E-ISSN : 3025-1311
https://ejournal.cahayailmubangsa.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 11 No 2 Tahun 2026

ANALISIS ADOPSI TEKNOLOGI DIGITAL: OLEH GAPOKTANI DI LEMBANG AGRI

Fikar Wiguna Nugraha, Akmal Permana Putra, Aqil Muzxhaffar Akmal, Irysad Hafiz
Program Studi Sistem Informasi, Universitas Komputer Indonesia

Email fikarwigunanugraha@gmail.com

ABSTRAK

Transformasi digital di sektor pertanian Indonesia mendorong Gabungan Kelompok Tani (Gapoktani) untuk mengadopsi teknologi Internet of Things (IoT) guna meningkatkan efisiensi produksi hortikultura. Namun, sejauh mana proses adopsi tersebut berjalan sesuai prosedur kelembagaan yang diamanatkan regulasi masih jarang dikaji secara empiris, khususnya pada level operasional harian. Penelitian ini bertujuan menganalisis pola adopsi teknologi digital oleh Gapoktani di Lembang Agri, mengidentifikasi faktor pendorong dan penghambat adopsi, serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan kerangka regulasi kelembagaan petani di Indonesia. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan strategi studi kasus tunggal. Data dikumpulkan melalui wawancara mendalam, observasi terstruktur pada dua greenhouse berkomoditas paprika dan tomat, serta dokumentasi, kemudian dianalisis menggunakan model interaktif Miles, Huberman, dan Saldana yang meliputi reduksi data, penyajian data, penarikan kesimpulan, dan verifikasi melalui triangulasi sumber. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adopsi teknologi digital telah menghasilkan efisiensi nyata pada fase pemantauan dan penyiraman, ditandai dengan terjalinnya kemitraan dengan mitra industri nasional untuk komoditas paprika, namun adopsi ini masih berjalan pada level operasional-individual dan belum terintegrasi ke dalam mekanisme kelembagaan formal Gapoktani sebagaimana diamanatkan Peraturan Menteri Pertanian Nomor 67/Permentan/SM.050/12/2016. Hambatan utama yang teridentifikasi bersifat infrastruktural, terutama keterbatasan kapasitas daya listrik, bukan resistensi sosial-organisasional. Penelitian ini berkontribusi pada pemahaman kesenjangan antara regulasi kelembagaan petani dan praktik adopsi teknologi digital di lapangan, serta merekomendasikan penguatan mekanisme kelembagaan sebagai prasyarat keberlanjutan adopsi teknologi.

Kata kunci: adopsi teknologi; Internet of Things; Gapoktani; smart farming; pertanian digital

Article History
Received: Juli 2026
Reviewed:Juli 2026
Published: Juli 2026

Plagiarism Checker
No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Konteks

Sektor pertanian Indonesia tengah memasuki babak baru yang ditandai oleh gelombang transformasi digital yang mengubah cara produksi, pengelolaan lahan, hingga distribusi hasil panen. Di kawasan Lembang, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, kawasan yang selama ini dikenal sebagai sentra hortikultura unggulan nasional, transformasi ini semakin terasa nyata. Berbagai teknologi digital berbasis Internet of Things (IoT) mulai merambah ke tangan petani dan kelompok tani di wilayah ini, mencakup sistem irigasi otomatis, sensor lingkungan, dan platform pemantauan jarak jauh berbasis smartphone (Thilakarathne et al., 2025).

Gabungan Kelompok Tani (Gapoktani) merupakan unit kelembagaan yang menjadi jembatan antara petani individu dengan kebijakan, teknologi, dan pasar yang lebih luas. Posisi

Gapoktani diatur secara formal melalui Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 67/Permentan/SM.050/12/2016 tentang Pembinaan Kelembagaan Petani, yang menetapkan ciri Gapoktan yang kuat dan mandiri, di antaranya adanya pertemuan atau rapat anggota secara berkala serta penyusunan rencana kerja bersama. Regulasi tersebut disusun sebelum era smart farming berkembang masif di Indonesia, sehingga belum secara eksplisit mengatur mekanisme pengelolaan teknologi digital di tingkat kelembagaan petani.

