan pertanian presisi berbasis digital dalam mendukung ketahanan pangan dan pembangunan pertanian berkelanjutan di Indonesia.
2. Mengidentifikasi tantangan implementasi pertanian presisi, baik dari aspek teknologi, sosial, ekonomi, maupun kebijakan.
3. Merumuskan rekomendasi strategis berbasis bukti yang dapat mendorong pengembangan dan percepatan adopsi pertanian presisi di tingkat nasional.

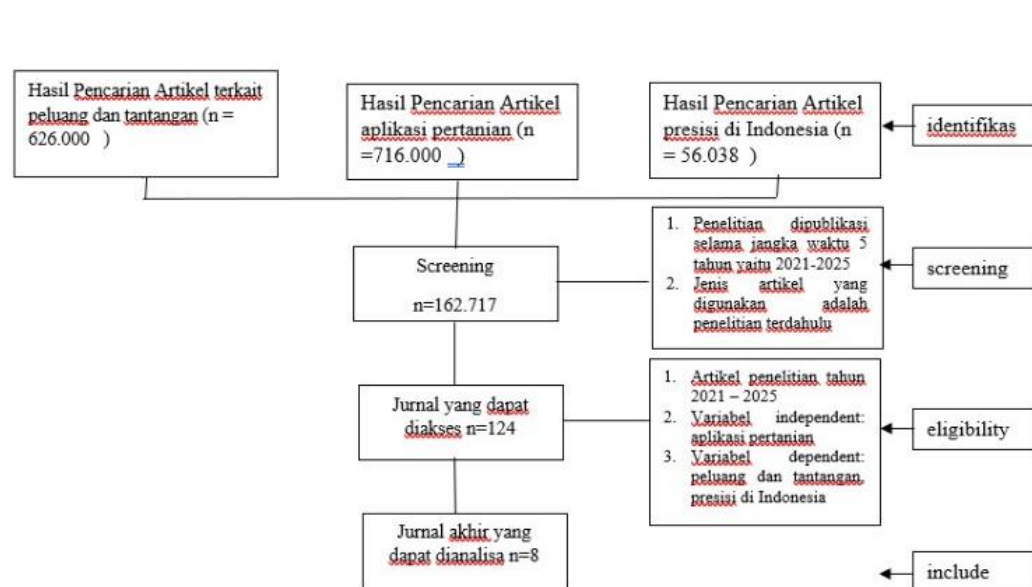
Pemecahan masalah dilakukan melalui studi literatur yang komprehensif dengan meninjau berbagai penelitian terdahulu terkait pertanian presisi, baik dari perspektif global maupun nasional. Kajian ini akan memetakan potensi penerapan teknologi digital pertanian, menganalisis hambatan implementasi, serta menawarkan strategi kebijakan dan pengembangan kapasitas petani agar adopsi teknologi dapat berjalan efektif.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan studi kepustakaan literatur review. Strategi dalam pencarian studi literatur menggunakan database online yaitu Google Scholar Scopus, dan Web of Science dengan kata kunci terkait peluang dan tantangan, aplikasi pertanian, presisi di Indonesia dengan *search starting* “*precision agriculture*” AND “*digital application*” AND “*Indonesia*”. Artikel yang digunakan adalah artikel yang ditulis dalam Bahasa Indonesia dan bahasa Inggris dan diterbitkan dalam kurun waktu 5 tahun terakhir. Artikel tersebut tentunya tersedia dengan teks yang lengkap, dan mempunyai nomor seri standar internasional (ISSN), serta relevan dengan topik pembahasan. Kriteria inklusi pada penelitian ini ialah artikel yang memuat peluang dan tantangan aplikasi pertanian presisi di Indonesia. Sedangkan kriteria eksklusi dari penelitian ini ialah artikel diterbitkan dalam kurun waktu lebih dari 5 tahun dan tidak memiliki teks lengkap, artikel bersumber dari publikasi yang tidak jelas, dan hasil penelitian tidak berhubungan peluang dan tantangan aplikasi pertanian presisi di Indonesia. Penulis menggunakan metode kajian sistematis PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review*) yang meliputi identifikasi, penyaringan, inklusi dan kelayakan berdasarkan temuan artikel yang kemudian dianalisis. Artikel yang sesuai kriteria akan dikaji untuk mendapatkan data terkait peluang dan tantangan aplikasi

pertanian presisi di Indonesia. Seluruh temuan mengenai topic tersebut akan didata dan disajikan beserta penjelasan secara naratif. Kesimpulan akan dibuat setelah data mengenai topik tersebut didapatkan.

kriteria	Inklusi	Ekslusi
Jangka	Waktu penerbitan jurnal maksimal 5 tahun	Waktu terbit jurnal lebih dari 5 tahun
Waktu	Pada rentan waktu 2021-2025	Tahun 2020 kebawah
Bahasa	Bahasa indonesia dan bahasa inggris	Bahasa yang susah dimengerti
Jenis jurnal	teks yang lengkap, dan mempunyai nomor seri standar internasional (ISSN), serta relevan dengan topik pembahasan	Tidak full text, hanya ada abstrak saja
Sasaran	artikel yang memuat peluang dan tantangan aplikasi pertanian presisi di Indonesia	Bukan berfokus pada artikel tentang peluang dan tantangan aplikasi pertanian presisi di Indonesia
Kata kunci	Kata kunci artikel berhubungan dengan peluang dan tantangan, aplikasi pertanian, presisi di Indonesia	Artikel tidak memuat kata kunci yang berhubungan dengan peluang dan tantangan, aplikasi pertanian, presisi di Indonesia
Metodologi	Studi dengan metode kualitatif, kuantitatif, atau mixed-method	Artikel tanpa metodologi yang jelas atau tidak relevan dengan tema penelitian



