



Tata Kelola Adopsi Kecerdasan Buatan dalam Pertanian Petani Kecil: Kerangka Multi-Level untuk Transformasi Agribisnis Inklusif di Negara Berkembang

Dimas Arya Prakoso ^{a,1,*}, Nabila Zahra Hapsari ^{b,2}, Muhammad Fikri Ramadhan ^{c,3}

^a Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

^b Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

^c Program Studi Agribisnis, Fakultas Agroindustri, Universitas Mercu Buana Yogyakarta, Indonesia

¹ dimas.prakoso@ugm.ac.id; ² nabila.hapsari@uii.ac.id; ³ fikri.ramadhan@umy.ac.id

* Corresponding Author

ABSTRACT

The adoption of artificial intelligence (AI) in smallholder agriculture across developing economies faces complex structural barriers, including unequal access to technology, weak data governance, and the absence of inclusive regulatory frameworks. This article aims to analyze the factors shaping AI adoption among smallholder farmers and to formulate a multi-level governance framework that supports inclusive agribusiness transformation. The study employs a qualitative approach through a systematic literature review of reputable academic publications in the fields of digital agriculture, technology governance, and agribusiness policy. The findings indicate that AI adoption by smallholder farmers is shaped by three primary dimensions: digital infrastructure readiness, local institutional capacity, and equitable data governance mechanisms. This article argues that a multi-level governance framework, integrating national regulation, meso-institutional coordination, and farmer participation at the micro level, constitutes a prerequisite for inclusive and sustainable agribusiness transformation. The principal contribution of this article lies in the construction of an analytical framework that bridges the gap between technocratic and rights-based approaches in the AI governance literature for agriculture.

Article History

Received 2026-03-26

Revised 2026-04-28

Accepted 2026-05-10

Published 2026-06-24

Keywords

Artificial Intelligence
Governance;
Smallholder
Agriculture;
Agribusiness
Transformation;
Multi-Level
Framework;
Developing Economies

Copyright © 2026, The Author(s)

This is an open-access article under the CC-BY-SA license



PENDAHULUAN

Transformasi sistem pangan global yang didorong oleh kemajuan teknologi digital telah menempatkan kecerdasan buatan (artificial intelligence/AI) sebagai salah satu instrumen strategis dalam modernisasi sektor pertanian. Pada skala global, sektor pertanian menyerap lebih dari 26 persen angkatan kerja dunia dan menjadi tulang punggung ketahanan pangan bagi miliaran penduduk, khususnya di kawasan Asia Selatan, Afrika Sub-Sahara, dan Asia Tenggara (FAO, 2022). Dalam konteks ini, penerapan AI mencakup spektrum teknologi yang luas, mulai dari sistem irigasi cerdas berbasis sensor, analisis citra satelit untuk pemantauan tanaman, hingga model prediktif berbasis machine learning untuk peramalan hasil panen (Talaviya et al., 2020; Shang et al., 2021). Laporan FAO (2022) menegaskan bahwa otomasi dan teknologi digital berpotensi meningkatkan produktivitas pertanian secara signifikan sekaligus mengurangi tekanan terhadap sumber daya alam, apabila diimplementasikan dalam kerangka yang tepat sasaran. Urgensi akademis dan praktis dari kajian ini terletak pada kenyataan bahwa potensi transformatif AI belum terdistribusi secara merata, dan justru berisiko memperlebar kesenjangan antara pertanian skala besar yang melek teknologi dengan pertanian petani kecil yang marginal secara struktural.