Studi terdahulu menunjukkan bahwa implementasi teknologi digital di sektor pertanian Indonesia menghadapi dua sisi sekaligus: peluang besar peningkatan produktivitas dan tantangan struktural dalam tata kelola serta kapasitas kelembagaan (Azis & Suryana, 2023). Setyawan et al. (2024) dalam tinjauan sistematis terhadap artikel terakreditasi menemukan bahwa tren penelitian smart farming berbasis IoT terus meningkat di Indonesia, namun sebagian besar kajian bersifat teknis-laboratoris dan belum menyentuh dimensi kelembagaan penggunanya secara mendalam.

1.2 Kesenjangan Penelitian (Research Gap)

Literatur mengenai adopsi teknologi pertanian umumnya berfokus pada dua kutub yang terpisah. Di satu sisi, kajian teknis mendokumentasikan performa perangkat IoT dan dampaknya terhadap efisiensi sumber daya (Dong et al., 2024; Méndez-Guzmán et al., 2022). Di sisi lain, kajian sosial mengulas literasi digital dan hambatan adopsi secara umum di kalangan petani (Aranguri et al., 2025). Pertautan antara keduanya—yaitu sejauh mana implementasi teknis suatu sistem IoT berjalan selaras dengan prosedur dan mekanisme kelembagaan formal organisasi petani yang menaunginya—masih jarang dikaji.

Dissanayake et al. (2022) dalam tinjauan komprehensif terhadap teori adopsi teknologi pertanian mengidentifikasi bahwa dimensi facilitating conditions, yaitu sejauh mana infrastruktur organisasi dan teknis tersedia untuk mendukung penggunaan sistem, merupakan salah satu prediktor penting keberlanjutan adopsi, namun jarang diukur secara kualitatif-kontekstual pada level studi kasus tunggal. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan menempatkan Lembang Agri, entitas agrobisnis yang bernaung di bawah Gapoktani setempat, sebagai kasus untuk mengkaji kesenjangan antara prosedur normatif kelembagaan dan praktik adopsi teknologi yang senyatanya berjalan di lapangan.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan kesenjangan penelitian di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Teknologi digital apa saja yang digunakan oleh Gapoktani di Lembang Agri dalam operasional pertanian sehari-hari?
2. Sejauh mana teknologi digital tersebut diadopsi sesuai dengan prosedur, baik prosedur teknis operasional sistem maupun prosedur kelembagaan formal Gapoktani?
3. Apa faktor pendorong dan penghambat yang memengaruhi proses adopsi teknologi digital tersebut?
4. Bagaimana dampak adopsi teknologi digital terhadap efisiensi operasional dan produktivitas yang dirasakan oleh pengelola?

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mendeskripsikan komponen teknologi digital yang diimplementasikan di Lembang Agri; (2) menganalisis tingkat kesesuaian adopsi teknologi dengan prosedur teknis dan kelembagaan yang berlaku; (3) mengidentifikasi faktor pendorong dan penghambat adopsi; dan (4) mengevaluasi dampak adopsi terhadap efisiensi operasional serta produktivitas dari perspektif pengelola lapangan.

1.5 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini memberikan tiga kontribusi utama. Pertama, secara teoretis, penelitian ini memperkaya pemahaman tentang facilitating conditions dalam kerangka UTAUT (Venkatesh et al., 2003) melalui data empiris pada konteks kelembagaan petani Indonesia yang belum banyak dikaji. Kedua, secara metodologis, penelitian ini mendemonstrasikan penggunaan analisis kesenjangan (gap analysis) antara regulasi kelembagaan formal dan praktik operasional sebagai pendekatan analitis dalam studi adopsi teknologi. Ketiga, secara praktis, temuan penelitian dapat menjadi masukan bagi pengurus Gapoktani dan pembuat kebijakan dalam merancang mekanisme integrasi teknologi digital yang lebih terlembagakan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Technology Acceptance Model (TAM)

Technology Acceptance Model (TAM) yang dikembangkan oleh Davis (1989) menjelaskan bahwa penerimaan pengguna terhadap suatu teknologi ditentukan oleh dua konstruk utama, yaitu perceived usefulness (persepsi kebermanfaatan) dan perceived ease of use (persepsi kemudahan penggunaan). Kedua konstruk ini secara empiris terbukti berkorelasi signifikan dengan perilaku penggunaan aktual suatu sistem. Dalam konteks pertanian, TAM banyak digunakan untuk menjelaskan mengapa petani memilih atau menolak suatu teknologi berdasarkan sejauh mana teknologi tersebut dipersepsikan bermanfaat dan mudah digunakan dalam praktik kerja sehari-hari.