Gambar 1. Diagram pencarian literature

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelusuran melalui Google Scholar dan Science didapatkan ratusan ribu artike. Pemilihan jurnal dilakukan dengan menggunakan beberapa kriteria tertentu yakni, jurnal yang dianalisis berbahasa Indonesia dan Bahasa inggris tahun terbit 2021-2025, teks yang lengkap, dan mempunyai nomor seri standar internasional (ISSN), serta relevan dengan topik pembahasan. Jurnal pada pengambilan data memakai data primer dilanjutkan dengan analisa terhadap jurnal artikel sebesar 8 (delapan) dan jurnal berupa ulasan, rangkuman, pandangan dan pemikiran yang diringkas menurut beberapa sumber pustaka dibahas dengan mencari kesamaan topik yang ditentukan

Penulis melakukan penyaringan dari artikel yang diperoleh, sehingga terdapat 8 artikel yang dapat dilakukan review akhir. Delapan artikel tersebut memenuhi kriteria inklusi dapat diidentifikasi dan disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 2. Hasil Identifikasi Jurnal

No	Penulis dan Tahun	Judul	Nama Jurnal	Desain Penelitian	Hasil Penelitian
1	Diaz Agil Prasetyo et al., 2025(Prasetyo et al., 2025)	Perancangan Prototipe Antarmuka Pengguna pada Aplikasi E-Commerce Pertanian Berbasis Mobile	Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi)	Design Thinking (studi perancangan prototipe)	Menghasilkan rancangan antarmuka aplikasi e-commerce yang ramah pengguna untuk petani dengan literasi digital rendah, sehingga mendukung adopsi teknologi dalam pemasaran hasil tani.
2	Moh. Rifqi Fauzi, 2025(Fauzi, 2025)	Digital Transformation in Indonesian Agriculture: Enhancing Supply Chain Performance in the Era of Smart Farming 2025	Journal of Economics and Social Sciences (JESS)	Kualitatif, studi pustaka (literature review)	Transformasi digital meningkatkan efisiensi logistik, prediksi permintaan, transparansi rantai pasok, dan akses petani ke pasar; tantangan utama adalah kesenjangan digital, infrastruktur, dan resistensi adopsi teknologi.
3	Rindi Maylinda Fitri, 2025(Rindi Maylinda Fitri, 2025)	Inovasi Digital dalam Pertanian: Membandingkan Potensi Teknologi Open Source dan Komersial untuk Transformasi Industri	Uranus: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika	Deskriptif komparatif, dengan 30 petani responden	Teknologi open source lebih terjangkau dan fleksibel, tetapi kurang dukungan teknis; teknologi komersial lebih terintegrasi dengan dukungan penuh, tetapi biayanya tinggi dan sulit diakses petani kecil.
4	Adhitya Wardhana et al., 2024(Wardhana and Fauzy, 2024)	The Impact of Internet Access Contributing to Farmers' Welfare in Indonesia: A Case Study Based on National Socio-Economic Survey	Signifikan: Jurnal Ilmu Ekonomi	Kuantitatif, analisis data Susenas dengan model probit	Akses internet meningkatkan kesejahteraan petani kelas menengah-atas (Q3–Q5), tetapi petani berpendapatan rendah masih

					terkendala biaya, infrastruktur, dan literasi digital rendah.
5	Amirrul Dafa Alhafiz & Enny Itje Sela (2025)(Alhafiz and Sela, 2025)	Aplikasi Mobile Untuk Konsultasi Petani Dalam Mendukung Pertanian Digital	Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia (JPTI), Vol. 5, No. 1, Januari 2025	Metode Agile dengan pendekatan campuran kualitatif dan kuantitatif; data dari wawancara, FGD, kuesioner, dan uji coba aplikasi pada 50 petani	Aplikasi meningkatkan produktivitas pertanian rata-rata 18%, mengurangi penggunaan pupuk berlebih hingga 15%, memudahkan akses informasi dan konsultasi real-time; tantangan berupa rendahnya literasi teknologi dan keterbatasan perangkat di daerah terpencil
6	Winda Mega Prawitha, Muhammad Priyono Tri Sulistyanto, Wasum, 2022(Priyono and Sulistyanto, 2022)	Aplikasi Berbasis Android untuk Monitoring dan Pengontrolan Pertanian Pintar	Jurnal Pendidikan Sains dan Komputer	Penelitian pengembangan (R&D) dengan integrasi Android + IoT	Aplikasi Android terhubung dengan perangkat pertanian pintar memungkinkan monitoring umur tanaman, kadar air, kelembaban, serta aksi otomatis (tanam, siram, panen). Uji coba menunjukkan sistem berjalan efisien dengan faterate optimal 1000.
7	Syahirul Alim, Angga Sukmara Christian Permadi, Verdy Firmantoro (2024)(Alim <i>et al.</i> , 2024)	Enhancing Agricultural Practices through ICT: The Diffusion and Impact of the Among Tani Application in Batu City, Indonesia	Jurnal Perencanaan Pembangunan: The Indonesian Journal of Development Planning, Vol. VIII No. 2	Kualitatif, Deskriptif, dengan wawancara, observasi, dan analisis dokumen	Among Tani meningkatkan akses informasi, komunikasi petani pemerintah, dan pengelolaan hama; adopsi dipengaruhi usia petani dan jenis komoditas; tantangan meliputi kesenjangan digital dan integrasi praktik tradisional.
8	Imam Muaziz, Fandy Setyo Utomo, Dwi Krisbiantoro, & Ito Setiawan	Desain Aplikasi Mobile Smart Farming dengan Pendekatan Design Thinking untuk	JUSTIN (Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi), Vol. 12, No. 2, April 2024	Design Thinking dengan lima tahap (Empathize, Define, Ideate,	Desain aplikasi “Rumah Tani” menghasilkan UI/UX yang user-friendly. Fitur meliputi prediksi