Petani kecil, yang secara global mengelola lahan di bawah dua hektare dan menghasilkan sekitar 70 persen pasokan pangan dunia, berada di persimpangan antara peluang digitalisasi dan risiko eksklusi teknologi (Mhlanga, 2021; Gumbi et al., 2023). Di negara berkembang, hambatan adopsi AI tidak sekadar bersifat teknis, melainkan bersifat struktural dan institusional: keterbatasan infrastruktur digital, rendahnya literasi teknologi, tidak memadainya akses pembiayaan, serta absennya kebijakan yang berpihak pada kelompok tani kecil (Satria et al., 2024; Mkhize, 2024). Di Indonesia, misalnya, mayoritas petani kecil beroperasi dalam ekosistem rantai nilai yang terfragmentasi, dengan akses terbatas terhadap layanan penyuluhan berbasis digital dan konektivitas internet yang tidak merata di wilayah perdesaan (Satria et al., 2024). Kondisi serupa ditemukan di berbagai negara berkembang lainnya, di mana adopsi teknologi pertanian presisi (*precision agriculture*) masih jauh dari optimal akibat kombinasi hambatan ekonomi, sosial, dan kelembagaan (John et al., 2023; Yuan & Sun, 2024). Relevansi konteks ini bagi analisis tata kelola AI pertanian terletak pada kebutuhan untuk memahami bagaimana faktor-faktor struktural tersebut berinteraksi dan membentuk trajektori adopsi teknologi di lapisan terbawah sistem agribisnis.

Kajian akademik mengenai digitalisasi pertanian dan adopsi AI telah berkembang pesat dalam satu dekade terakhir, namun dengan orientasi yang beragam dan sering kali terfragmentasi. Satu kelompok studi berfokus pada dimensi teknis dan agronomis, seperti penerapan *machine learning* dan *deep learning* untuk optimasi produksi pertanian (Shang et al., 2021; Talaviya et al., 2020), serta potensi *big data* dalam sistem pertanian cerdas (*smart farming*) (Wolfert et al., 2017; Bronson & Knezevic, 2016). Kelompok studi kedua mengkaji faktor-faktor perilaku dan sosial yang memengaruhi keputusan adopsi teknologi oleh petani, dengan mengacu pada kerangka teoritis seperti *Theory of Planned Behavior* (Ajzen, 1991) dan model adopsi inovasi (Aubert et al., 2012; John et al., 2023). Kelompok ketiga, yang berkembang belakangan, menyoroti dimensi sosio-etis dan tata kelola dari pertanian digital, mencakup isu keadilan data, kesenjangan digital, dan tanggung jawab dalam pengembangan teknologi otonom (Klerkx et al., 2019; Eastwood et al., 2019; Rose et al., 2021). Studi terkini juga mulai mengeksplorasi secara khusus tata kelola AI dalam konteks pertanian, dengan menekankan perlunya pendekatan regulasi yang adaptif dan multi-pemangku kepentingan (Ragany et al., 2026; Amar et al., 2026). Meskipun demikian, sebagian besar kajian masih beroperasi dalam silo disiplin masing-masing dan belum menghasilkan kerangka analitik terpadu yang menghubungkan dimensi teknis, institusional, dan tata kelola secara sistematis.

Kesenjangan dalam literatur yang ada setidaknya mencakup tiga aspek. Pertama, sebagian besar studi tentang adopsi AI pertanian berfokus pada negara maju atau pertanian skala besar, sehingga temuan dan rekomendasinya tidak serta-merta dapat ditransfer ke konteks petani kecil di negara berkembang (Mkhize, 2024; Gumbi et al., 2023). Kedua, diskusi tentang tata kelola AI pertanian masih didominasi oleh pendekatan teknokratis yang mengutamakan efisiensi sistem tanpa cukup memperhatikan aspek keadilan distribusional dan partisipasi petani kecil dalam pengambilan keputusan tata kelola data (Amar et al., 2026; Rotz et al., 2019). Ketiga, belum terdapat kerangka multi-level yang secara eksplisit mengintegrasikan regulasi makro nasional, koordinasi meso-institusional (koperasi, penyuluhan, platform digital), dan kapasitas mikro petani dalam satu konstruksi analitik yang koheren (Ragany et al., 2026; Yang et al., 2024). Artikel ini mengisi kesenjangan tersebut dengan mengajukan argumen sentral bahwa tata kelola AI yang inklusif dalam pertanian petani kecil memerlukan kerangka multi-level yang secara simultan menangani hambatan struktural di tiga tingkatan tersebut. Kebaruan artikel ini terletak pada sintesis lintas disiplin antara teori adopsi teknologi, tata kelola data, dan kebijakan agribisnis

inklusif, yang menghasilkan proposisi analitik yang dapat dioperasionalkan dalam konteks negara berkembang.