2.2 Diffusion of Innovation (DOI)

Rogers (2003) melalui teori Diffusion of Innovation (DOI) menjelaskan proses adopsi inovasi melalui lima tahap berurutan: pengetahuan (knowledge), persuasi (persuasion), keputusan (decision), implementasi (implementation), dan konfirmasi (confirmation). Rogers turut mengelompokkan adopter ke dalam lima kategori berdasarkan kecepatan responsnya terhadap inovasi: innovators, early adopters, early majority, late majority, dan laggards. Kerangka ini relevan untuk memahami posisi Lembang Agri dalam kurva adopsi teknologi smart farming di kawasan Lembang, mengingat sistem yang diteliti baru berjalan singkat dan dapat dikategorikan berada pada tahap implementasi awal.

2.3 Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)

Venkatesh et al. (2003) mengembangkan UTAUT dengan mengintegrasikan delapan model penerimaan teknologi terdahulu, menghasilkan empat konstruk utama: performance expectancy, effort expectancy, social influence, dan facilitating conditions. Konstruk terakhir, facilitating conditions, didefinisikan sebagai sejauh mana individu meyakini bahwa infrastruktur organisasi dan teknis tersedia untuk mendukung penggunaan sistem. Konstruk ini menjadi kerangka analitis utama dalam penelitian ini karena secara langsung relevan dengan pertanyaan penelitian mengenai kesesuaian adopsi teknologi dengan prosedur kelembagaan Gapoktani.

2.4 Adopsi Teknologi dalam Sektor Pertanian

Dissanayake et al. (2022) dalam tinjauan literatur selama lebih dari lima dekade mengidentifikasi bahwa adopsi teknologi pertanian dipengaruhi oleh kombinasi faktor individu, sosial, ekonomi, dan infrastruktural yang saling berkelindan. Studi tersebut menegaskan bahwa model tunggal seperti TAM atau DOI seringkali tidak cukup untuk menjelaskan kompleksitas adopsi pada konteks pertanian, sehingga pendekatan multi-teori atau kajian kualitatif kontekstual menjadi relevan untuk digunakan.

Pada konteks Indonesia, Azis dan Suryana (2023) menemukan bahwa kebijakan digitalisasi pertanian dihadapkan pada tantangan struktural berupa keterbatasan literasi digital, minimnya infrastruktur pendukung, dan lemahnya koordinasi antarlembaga. Sejalan

dengan itu, kajian sistematis oleh Aranguri et al. (2025) mengenai literasi digital dan adopsi teknologi pertanian menegaskan bahwa faktor sosial-institusional, bukan semata faktor teknis perangkat, menjadi determinan utama keberlanjutan adopsi teknologi di kalangan petani skala kecil.

2.5 Implementasi Teknologi IoT pada Sistem Greenhouse

Penerapan IoT pada sistem greenhouse dan hidroponik merupakan salah satu bentuk implementasi paling matang dalam pertanian presisi. Ruslianto et al. (2022) mengembangkan sistem pemantauan berbasis IoT untuk greenhouse tanaman anggur menggunakan sensor pH air, kelembaban tanah, suhu, dan kelembaban udara yang datanya dapat diakses melalui platform berbasis website. Ristian et al. (2022) melengkapi temuan tersebut dengan sistem smart greenhouse yang menggunakan operator logika untuk mengendalikan perangkat output secara otomatis berdasarkan data sensor, sehingga mengurangi kebutuhan intervensi manual secara signifikan.