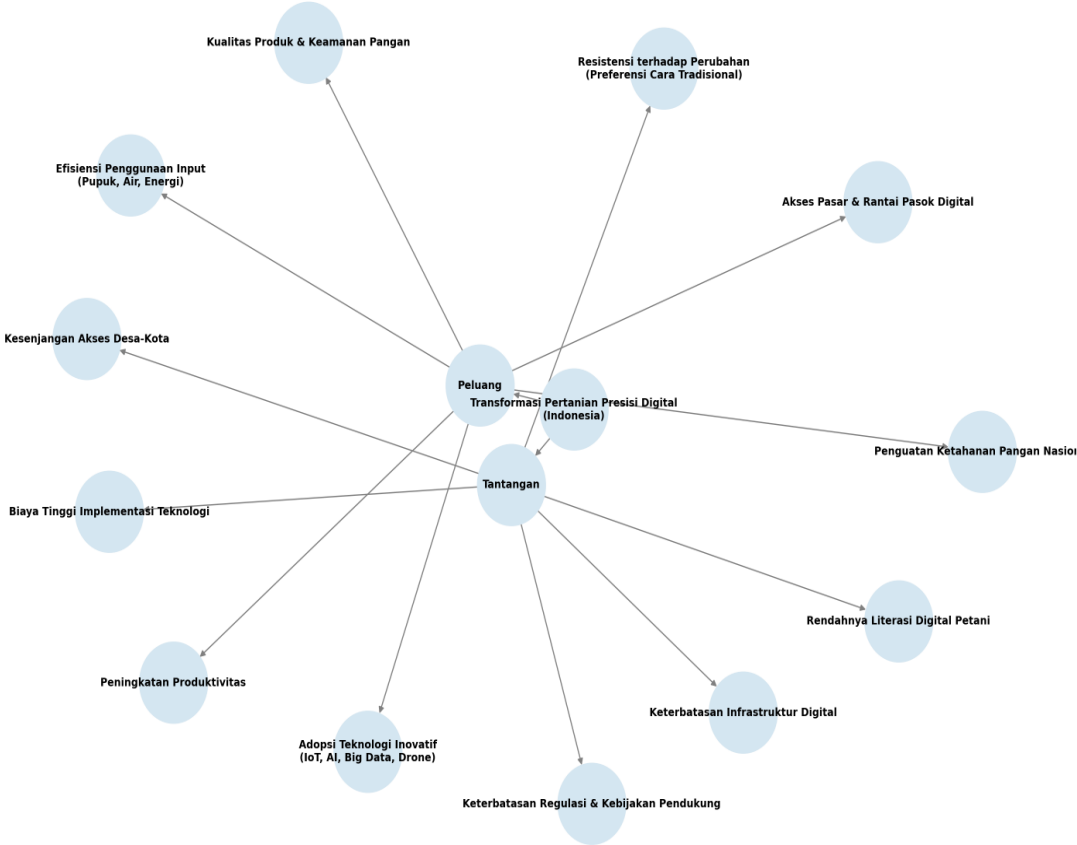
	(2024)(Muaziz <i>et al.</i> , 2024)	Meningkatkan Produktivitas Pertanian		Prototype, Test). Data dikumpulkan melalui wawancara, observasi, kuesioner, serta uji coba prototipe dengan petani.	cuaca, deteksi hama, panduan bertani, distribusi hasil panen, dan komunitas petani. Skor System Usability Scale (SUS) rata-rata 85,5 (kategori excellent), menunjukkan aplikasi sesuai kebutuhan pengguna dan berpotensi meningkatkan produktivitas pertanian.
--	-------------------------------------	--------------------------------------	--	---	--

Tabel 3. tabel ringkasan perbandingan hasil (peluang, tantangan, solusi)

No	Judul & Penulis	Peluang	Tantangan	Solusi yang Ditawarkan
1	Enhancing Agricultural Practices through ICT: The Diffusion and Impact of the Among Tani Application – Syahirul Alim et al. (2024)	Memperkuat komunikasi petani, akses informasi cuaca & harga, integrasi smart city.	Kesenjangan digital, keterbatasan adopsi aplikasi, resistensi terhadap praktik tradisional.	Pendekatan sosialisasi berbasis komunitas, dukungan pemerintah daerah, dan peran agen perubahan lokal.
2	Perancangan Prototipe Antarmuka E-Commerce Pertanian Mobile – Diaz Agil Prasetyo et al. (2025)	Memotong rantai distribusi hasil pertanian, meningkatkan akses pasar langsung.	Literasi digital petani masih rendah, desain aplikasi belum ramah pengguna.	Desain antarmuka sederhana berbasis Design Thinking untuk memudahkan petani dengan literasi digital rendah.
3	Aplikasi Mobile untuk Konsultasi Petani – Amirrul Dafa Alhafiz & Enny Itje Sela (2025)	Konsultasi real-time dengan ahli, peningkatan produktivitas hingga 25%, efisiensi penggunaan pupuk.	Rendahnya literasi teknologi, keterbatasan perangkat dan infrastruktur di desa.	Aplikasi ramah pengguna berbasis agile development, edukasi teknologi bagi petani, serta integrasi fitur interaktif.
4	Digital Transformation in Indonesian Agriculture: Enhancing Supply Chain Performance – Moh. Rifqi Fauzi (2025)	Meningkatkan efisiensi logistik, transparansi data, dan akses pasar melalui IoT, Big Data, AI, blockchain.	Kesenjangan infrastruktur digital, resistensi petani terhadap adopsi teknologi.	Kolaborasi pemerintah, swasta, dan komunitas; pembangunan ekosistem digital inklusif dan adaptif.
5	Inovasi Digital: Perbandingan Teknologi Open Source vs Komersial – Rindi Maylinda Fitri (2025)	Teknologi open source: murah dan fleksibel. Teknologi komersial:	Open source: kurang dukungan teknis. Komersial: biaya tinggi bagi petani kecil.	Kebijakan penyediaan teknologi terjangkau, subsidi, dan