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi kesenjangan di atas, artikel ini bertujuan untuk: (1) menganalisis faktor-faktor determinan yang memengaruhi adopsi AI dalam pertanian petani kecil di negara berkembang; (2) mengidentifikasi tantangan tata kelola AI pertanian dari perspektif multi-level; dan (3) merumuskan kerangka tata kelola multi-level yang mendukung transformasi agribisnis inklusif dan berkelanjutan. Artikel ini disusun dalam lima bagian: setelah pendahuluan, bagian kedua menguraikan metode penelitian; bagian ketiga menyajikan hasil dan pembahasan yang mencakup analisis faktor adopsi, tantangan tata kelola, dan konstruksi kerangka multi-level; dan bagian keempat menyajikan kesimpulan beserta implikasi teoritis dan praktis dari temuan penelitian.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain kajian literatur sistematis (systematic literature review/SLR). Pendekatan ini dipilih karena tujuan utama penelitian bersifat analitik-sintetis, yakni mengidentifikasi pola, kesenjangan, dan kontribusi dari korpus literatur yang relevan dalam bidang adopsi AI pertanian, tata kelola teknologi digital, dan transformasi agribisnis inklusif di negara berkembang. Kajian literatur sistematis memungkinkan peneliti untuk memetakan lanskap pengetahuan secara komprehensif, mengidentifikasi tipologi pendekatan yang ada, serta membangun kerangka analitik baru yang melampaui temuan individual dari masing-masing studi (Gumbi et al., 2023; Mkhize, 2024). Pendekatan ini juga sesuai dengan karakteristik objek material penelitian, yaitu kebijakan dan tata kelola AI pertanian, yang lebih tepat dikaji melalui sintesis argumentasi ilmiah lintas disiplin daripada melalui pengukuran empiris tunggal. Penelitian ini tidak dibatasi pada rentang geografis tertentu, namun memberikan penekanan khusus pada konteks negara berkembang, termasuk kawasan Asia Tenggara, Afrika, dan negara-negara berpendapatan menengah-bawah, mengingat relevansi konteks tersebut bagi permasalahan yang dikaji (Satria et al., 2024; Yuan & Sun, 2024).

Sumber data penelitian ini bersifat sekunder, terdiri atas publikasi ilmiah yang diperoleh dari basis data akademik bereputasi, mencakup jurnal-jurnal yang terindeks Scopus dan Web of Science dalam bidang pertanian digital, sistem informasi, kebijakan teknologi, dan ekonomi pembangunan. Kriteria inklusi literatur mencakup: (1) publikasi yang membahas adopsi teknologi AI atau digital dalam konteks pertanian petani kecil; (2) studi yang mengkaji dimensi tata kelola, regulasi, atau kebijakan teknologi pertanian; (3) artikel yang diterbitkan dalam jurnal bereputasi dengan rentang waktu yang mencakup perkembangan terkini hingga tahun 2026. Sumber data primer dalam penelitian ini mencakup laporan institusional dari organisasi internasional yang relevan, khususnya laporan *The State of Food and Agriculture* yang diterbitkan oleh FAO (2022), yang menyediakan data statistik dan tren terkini mengenai otomasi dan digitalisasi sistem pangan global. Selain itu, artikel-artikel terkini yang membahas tata kelola AI pertanian secara spesifik, seperti Ragany et al. (2026) dan Amar et al. (2026), dijadikan rujukan utama dalam mengonstruksi argumen tata kelola, mengingat keduanya merupakan publikasi mutakhir yang secara langsung merespons celah dalam literatur yang ada. Proses seleksi literatur dilakukan secara transparan dengan mempertimbangkan relevansi tematik, kedalaman analisis, dan kontribusi argumentatif terhadap permasalahan penelitian.