Pada konteks yang lebih dekat secara geografis, Herdiana et al. (2023) mengimplementasikan sistem pengairan otomatis berbasis IoT pada tanaman hidroponik di Wangunsari Farm, Lembang, yang berlokasi berdekatan dengan objek penelitian ini. Studi tersebut menyoroti pentingnya pendampingan dan pelatihan berkelanjutan dalam memastikan keberhasilan adopsi teknologi oleh pelaku pertanian lokal, sebuah temuan yang relevan dengan dimensi facilitating conditions dalam UTAUT.

Dari perspektif internasional, Dong et al. (2024) membuktikan bahwa sistem irigasi presisi berbasis IoT mampu mengintegrasikan sensor kelembaban tanah nirkabel, komputasi awan, dan kecerdasan buatan untuk mengotomatisasi distribusi air berdasarkan kondisi lingkungan secara real-time. Méndez-Guzmán et al. (2022) turut mendemonstrasikan efektivitas sistem monitoring IoT pada greenhouse aeroponik, menunjukkan konsistensi temuan lintas konteks geografis mengenai manfaat teknis IoT dalam pertanian presisi. Thilakarathne et al. (2023, 2025) menegaskan bahwa smart agriculture berbasis IoT, komputasi awan, dan kecerdasan buatan menghasilkan efisiensi lebih tinggi dengan meminimalkan pemborosan sumber daya, sekaligus memungkinkan pengambilan keputusan berbasis data secara real-time.

2.6 Kelembagaan Gapoktani dalam Kerangka Regulasi Indonesia

Peraturan Menteri Pertanian Nomor 67/Permentan/SM.050/12/2016 tentang Pembinaan Kelembagaan Petani menjadi kerangka hukum utama yang mengatur tata kelola Gapoktani di Indonesia. Regulasi ini menetapkan indikator kelembagaan yang kuat, meliputi keberadaan pertemuan/rapat anggota secara berkala, penyusunan rencana kerja bersama, serta pembinaan berjenjang dari pemerintah daerah. Meskipun demikian, regulasi ini tidak memuat ketentuan spesifik mengenai pengelolaan teknologi digital, sehingga terdapat celah regulasi (regulatory gap) antara perkembangan teknologi pertanian mutakhir dan kerangka kelembagaan yang mengaturnya. Nurdayati et al. (2024) turut menyoroti perlunya model pendampingan generasi milenial di sektor pertanian untuk menghadapi era pertanian cerdas digital, yang mengindikasikan bahwa kesenjangan antara kelembagaan tradisional dan tuntutan digitalisasi merupakan isu yang mulai mendapat perhatian akademik di Indonesia.

2.7 Perbandingan Antar Teori Adopsi Teknologi

Ketiga kerangka teori yang diuraikan sebelumnya (TAM, DOI, dan UTAUT) memiliki fokus dan unit analisis yang berbeda, sehingga pemilihannya perlu disesuaikan dengan tujuan penelitian. TAM lebih menekankan persepsi individu terhadap suatu teknologi tunggal, DOI berfokus pada proses temporal penyebaran inovasi dalam suatu sistem sosial, sedangkan UTAUT menawarkan pandangan paling komprehensif dengan memasukkan dimensi organisasional

melalui konstruk facilitating conditions. Tabel 1 merangkum perbandingan ketiga kerangka tersebut serta relevansinya terhadap penelitian ini.

Teori	Fokus Utama	Unit Analisis	Relevansi dengan Penelitian
TAM (Davis, 1989)	Persepsi kebermanfaatan dan kemudahan penggunaan	Individu pengguna	Menjelaskan penerimaan operator terhadap antarmuka aplikasi Blynk
DOI (Rogers, 2003)	Proses temporal penyebaran inovasi dalam sistem sosial	Sistem sosial/komunitas	Memposisikan Lembang Agri pada tahap implementasi dini kurva adopsi
UTAUT (Venkatesh et al., 2003)	Performance expectancy, effort expectancy, social influence, facilitating conditions	Individu dalam konteks organisasi	Menjembatani analisis teknis dan kelembagaan melalui facilitating conditions

Tabel 2. 1 Perbandingan kerangka teori adopsi teknologi dan relevansinya dengan penelitian

Berdasarkan perbandingan tersebut, penelitian ini memilih UTAUT sebagai kerangka analitis utama karena cakupan konstruk facilitating conditions memungkinkan analisis yang menjembatani dimensi teknis dan dimensi kelembagaan sekaligus, sesuatu yang tidak tersedia secara eksplisit pada TAM maupun DOI. Meskipun demikian, elemen dari ketiga teori tetap digunakan secara komplementer: TAM untuk memahami penerimaan individual terhadap antarmuka teknis, dan DOI untuk memahami posisi temporal Lembang Agri dalam proses adopsi yang lebih luas.