		dukungan teknis lengkap & sistem terintegrasi.		pelatihan aksesibel bagi petani.
6	The Impact of Internet Access Contributing to Farmers' Welfare – Wardhana et al. (2024)	Internet meningkatkan akses informasi, pasar, dan pendapatan petani; mengurangi asimetri informasi.	Keterbatasan infrastruktur internet pedesaan, literasi digital rendah, disparitas wilayah timur & barat.	Pembangunan infrastruktur internet, subsidi perangkat, dan program peningkatan literasi digital.
7	Desain Aplikasi Mobile Smart Farming dengan Design Thinking – Imam Muaziz et al. (2024)	Smart farming meningkatkan produktivitas & kualitas pertanian; antarmuka mobile memudahkan adopsi.	Produktivitas rendah, perubahan iklim, akses teknologi terbatas.	Desain UI/UX berbasis Design Thinking, penggunaan IoT & AI, serta pendekatan ramah pengguna.
8	Aplikasi Android untuk Monitoring dan Kontrol Pertanian Pintar – Winda Mega Prawitha et al. (2022)	Monitoring tanaman real-time (air, suhu, kelembaban), otomatisasi tanam & panen.	Implementasi IoT di Indonesia masih terbatas, kebutuhan infrastruktur & pemrograman G-code.	Aplikasi Android terintegrasi IoT, otomatisasi berbasis REST API, serta pengembangan sistem monitoring praktis.

Peta Konsep: Peluang dan Tantangan Transformasi Pertanian Presisi Digital di Indonesia



Gambar 2. Peta Konsep Peluang dan tantangan Transpormasi Pertanian Presisi digital di Indonesia

3.1 Tantangan Literasi Digital Petani

Rendahnya literasi digital merupakan tantangan mendasar dalam penerapan aplikasi pertanian presisi di Indonesia. Banyak petani masih terbiasa menggunakan metode tradisional dan belum familiar dengan perangkat digital, sehingga kesulitan dalam memahami maupun mengoperasikan aplikasi berbasis teknologi. Menurut Prasetyo et al. (2025), hambatan literasi ini berdampak pada rendahnya tingkat adopsi aplikasi, meskipun teknologi tersebut sebenarnya mampu meningkatkan efisiensi produksi. Oleh karena itu, penyederhanaan antarmuka aplikasi menjadi kebutuhan mendesak agar dapat diakses oleh petani dengan keterampilan digital yang terbatas (Prasetyo *et al.*, 2025).

Menariknya, studi oleh Afrianto et al. (2022) menyajikan pendekatan alternatif melalui program Klinik Tanipanen, yaitu layanan konsultasi online antara petani dan ahli pertanian (Afrianto *et al.*, 2022). Intervensi ini tidak hanya memberikan akses langsung terhadap solusi teknis, tetapi juga meningkatkan keterampilan literasi informasi petani sebuah indikasi bahwa program pelatihan berbasis konteks (yaitu dalam bentuk konsultasi digital) dapat mempercepat adopsi dan pemanfaatan teknologi secara lebih inklusif. Dengan demikian, selain memprioritaskan desain antarmuka yang sederhana, penguatan literasi digital melalui program pelatihan dan layanan konsultatif adalah strategi penting untuk mempercepat transformasi digital sektor pertanian nasional.

Penyelesaian masalah literasi digital petani tidak dapat hanya mengandalkan penyederhanaan antarmuka aplikasi, tetapi juga perlu diiringi dengan strategi peningkatan kapasitas petani secara sistematis. Salah satu pendekatan yang efektif adalah melalui model *blended learning* yang menggabungkan pelatihan tatap muka dengan konsultasi daring, sehingga petani dapat belajar sekaligus mempraktikkan penggunaan teknologi sesuai konteks lokal mereka. Program pelatihan berbasis komunitas yang difasilitasi oleh penyuluh pertanian juga terbukti lebih efektif, karena memanfaatkan kepercayaan sosial yang sudah terbentuk dalam kelompok tani. Selain itu, kemitraan dengan lembaga pendidikan dan organisasi non-pemerintah dapat memperluas cakupan intervensi, khususnya di daerah pedesaan dengan akses terbatas. Dengan demikian, literasi digital petani tidak hanya ditingkatkan melalui pelatihan teknis, tetapi juga melalui pendekatan kontekstual yang adaptif terhadap kebutuhan, bahasa, dan budaya lokal. Upaya ini akan mempercepat adopsi aplikasi pertanian presisi sekaligus memastikan keberlanjutan transformasi digital di sektor pertanian nasional.

3.2 Keterbatasan Infrastruktur Digital

Selain faktor literasi, keterbatasan infrastruktur digital juga menjadi hambatan serius dalam pengembangan pertanian presisi di Indonesia. Akses internet yang tidak merata, terutama di wilayah pedesaan, membatasi jangkauan dan efektivitas aplikasi pertanian berbasis digital. Wardhana dan Fauzy (2024) menegaskan bahwa manfaat akses internet lebih banyak dirasakan oleh petani dengan tingkat pendapatan menengah ke atas, sedangkan petani kecil masih menghadapi kendala biaya serta kualitas jaringan yang buruk. Hal ini menimbulkan kesenjangan dalam distribusi manfaat teknologi digital, di mana kelompok petani yang seharusnya paling membutuhkan inovasi justru tertinggal (Wardhana and Fauzy, 2024).

Studi Alhafiz dan Sela (2025) turut mengidentifikasi bahwa keterbatasan perangkat keras memperparah hambatan infrastruktur digital. Banyak petani tidak memiliki perangkat dengan spesifikasi memadai untuk mengoperasikan aplikasi pertanian presisi, sehingga meskipun akses internet tersedia, teknologi tetap tidak dapat dimanfaatkan secara optimal (Alhafiz and Sela, 2025). Menambah pemahaman tersebut, penelitian *Indonesia Labor Force Survey* yang dianalisis dalam *Asian Development Review* menunjukkan efek nyata keterbatasan infrastruktur digital terhadap kesejahteraan

petani. Studi tersebut menemukan bahwa adopsi internet tingkat-ke-individu berhubungan signifikan dengan peningkatan pendapatan pertanian, terutama di subsektor peternakan. Namun, varian geografis menunjukkan disparitas: wilayah luar Jawa-Bali, terutama di timur Indonesia, memiliki jumlah desa dengan sinyal internet yang andal jauh lebih sedikit dibandingkan Jawa dan Bali (Sukma, Puspitasari and Prasetyoputra, 2025).