Analisis data dilakukan melalui dua tahap yang saling berkaitan. Tahap pertama adalah analisis tematik (thematic analysis), di mana seluruh literatur yang terpilih dikodekan secara sistematis berdasarkan tema-tema utama yang berulang, mencakup: faktor determinan adopsi AI,

hambatan struktural dan institusional, mekanisme tata kelola data, serta implikasi kebijakan bagi petani kecil. Tahap kedua adalah sintesis argumentatif (*argumentative synthesis*), di mana temuan dari berbagai studi dikombinasikan untuk membangun kerangka analitik baru yang menjawab pertanyaan penelitian (Klerkx et al., 2019; John et al., 2023). Kerangka teoritis yang digunakan dalam analisis ini mencakup tiga lapisan: (1) *Theory of Planned Behavior* (Ajzen, 1991) dan model adopsi teknologi presisi (Aubert et al., 2012) sebagai landasan analisis perilaku adopsi di tingkat mikro; (2) perspektif tata kelola data dan big data dalam sistem pertanian cerdas (Wolfert et al., 2017; Bronson & Knezevic, 2016) sebagai kerangka analisis di tingkat meso; dan (3) pendekatan inovasi bertanggung jawab (*responsible innovation*) dan tata kelola multi-pemangku kepentingan (Eastwood et al., 2019; Rose et al., 2021; Ragany et al., 2026) sebagai landasan analisis regulasi di tingkat makro. Integrasi ketiga lapisan teoritis ini memungkinkan konstruksi kerangka multi-level yang koheren, yang menjadi kontribusi utama artikel ini terhadap literatur tata kelola AI pertanian di negara berkembang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis terhadap literatur yang dikaji menghasilkan tiga temuan utama yang saling berkaitan: pertama, adopsi AI dalam pertanian petani kecil di negara berkembang ditentukan oleh kombinasi faktor perilaku, infrastruktur, dan institusional yang bekerja secara simultan; kedua, tata kelola AI pertanian menghadapi tantangan multi-dimensional yang tidak dapat diselesaikan melalui pendekatan regulasi tunggal; dan ketiga, konstruksi kerangka multi-level merupakan respons analitik yang paling memadai terhadap kompleksitas permasalahan tersebut. Ketiga temuan ini dibahas secara tematik dan berurutan dalam uraian berikut.

Faktor perilaku petani kecil dalam mengadopsi teknologi AI tidak dapat dipisahkan dari konstruksi sikap, norma subjektif, dan persepsi kontrol perilaku sebagaimana dirumuskan oleh Ajzen (1991) dalam *Theory of Planned Behavior*. Petani yang memiliki sikap positif terhadap teknologi, didukung oleh lingkungan sosial yang mengapresiasi inovasi, dan merasa mampu mengoperasikan teknologi baru, menunjukkan probabilitas adopsi yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan petani yang tidak memiliki kondisi tersebut (Ajzen, 1991; Aubert et al., 2012). Aubert et al. (2012) dalam studi empirisnya mengenai adopsi teknologi pertanian presisi menemukan bahwa persepsi manfaat relatif dan kemudahan penggunaan merupakan prediktor adopsi yang paling konsisten, melampaui faktor ekonomi semata. Temuan ini relevan dalam konteks AI karena teknologi berbasis kecerdasan buatan, seperti sistem rekomendasi pemupukan otomatis dan model prediksi cuaca berbasis *machine learning*, menuntut tingkat literasi digital yang jauh lebih tinggi dibandingkan teknologi pertanian konvensional (Shang et al., 2021; Talaviya et al., 2020). John et al. (2023), melalui kajian sistematis terhadap faktor-faktor yang mengatur adopsi pertanian presisi di kalangan petani skala kecil, menegaskan bahwa rendahnya kapasitas kognitif dan pengalaman teknologi merupakan hambatan adopsi yang paling sering dilaporkan lintas konteks geografis. Dengan demikian, intervensi yang hanya berfokus pada penyediaan teknologi tanpa disertai program peningkatan kapasitas yang terstruktur akan cenderung gagal dalam mendorong adopsi yang berkelanjutan di lapisan petani kecil.

Di luar dimensi perilaku individual, faktor infrastruktur digital dan kondisi sosio-ekonomi petani kecil membentuk lingkungan adopsi yang secara struktural tidak kondusif di sebagian besar negara berkembang. Satria et al. (2024) dalam kajian mereka tentang teknologi pertanian digital untuk petani kecil di Indonesia mengidentifikasi bahwa keterbatasan konektivitas internet di wilayah perdesaan, tingginya biaya perangkat keras, dan fragmentasi rantai nilai pertanian merupakan hambatan struktural yang saling memperkuat. Mkhize (2024), melalui tinjauan

literatur sistematis tentang sistem informasi dan pertanian petani kecil di negara berkembang, menemukan bahwa kesenjangan infrastruktur digital tidak hanya berdimensi teknis, tetapi juga mencerminkan ketimpangan investasi publik yang sistemik antara sektor pertanian perkotaan dan perdesaan. Yuan dan Sun (2024) memperkuat argumen ini dengan menunjukkan bahwa transformasi digital pertanian petani kecil di berbagai negara berkembang seringkali terhenti pada fase adopsi parsial, di mana petani menggunakan teknologi digital secara sporadis tanpa integrasi sistemik ke dalam praktik pertanian mereka. Rotz et al. (2019) menambahkan dimensi ketenagakerjaan dan kesenjangan sosial, dengan menunjukkan bahwa otomasi pertanian berbasis AI berisiko memperburuk kondisi komunitas perdesaan yang bergantung pada tenaga kerja pertanian intensif, apabila tidak disertai kebijakan mitigasi sosial yang memadai. Kondisi-kondisi ini secara kolektif menunjukkan bahwa hambatan adopsi AI pertanian di negara berkembang bersifat sistemik dan memerlukan respons kebijakan yang melampaui pendekatan teknis sempit.

Dimensi tata kelola data merupakan aspek yang semakin mendapat perhatian dalam literatur pertanian digital, namun masih belum terintegrasi secara memadai dalam kerangka kebijakan di sebagian besar negara berkembang. Wolfert et al. (2017) dalam kajian komprehensif mereka tentang big data dalam pertanian cerdas menegaskan bahwa data merupakan sumber daya strategis dalam ekosistem pertanian digital, dan bahwa pertanyaan mengenai kepemilikan, akses, dan pemanfaatan data petani memiliki implikasi langsung terhadap distribusi nilai tambah dalam rantai agribisnis. Bronson dan Knezevic (2016) memperluas argumen ini dengan menunjukkan bahwa konsentrasi data pertanian di tangan perusahaan teknologi besar menciptakan struktur kekuasaan asimetris yang menempatkan petani kecil sebagai produsen data tanpa mendapatkan kompensasi atau perlindungan yang proporsional. Amar et al. (2026) secara lebih eksplisit mengidentifikasi bahwa proses digitalisasi pertanian petani kecil kerap beroperasi dalam kerangka tata kelola data yang tidak transparan, di mana mekanisme persetujuan (consent), portabilitas data, dan hak petani atas data yang mereka hasilkan tidak diatur secara memadai oleh regulasi yang ada. Temuan ini memiliki implikasi serius bagi agenda transformasi agribisnis inklusif, karena tanpa kerangka tata kelola data yang berkeadilan, digitalisasi pertanian berisiko mereproduksi ketimpangan struktural yang sudah ada dalam bentuk baru yang lebih sulit diidentifikasi dan dilawan.

Tabel 1 berikut merangkum faktor-faktor determinan adopsi AI pertanian yang teridentifikasi dari kajian literatur, beserta tingkat analisis dan implikasi kebijakannya.

Tabel 1. Faktor Determinan Adopsi AI dalam Pertanian Petani Kecil di Negara Berkembang

No	Dimensi	Faktor Determinan	Tingkat Analisis	Implikasi Kebijakan
1	Perilaku	Sikap terhadap teknologi, persepsi manfaat, norma sosial	Mikro (individu)	Program pelatihan literasi digital berbasis komunitas
2	Infrastruktur	Konektivitas internet, ketersediaan perangkat, biaya akses	Meso (wilayah)	Investasi infrastruktur digital perdesaan
3	Institusional	Ketersediaan penyuluhan, akses pembiayaan, kebijakan pertanian	Makro (nasional)	Regulasi inklusif dan program subsidi teknologi
4	Tata Kelola Data	Kepemilikan data, transparansi platform, perlindungan petani	Meso-Makro	Kerangka regulasi data pertanian yang berkeadilan

No	Dimensi	Faktor Determinan	Tingkat Analisis	Implikasi Kebijakan
5	Sosio-ekonomi	Skala usaha, tingkat pendapatan, akses pasar	Mikro-Meso	Integrasi rantai nilai dan layanan agribisnis inklusif