Oleh karena itu, perlunya investasi infrastruktur internet yang lengkap dan pengembangan sumber daya manusia, serta penyediaan akses internet berbiaya rendah untuk petani berpendapatan rendah, demi meratakan peluang dan meningkatkan pendapatan pertanian secara merata. Selain itu diperlukan strategi yang komprehensif, meliputi perluasan jaringan internet pedesaan oleh pemerintah serta pengembangan aplikasi yang ringan dan kompatibel dengan perangkat berspesifikasi rendah. Upaya ini akan memastikan bahwa aplikasi pertanian presisi dapat diakses secara inklusif oleh seluruh lapisan petani.

3.3 Biaya Investasi Teknologi yang Tinggi

Tantangan lain yang tidak kalah penting adalah tingginya biaya investasi teknologi pertanian presisi. Penerapan teknologi digital sering kali membutuhkan perangkat keras, perangkat lunak, dan dukungan teknis yang tidak murah, sehingga menyulitkan petani kecil untuk mengadopsinya. Fitri (2025) membandingkan antara teknologi open source dan teknologi komersial, di mana teknologi open source dinilai lebih fleksibel dan terjangkau, namun tidak selalu memiliki dukungan teknis yang memadai. Sebaliknya, teknologi komersial menawarkan integrasi sistem dan dukungan penuh, tetapi biayanya sangat tinggi dan sulit diakses oleh petani dengan keterbatasan modal (Rindi Maylinda Fitri, 2025).

Tingginya biaya investasi dalam pertanian presisi juga memperlihatkan adanya ketergantungan pada skala ekonomi yang lebih besar. Semakin besar unit usaha pertanian, semakin rendah biaya relatif teknologi yang harus ditanggung per satuan produksi, sehingga mendorong percepatan adopsi pada kelompok petani besar. Sebaliknya, petani kecil yang memiliki keterbatasan modal cenderung menghadapi risiko finansial lebih tinggi ketika mencoba beralih ke teknologi baru. Hal ini memperlihatkan bahwa persoalan biaya tidak hanya berimplikasi pada hambatan teknis, tetapi juga berpotensi menciptakan ketidakadilan struktural dalam akses terhadap inovasi pertanian. Oleh karena itu, upaya menekan biaya investasi tidak cukup hanya melalui subsidi, tetapi juga memerlukan strategi jangka panjang berupa pengembangan model bisnis berbasis koperasi, skema pembiayaan kolektif, serta inovasi teknologi lokal yang lebih murah dan sesuai kebutuhan petani kecil.

Kondisi tersebut menimbulkan kesenjangan adopsi, di mana petani besar atau korporasi pertanian lebih mampu mengakses teknologi, sementara petani kecil tetap bergantung pada cara tradisional. Untuk mengatasi persoalan ini, diperlukan kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan komunitas petani. Pemerintah dapat berperan dalam menyediakan subsidi perangkat atau insentif finansial, sementara sektor swasta dapat mendukung dengan skema pembiayaan yang lebih inklusif. Dengan demikian, hambatan biaya dapat diminimalisir sehingga teknologi pertanian presisi dapat diakses secara lebih merata dan berkontribusi pada peningkatan produktivitas nasional.

3.4 Resistensi terhadap Adopsi Teknologi

Selain faktor literasi digital, resistensi petani terhadap perubahan juga menjadi tantangan besar dalam implementasi pertanian presisi. Fauzi (2025) menjelaskan bahwa sebagian besar petani masih nyaman menggunakan praktik tradisional yang diwariskan secara turun-temurun. Hal ini membuat mereka ragu untuk beralih ke teknologi baru

meskipun potensinya terbukti dapat meningkatkan efisiensi. Resistensi ini bukan hanya soal teknis, tetapi juga terkait dengan budaya dan kebiasaan yang sudah mengakar dalam komunitas petani (Fauzi, 2025).

Penelitian Alim et al. (2024) menegaskan bahwa agar adopsi teknologi lebih diterima, aplikasi digital perlu mengakomodasi praktik lokal yang sudah ada. Integrasi antara pengetahuan tradisional dengan data digital menjadi strategi penting untuk meningkatkan penerimaan petani terhadap teknologi (Alim et al., 2024). Penyuluh pertanian juga berperan besar sebagai mediator dalam memperkenalkan inovasi baru, karena posisi mereka lebih dekat dengan komunitas petani. Oleh karena itu, pendekatan berbasis komunitas dan sosialisasi yang berkesinambungan perlu dikedepankan dalam upaya mengurangi resistensi.

Untuk mengatasi resistensi tersebut, diperlukan strategi penyelesaian yang menempatkan petani sebagai subjek utama dalam proses transformasi digital. Pendekatan *participatory extension* yang melibatkan petani secara aktif dalam perancangan, uji coba, dan evaluasi aplikasi digital dapat meningkatkan rasa kepemilikan dan kepercayaan terhadap teknologi baru. Selain itu, pelibatan tokoh lokal atau petani teladan sebagai agen perubahan terbukti efektif dalam membangun kepercayaan komunitas terhadap inovasi, karena petani cenderung lebih mudah menerima rekomendasi dari figur yang mereka kenal dan hormati. Program pelatihan yang mengintegrasikan praktik lokal dengan teknologi digital juga berpotensi memperkecil jarak antara tradisi dan inovasi. Dengan cara ini, resistensi dapat diredam bukan melalui pemaksaan adopsi, melainkan dengan membangun kesadaran, keterlibatan, dan kepercayaan yang berkesinambungan di tingkat komunitas.