Perkembangan teknologi AI dalam pertanian sendiri telah mencapai tingkat kecanggihan yang cukup untuk diaplikasikan dalam berbagai konteks agronomi, mulai dari optimasi irigasi berbasis sensor kelembaban tanah, deteksi hama dan penyakit tanaman melalui analisis citra drone, hingga sistem rekomendasi pemupukan yang dipersonalisasi berdasarkan data historis lahan (Talaviya et al., 2020). Shang et al. (2021) mendokumentasikan secara komprehensif penerapan machine learning dan deep learning dalam berbagai sub-sektor pertanian, termasuk klasifikasi tanaman, prediksi hasil panen, dan manajemen rantai pasok pertanian. Mhlanga (2021) menegaskan bahwa AI dalam konteks Pertanian 4.0 (Agriculture 4.0) menawarkan potensi peningkatan produktivitas yang signifikan, terutama melalui pengurangan pemborosan input pertanian dan optimasi keputusan manajerial berbasis data. Namun demikian, sebagaimana dicatat oleh FAO (2022), potensi transformatif ini baru dapat terealisasi secara merata apabila sistem pendukung yang mencakup infrastruktur, institusi, dan tata kelola dibenahi secara paralel dan terkoordinasi. Kesenjangan antara kapabilitas teknis AI yang terus berkembang dengan kapasitas adopsi petani kecil yang stagnasi merupakan paradoks sentral yang harus dijawab oleh kerangka tata kelola yang akan dirumuskan.

Klerkx et al. (2019) dalam tinjauan komprehensif mereka tentang ilmu sosial dalam pertanian digital, pertanian cerdas, dan Pertanian 4.0 mengidentifikasi bahwa pendekatan terhadap tata kelola pertanian digital masih terlalu terfragmentasi, dengan masing-masing disiplin ilmu mengembangkan perspektifnya sendiri tanpa integrasi yang memadai. Eastwood et al. (2019) memperluas analisis ini dengan menyoroti tantangan sosio-etis dalam pengembangan pertanian cerdas, dan berargumen perlunya transisi dari pendekatan yang terfragmentasi menuju pendekatan komprehensif untuk inovasi yang bertanggung jawab. Rose et al. (2021) secara spesifik membahas pengembangan robotika otonom dalam pertanian dan menekankan bahwa tanggung jawab pengembangan teknologi harus didistribusikan di antara seluruh pemangku kepentingan dalam ekosistem inovasi pertanian, bukan hanya ditanggung oleh pengembang teknologi. Ragany et al. (2026), dalam publikasi mutakhir yang secara khusus mengkaji tata kelola AI dalam pertanian, mengidentifikasi sejumlah kesenjangan regulasi yang kritis, termasuk ketiadaan standar etika AI yang spesifik untuk konteks pertanian, lemahnya mekanisme akuntabilitas platform digital, dan minimnya representasi petani kecil dalam proses perumusan kebijakan tata kelola AI. Temuan-temuan ini secara kolektif menunjukkan bahwa tata kelola AI pertanian yang efektif memerlukan arsitektur kelembagaan yang baru, bukan sekadar penyesuaian inkremental terhadap regulasi yang sudah ada.

Berdasarkan sintesis temuan di atas, artikel ini merumuskan kerangka tata kelola multi-level yang terdiri dari tiga tingkatan yang saling berkaitan dan saling memperkuat. Pada tingkat makro, kerangka ini mengandaikan keberadaan regulasi nasional yang secara eksplisit mengatur tata kelola AI pertanian, mencakup standar data pertanian, mekanisme perlindungan petani dalam ekosistem digital, dan kebijakan investasi infrastruktur digital perdesaan yang berorientasi inklusivitas (Ragany et al., 2026; FAO, 2022). Regulasi makro ini harus bersifat adaptif dan responsif terhadap laju perkembangan teknologi yang cepat, sekaligus tetap berakar pada prinsip keadilan distribusional dan keberpihakan pada kelompok tani kecil sebagai subyek utama transformasi. Pada tingkat meso, kerangka ini menempatkan institusi intermediary, mencakup