3.5 Kesenjangan Sosial-Ekonomi Petani

Penerapan aplikasi digital pertanian presisi juga memperlihatkan adanya kesenjangan sosial-ekonomi di kalangan petani. Wardhana dan Fauzy (2024) menunjukkan bahwa manfaat teknologi digital lebih banyak dirasakan oleh petani menengah hingga atas, sedangkan petani kecil masih menghadapi kendala biaya, literasi digital, serta keterbatasan akses perangkat. Kondisi ini menimbulkan ketidakmerataan dalam distribusi manfaat teknologi, sehingga berpotensi memperlebar jurang kesejahteraan antar kelompok petani (Wardhana and Fauzy, 2024).

Kesenjangan sosial-ekonomi dalam adopsi pertanian presisi menunjukkan bahwa transformasi digital tidak dapat dipandang hanya sebagai persoalan teknologi semata, melainkan juga terkait dengan struktur sosial dan akses terhadap sumber daya. Petani dengan modal besar cenderung lebih cepat mengadopsi teknologi karena memiliki kemampuan finansial dan akses pada informasi, sedangkan petani kecil sering kali tertinggal akibat keterbatasan tersebut. Apabila kondisi ini dibiarkan, maka digitalisasi pertanian justru berpotensi memperdalam ketidaksetaraan di sektor pertanian. Oleh karena itu, pemerataan akses terhadap teknologi digital perlu ditempatkan sebagai agenda utama dalam kebijakan pembangunan pertanian, sehingga setiap lapisan petani memiliki kesempatan yang sama untuk merasakan manfaat inovasi teknologi.

Untuk mengatasi hal tersebut, dibutuhkan intervensi kebijakan yang bersifat inklusif. Subsidi perangkat digital, program kredit mikro untuk teknologi pertanian, serta pendampingan intensif dapat menjadi solusi bagi petani kecil agar mampu mengakses teknologi. Pendekatan kolaboratif antara pemerintah, swasta, dan lembaga pendidikan juga dapat mempercepat pemerataan akses. Dengan demikian, transformasi digital tidak hanya dinikmati oleh segelintir kelompok, tetapi dapat berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan seluruh petani.

3.6 Dukungan Kebijakan dan Regulasi

Minimnya dukungan kebijakan yang terarah menjadi hambatan lain dalam pengembangan pertanian presisi di Indonesia. Sulaiman (2024) menekankan bahwa adopsi teknologi digital tidak dapat berjalan optimal tanpa adanya regulasi yang mendukung. Kebijakan pemerintah masih cenderung berfokus pada aspek produksi konvensional, sementara transformasi digital membutuhkan instrumen kebijakan yang lebih spesifik (Sulaiman, 2024).

Suci Santo (2021) menambahkan bahwa strategi digitalisasi pertanian perlu disertai dengan insentif dan regulasi yang mampu mendorong partisipasi petani. Kebijakan tersebut mencakup subsidi perangkat digital, peningkatan kapasitas penyuluh pertanian, serta penguatan infrastruktur jaringan pedesaan. Selain itu, integrasi data pertanian nasional juga menjadi kebutuhan penting agar pengambilan kebijakan berbasis bukti dapat dilakukan secara lebih akurat. Dukungan regulasi yang kuat tidak hanya akan mempercepat transformasi digital, tetapi juga memastikan keberlanjutan implementasinya di masa depan (Suci Santo, 2021).

Penyelesaian masalah minimnya dukungan kebijakan dapat ditempuh melalui perumusan regulasi yang holistik dan berbasis bukti, yang mengintegrasikan aspek teknologi, sosial, dan ekonomi dalam pembangunan pertanian presisi. Pemerintah perlu mengembangkan kerangka regulasi yang tidak hanya memberikan insentif finansial berupa subsidi perangkat digital, tetapi juga memastikan adanya program pendampingan berkelanjutan melalui penguatan kapasitas penyuluh pertanian. Selain itu, kolaborasi lintas sektor antara pemerintah, swasta, dan lembaga pendidikan tinggi sangat penting untuk menyediakan infrastruktur digital yang merata serta menciptakan ekosistem inovasi pertanian yang berkelanjutan. Pengembangan sistem open data pertanian nasional juga dapat memperkuat transparansi dan akurasi pengambilan keputusan, sehingga kebijakan yang diterapkan benar-benar responsif terhadap kebutuhan petani. Dengan pendekatan tersebut, dukungan kebijakan tidak hanya berfungsi sebagai pendorong adopsi teknologi jangka pendek, tetapi juga sebagai fondasi keberlanjutan transformasi digital dalam jangka panjang.

3.7 Diskusi

Kajian ini menawarkan kebaruan (novelty) melalui sintesis sistematis berbasis metode PRISMA yang berfokus pada literatur pertanian presisi digital di Indonesia periode 2021–2025. Berbeda dengan studi sebelumnya yang umumnya terfragmentasi pada aspek teknis tertentu seperti sensor, drone, atau aplikasi tunggal (Shamshiri *et al.*, 2018), penelitian ini menegaskan pola baru berupa pergeseran paradigma dari penggunaan perangkat mandiri menuju ekosistem teknologi cerdas terintegrasi antara Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan *big data analytics* sebagai bagian dari kerangka pengambilan keputusan berbasis data (Hussein *et al.*, 2025)(Ahmad *et al.*, 2024). Temuan penting lain adalah munculnya keterkaitan erat antara literasi digital petani dengan produktivitas pertanian. Literasi digital terbukti menjadi faktor mediasi yang menentukan keberhasilan implementasi teknologi digital, sebab petani yang lebih melek teknologi mampu memanfaatkan informasi untuk efisiensi penggunaan pupuk, air, dan input lainnya, sehingga berimplikasi pada peningkatan hasil panen (Wardhana and Fauzy, 2024; Sukma, Puspitasari and Prasetyoputra, 2025).

Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan adanya pergeseran metodologis dari studi yang berorientasi pada *proof of concept* teknologi menuju studi social teknis yang menekankan aspek adopsi, adaptasi, dan kelembagaan. Dalam konteks global, literatur pertanian presisi di negara maju telah memasuki fase integrasi penuh antara teknologi digital dan kebijakan pertanian, sedangkan Indonesia masih berada pada fase transisi,

dengan potensi besar namun dihambat keterbatasan infrastruktur digital, biaya adopsi, dan kesenjangan literasi. Hal ini menempatkan Indonesia sebagai kasus negara berkembang yang unik, di mana keberhasilan transformasi pertanian digital sangat ditentukan oleh kombinasi intervensi teknologi, kapasitas manusia, dan kebijakan kelembagaan (Muaziz *et al.*, 2024; Prasetyo *et al.*, 2025). Dengan demikian, kontribusi utama artikel ini tidak hanya menyajikan tinjauan komprehensif mengenai peluang dan tantangan, tetapi juga menawarkan perspektif konseptual baru bahwa jalur literasi digital produktivitas merupakan faktor kunci dalam mempercepat transformasi pertanian presisi berbasis digital di Indonesia.

Secara global, transformasi pertanian presisi telah bergerak ke arah integrasi teknologi digital canggih seperti IoT, AI, big data, dan blockchain, yang tidak hanya digunakan untuk meningkatkan produktivitas, tetapi juga sebagai instrumen keberlanjutan, misalnya dalam efisiensi penggunaan air, pengurangan emisi karbon, dan adaptasi perubahan iklim (Wolfert *et al.*, 2017; Rose and Chilvers, 2018). Negara-negara seperti Amerika Serikat, Belanda, dan Tiongkok telah memanfaatkan teknologi ini pada skala industri, dengan dukungan kuat infrastruktur digital dan kebijakan inovasi pertanian. Dalam konteks tersebut, temuan di Indonesia menunjukkan posisi yang berbeda: meskipun teknologi serupa mulai diperkenalkan, adopsinya masih terbatas oleh rendahnya literasi digital petani, biaya investasi, serta keterbatasan infrastruktur pedesaan. Hal ini menempatkan Indonesia pada fase transisi, di mana potensi teknologi sudah tersedia namun dampak nyatanya sangat bergantung pada kesiapan institusional dan sumber daya manusia.

Lebih jauh, hasil kajian ini menunjukkan bahwa literasi digital sebagai mediator produktivitas menjadi pembeda penting antara konteks Indonesia dengan negara maju. Jika di negara maju hambatan adopsi terutama bersifat teknis atau pasar, di Indonesia hambatan justru bersifat social ekonomi dan kelembagaan. Hal ini selaras dengan temuan global yang menekankan pentingnya *human centered design* dalam pertanian digital, di mana pemanfaatan teknologi harus mempertimbangkan kapasitas, budaya, dan kebutuhan lokal (Eastwood *et al.*, 2019; Klerkx, Jakku and Labarthe, 2019). Dengan demikian, Indonesia berkontribusi pada literatur internasional dengan menghadirkan bukti empiris bahwa keberhasilan transformasi digital pertanian di negara berkembang tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan teknologi, tetapi juga oleh strategi peningkatan literasi digital, kebijakan inklusif, dan penguatan kelembagaan petani.

4. KESIMPULAN

Kajian ini menegaskan bahwa transformasi pertanian presisi berbasis digital di Indonesia merupakan sebuah keniscayaan dalam upaya meningkatkan produktivitas, efisiensi, serta keberlanjutan sistem pertanian. Tinjauan sistematis berbasis PRISMA terhadap literatur 2021–2025 menunjukkan pola baru dalam penelitian, yaitu pergeseran fokus dari sekadar perangkat tunggal menuju ekosistem teknologi terintegrasi yang menggabungkan Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan *big data analytics* untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Pola tersebut tidak hanya berdampak pada optimalisasi input dan hasil produksi, tetapi juga memperkuat efisiensi rantai pasok, transparansi pasar, dan ketahanan pangan nasional.

Namun demikian, temuan ini juga memperlihatkan adanya tantangan multidimensional yang bersifat teknis, sosial, dan kelembagaan. Hambatan utama meliputi keterbatasan infrastruktur digital pedesaan, rendahnya literasi digital petani, biaya tinggi implementasi teknologi, serta disparitas akses antara wilayah perkotaan dan perdesaan. Faktor-faktor tersebut membatasi skala adopsi teknologi dan memperdalam

kesenjangan produktivitas antar kelompok petani. Dengan demikian, literasi digital terbukti sebagai faktor mediasi kunci: tanpa peningkatan kapasitas manusia, teknologi presisi tidak akan memberikan manfaat optimal.

Dalam konteks global, posisi Indonesia berada pada fase transisi, berbeda dengan negara maju yang telah mengintegrasikan teknologi digital ke dalam sistem pertanian secara penuh. Potensi Indonesia terletak pada ketersediaan lahan luas, keragaman agroekologi, dan kebutuhan pangan yang besar; namun pemanfaatan teknologi digital masih menghadapi kendala struktural. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai kasus penting di literatur internasional, yang memperlihatkan bahwa keberhasilan transformasi pertanian presisi di negara berkembang tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga oleh strategi pembangunan kapasitas manusia, dukungan kebijakan, dan model kelembagaan yang inklusif.

Dengan demikian, kontribusi utama kajian ini adalah memberikan pemahaman bahwa transformasi pertanian presisi berbasis digital tidak dapat dipandang semata sebagai agenda teknologis, melainkan sebagai proses sosio teknis dan institusional yang kompleks. Untuk itu, intervensi strategis yang menggabungkan penyediaan teknologi terjangkau, program literasi digital yang masif, dukungan kebijakan berbasis bukti, serta penguatan kelembagaan petani menjadi prasyarat bagi percepatan adopsi. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengembangkan model kuantitatif longitudinal yang mampu mengevaluasi jalur *literacy technology productivity*, serta merancang uji coba kebijakan (*policy pilots*) yang mengintegrasikan subsidi teknologi dengan skema pendampingan kelembagaan. Dengan pendekatan tersebut, transformasi pertanian digital di Indonesia dapat diwujudkan tidak hanya sebagai slogan inovasi, tetapi sebagai jalan nyata menuju pembangunan pertanian yang tangguh, inklusif, dan berkelanjutan. Kajian ini juga memberikan dasar konseptual untuk desain kebijakan digitalisasi pertanian berbasis bukti di Indonesia.