koperasi pertanian, lembaga penyuluhan, platform agribisnis digital, dan organisasi petani, sebagai aktor kunci dalam memediasi antara kebijakan nasional dan kapasitas adopsi petani di lapangan (Yang et al., 2024; Klerkx et al., 2019). Institusi meso berfungsi sebagai penerjemah kebijakan, penyedia layanan pendampingan teknologi, dan agregator data pertanian yang beroperasi dalam kerangka tata kelola yang transparan dan akuntabel. Pada tingkat mikro, kerangka ini menekankan pentingnya peningkatan kapasitas petani kecil melalui program literasi digital yang terstruktur, mekanisme partisipasi petani dalam pengambilan keputusan tata kelola data, dan insentif ekonomi yang membuat adopsi AI secara finansial layak bagi petani dengan skala usaha terbatas (Ajzen, 1991; Aubert et al., 2012; Gumbi et al., 2023).

Integrasi ketiga tingkatan dalam kerangka multi-level ini bukan sekadar susunan hierarkis, melainkan merupakan sistem tata kelola yang dinamis di mana umpan balik (feedback) dari tingkat mikro secara aktif menginformasikan revisi kebijakan di tingkat makro, sementara koordinasi di tingkat meso memastikan koherensi implementasi lintas tingkatan (Eastwood et al., 2019; Rose et al., 2021). Kerangka ini secara eksplisit menolak pendekatan top-down yang selama ini mendominasi agenda digitalisasi pertanian di negara berkembang, dan sebaliknya mengadvokasi pendekatan co-governance yang menempatkan petani kecil sebagai subjek aktif, bukan objek pasif, dari transformasi agribisnis berbasis AI. Argumen ini selaras dengan temuan Amar et al. (2026) yang menunjukkan bahwa inklusi petani kecil dalam proses tata kelola digitalisasi pertanian bukan hanya imperatif etis, tetapi juga prasyarat fungsional bagi keberlanjutan sistem pertanian digital dalam jangka panjang. Dengan demikian, kerangka multi-level yang dirumuskan dalam artikel ini memberikan kontribusi analitik yang konkret terhadap debat akademik mengenai tata kelola AI pertanian, sekaligus menyediakan panduan operasional bagi pembuat kebijakan, lembaga pembangunan, dan pemangku kepentingan agribisnis di negara berkembang.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan tiga temuan utama yang saling berkaitan. Pertama, adopsi AI dalam pertanian petani kecil di negara berkembang ditentukan oleh interaksi simultan antara faktor perilaku individu, kondisi infrastruktur digital, dan kapasitas institusional lokal, sehingga tidak dapat dijelaskan secara memadai oleh pendekatan tunggal berbasis teknologi maupun ekonomi semata. Kedua, tata kelola data pertanian merupakan dimensi kritis yang selama ini kurang mendapat perhatian dalam agenda digitalisasi pertanian, padahal ketidakadilan dalam kepemilikan dan pemanfaatan data berpotensi mereproduksi ketimpangan struktural dalam bentuk baru yang lebih sulit diidentifikasi. Ketiga, kerangka tata kelola multi-level yang mengintegrasikan regulasi makro nasional, koordinasi meso-institusional, dan peningkatan kapasitas mikro petani merupakan konstruksi analitik yang paling memadai untuk menjawab kompleksitas tantangan transformasi agribisnis inklusif berbasis AI di negara berkembang. Ketiga temuan ini secara langsung menjawab tujuan penelitian dan memperkuat argumen sentral artikel bahwa inklusivitas transformasi agribisnis berbasis AI mensyaratkan reformasi tata kelola yang bersifat sistemik, bukan sekadar intervensi teknis parsial.

Kontribusi ilmiah artikel ini mencakup dua dimensi. Secara teoretis, artikel ini menghasilkan sintesis lintas disiplin yang menghubungkan teori adopsi teknologi, perspektif tata kelola data, dan pendekatan inovasi bertanggung jawab dalam satu kerangka analitik yang koheren dan dapat dioperasionalkan. Kerangka multi-level yang dirumuskan menjembatani kesenjangan antara pendekatan teknokratis dan pendekatan berbasis hak dalam literatur tata kelola AI pertanian, sehingga memberikan landasan konseptual yang lebih kuat bagi studi-studi