5.1 Keterbatasan Penelitian

Banyak artikel yang direview bersifat konseptual, studi kasus kecil, atau uji coba teknologi terbatas. Hanya sedikit studi yang menggunakan metode kuantitatif longitudinal atau *impact evaluation* berskala besar, sehingga hubungan kausal antara literasi digital, adopsi teknologi, dan produktivitas masih bersifat indikatif, dan belum konklusif. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengembangkan model kuantitatif longitudinal yang mampu mengevaluasi jalur *literacy technology productivity*, serta merancang uji coba kebijakan (*policy pilots*) yang mengintegrasikan subsidi teknologi dengan skema pendampingan kelembagaan.

REFERENCES

- Afrianto, W.F. *et al.* (2022) 'Empowerment of Farmers Through the Online Extension in Improving Agricultural Information Literacy', *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 5(2), pp. 374–378. Available at: <https://doi.org/10.29303/jpmpi.v5i2.1637>.
- Ahmad, A. *et al.* (2024) 'AI can empower agriculture for global food security: challenges and prospects in developing nations', *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7(April), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1328530>.
- Alhafiz, A.D. and Sela, E.I. (2025) 'Aplikasi Mobile Untuk Konsultasi Petani Dalam Mendukung Pertanian Digital Mobile Application for Agricultural Consultation in Supporting Digital Farming', 5(1), pp. 9–14.
- Alim, S. *et al.* (2024) 'Enhancing Agricultural Practices through ICT : The Diffusion and Impact of the Among Tani Application in Batu City , Indonesia', VIII(2), pp. 237–255.

- Badan Pusat Statistik (2023) 'Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2023 (Angka Tetap)', *Berita Resmi Statistik*, 2023(68), pp. 1–8. Available at: <https://www.bps.go.id/pressrelease/2023/10/16/2037>.
- Eastwood, C. *et al.* (2019) 'Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation', *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 32(5–6), pp. 741–768. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9704-5>.
- Fauzi, M.R. (2025) 'Digital Transformation in Indonesian Agriculture: Enhancing Supply Chain Performance in the Era of Smart Farming 2025', 4(2024), pp. 600–605. Available at: <https://doi.org/10.59525/jess.v4i2.878>.
- Hussein, J.B. *et al.* (2025) 'A review on the impact of big data analytics in transforming agricultural practices, food processing, and preservation strategies', *Applied Food Research*, 5(2), p. 101234. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101234>.
- I GN Aryawan Asasandi, Efendi, and F.E.F. (2025) 'Indonesian Research Journal on Education', 5, pp. 832–835.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia (2023) *Petani Milenial Memperkuat Ketahanan Pangan Nasional*. Available at: https://indonesia.go.id/kategori/editorial/8801/petani-milenial-memperkuat-ketahanan-pangan-nasional?lang=1&utm_source.
- Klerkx, L., Jakku, E. and Labarthe, P. (2019) 'A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda', *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, p. 100315. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>.
- Muaziz, I. *et al.* (2024) 'Desain Aplikasi Mobile Smart Farming dengan Pendekatan Design Thinking untuk Meningkatkan Produktivitas Pertanian Smart Farming Mobile Application Design with a Design Thinking Approach to Increase Agricultural Productivity', 12(2), pp. 338–344. Available at: <https://doi.org/10.26418/justin.v12i1.75319>.
- Munir, J. (2024) *Teknologi Produksi Tanaman Pangan*.
- Natasya, D. (2024) 'Penerapan Teknologi Pertanian Presisi dalam Meningkatkan Efisiensi Produksi', pp. 1–8.
- Prasetyo, D.A. *et al.* (2025) 'Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi) Perancangan Prototipe Antarmuka Pengguna pada Aplikasi E- Commerce Pertanian Berbasis Mobile', 9(June), pp. 673–682.
- Priyono, M. and Sulistyanto, T. (2022) 'Jurnal Pendidikan Sains dan Komputer Aplikasi Berbasis Android untuk Monitoring Dan Pengontrolan Pertanian Pintar Jurnal Pendidikan Sains dan Komputer', 2(1), pp. 103–112.
- Rindi Maylinda Fitri (2025) 'Inovasi Digital dalam Pertanian Membandingkan Potensi Teknologi Open Source dan Komersial untuk Transformasi Industri Inovasi Digital dalam Pertanian Membandingkan Potensi Teknologi Open Source dan Komersial', (1).
- Robin Gebbers and Viacheslav I. Adamchuk (2010) 'Precision Agriculture and Food Security', *Science of the Total Environment*, 327, Issue. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1183899>.
- Rose, D.C. and Chilvers, J. (2018) 'Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming', *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2(December), pp. 1–7. Available at: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>.
- Shamshiri, R.R. *et al.* (2018) 'Research and development in agricultural robotics : A perspective of digital farming', 11(4), pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181104.4278>.

- Suci Santo (2021) ‘Digitalisasi Pertanian di Indonesia , Strategi Dimasa Pandemi dan New Normal’, (March).
- Sukma, W.L., Puspitasari, M.D. and Prasetyoputra, P. (2025) ‘Internet Use in Agriculture and Farm Earnings: An Analysis of the Indonesia Labor Force Survey’, *Asian Development Review*, 42(1), pp. 233–257. Available at: <https://doi.org/10.1142/S0116110525500027>.
- Sulaiman, A.A. at al (2024) *PENGEMBANGAN PERTANIAN PRESISI SOLUSI DAN JAWABAN PEMBANGUNAN PERTANIAN KE DEPAN*.
- Wardhana, A. and Fauzy, M.Z. (2024) ‘The Impact of Internet Access Contributing to Farmers ’ Welfare in Indonesia : A Case Study Based on National Socio-Economic Survey’, 13(2), pp. 439–454.
- Wolfert, S. *et al.* (2017) ‘Big Data in Smart Farming – A review’, *Agricultural Systems*, 153, pp. 69–80. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>.