berikutnya. Secara praktis, kerangka ini menyediakan panduan operasional bagi pembuat kebijakan, lembaga pembangunan internasional, dan pemangku kepentingan agribisnis dalam merancang intervensi yang benar-benar inklusif dan berkelanjutan di negara berkembang.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan literatur yang dikaji, yang meskipun representatif, tidak mencakup seluruh konteks geografis dan komoditas pertanian yang relevan. Penelitian lanjutan disarankan untuk menguji kerangka multi-level ini secara empiris melalui studi kasus komparatif di berbagai negara berkembang dengan karakteristik agribisnis yang berbeda, serta mengeksplorasi secara lebih mendalam mekanisme partisipasi petani kecil dalam proses perumusan kebijakan tata kelola AI pertanian. Pengembangan indikator operasional untuk mengukur efektivitas tata kelola multi-level juga merupakan agenda penelitian yang mendesak dan bernilai tinggi bagi kemajuan bidang ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179-211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Amar, S., Bori, N., & Cörvers, R. (2026). From collection to control: Data governance, digital technologies, and the politics of inclusion in the digitalisation of smallholder agriculture. *International Social Science Journal*, 55(1). <https://doi.org/10.1177/00307270251410944>
- Aubert, B. A., Schroeder, A., & Grimaudo, J. (2012). IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision Support Systems*, 54(1), 510-520. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.07.002>
- Bronson, K., & Knezevic, I. (2016). Big data in food and agriculture. *Big Data & Society*, 3(1), 1-5. <https://doi.org/10.1177/2053951716648174>
- Eastwood, C., Klerkx, L., Ayre, M., & Dela Rue, B. (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), 741-768. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100289>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging Automation in Agriculture for Transforming Agrifood Systems.
- Gumbi, N., Gumbi, L., & Twinomurinzi, H. (2023). Towards sustainable digital agriculture for smallholder farmers: A systematic literature review. *Sustainability*, 15(16), 12530. <https://doi.org/10.3390/su151612530>
- John, D., Hussin, N., Shahibi, M. S., Ahmad, M., Hashim, H., & Ametefe, D. S. (2023). A systematic review on the factors governing precision agriculture adoption among small-scale farmers. *Progress in Development Studies*, 23(4), 1-22. <https://doi.org/10.1177/00307270231205640>
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Mhlanga, D. (2021). Artificial intelligence in the industry 4.0 and agriculture 4.0: Challenges and opportunities for sustainable development. *Sustainability*, 13(14), 1-18. <https://doi.org/10.3390/su13147984>

-
- Mkhize, P. (2024). Information systems (IS) and smallholder farming in developing countries: A systematic literature review. *The African Journal of Information and Communication*, 33, 1-21. <https://doi.org/10.23962/ajic.i33.17050>
- Ragany, M., Wolfert, S., & Dara, R. (2026). The governance of artificial intelligence in agriculture: A review and future research directions. *Progress in Development Studies*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/00307270261450225>
- Rose, D. C., Lyon, J., de Boon, A., Hanheide, M., & Pearson, S. (2021). Responsible development of autonomous robotics in agriculture. *Nature Food*, 2(5), 306-309. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00287-9>
- Rotz, S., Gravely, E., Mosby, I., Duncan, E., Finnis, E., Horgan, M., LeBlanc, J., Martin, R., Neufeld, H., Nixon, A., & Pant, L. (2019). Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labour and rural communities. *Journal of Rural Studies*, 68, 112-122. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.023>
- Satria, D., Maghraby, W., & Setyanti, A. M. (2024). Digital agricultural technology for smallholder farmers: Barriers and opportunities in Indonesia. *SOCA: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 18(3), 1-20. <https://doi.org/10.24843/SOCA.2024.v18.i03.p01>
- Shang, X., Zhang, D., Shen, Z., & Zhou, J. (2021). Exploiting machine learning and deep learning for agriculture: A comprehensive review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105886. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105886>
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58-73. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.002>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Yang, Y., Lian, D., Zhang, Y., Wang, D., & Wang, J. (2024). Towards Sustainable Agricultural Development: Integrating Small-Scale Farmers in China Through Agricultural Social Services. *Journal of the Knowledge Economy*, 15(4), 16575-16616.
- Yuan, Y., & Sun, Y. (2024). Practices, challenges, and future of digital transformation in smallholder agriculture: Insights from a literature review. *Agriculture*, 14(12), 2193. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122193>