2.8 Kerangka Konseptual Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas, penelitian ini menyusun kerangka konseptual yang mengintegrasikan tiga elemen analitis. Pertama, dimensi teknis-operasional, yang mengacu pada implementasi IoT sebagaimana dikaji dalam literatur precision agriculture (Ruslianto et al., 2022; Dong et al., 2024). Kedua, dimensi facilitating conditions dari UTAUT (Venkatesh et al., 2003), yang menjadi jembatan analitis antara aspek teknis dan aspek kelembagaan. Ketiga, dimensi kelembagaan normatif yang bersumber dari Permentan 67/2016 sebagai tolok ukur bagaimana seharusnya Gapoktani mengelola sumber daya, termasuk teknologi, secara kolektif. Ketiga dimensi ini digunakan sebagai lensa analitis dalam menginterpretasikan data lapangan pada bagian hasil dan pembahasan, dengan alur logis: temuan teknis dianalisis terlebih dahulu, kemudian dikontraskan dengan prosedur normatif kelembagaan, dan diakhiri dengan interpretasi melalui lensa facilitating conditions untuk menjelaskan kesenjangan yang ditemukan.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan strategi studi kasus tunggal (single case study) mengacu pada Yin (2018). Pendekatan ini dipilih karena penelitian bertujuan memperoleh pemahaman mendalam mengenai fenomena adopsi teknologi digital oleh Gapoktani dalam konteks yang spesifik dan kaya nuansa, bukan untuk menghasilkan generalisasi statistik. Studi kasus memungkinkan peneliti mengeksplorasi kompleksitas sosio-organisasional yang melingkupi proses adopsi secara holistik, termasuk interaksi antara faktor teknis, ekonomi, dan kelembagaan.

3.2 Objek dan Lokasi Penelitian

Objek penelitian adalah Lembang Agri, entitas agrobisnis hortikultura yang bernaung di bawah Gapoktani di kawasan Lembang, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. Penelitian difokuskan pada dua unit greenhouse yang dikelola oleh dua orang berbeda: greenhouse pertama dengan komoditas paprika, dan greenhouse kedua dengan komoditas tomat. Kedua greenhouse menggunakan konfigurasi sistem teknologi digital yang identik, sehingga memungkinkan perbandingan implementasi lintas komoditas dalam satu kerangka kelembagaan yang sama.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui tiga teknik yang saling melengkapi dalam tiga kali kunjungan lapangan selama bulan Mei 2026:

5. Observasi lapangan awal, yang berfokus pada pengenalan medan, pemetaan infrastruktur teknologi digital yang terpasang, dan identifikasi jenis perangkat serta konfigurasi sistem yang digunakan.
6. Wawancara mendalam semi-terstruktur, yang dilaksanakan kepada operator/teknisi sistem untuk menggali pengalaman, persepsi, dan detail teknis operasional teknologi digital.
7. Observasi terstruktur lanjutan, yang mencakup pengamatan langsung terhadap dua unit greenhouse berbeda komoditas, konfirmasi konsistensi implementasi sistem, serta pencatatan temuan tambahan seperti keberadaan kemitraan dengan mitra industri.

Dokumentasi visual berupa foto perangkat teknologi turut dikumpulkan sebagai data pendukung untuk keperluan triangulasi.

3.4 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian meliputi: (1) lembar observasi terstruktur yang disusun berdasarkan kerangka konseptual tiga dimensi (teknis-operasional, facilitating conditions, dan kelembagaan normatif); (2) panduan wawancara semi-terstruktur yang memuat pertanyaan mengenai konfigurasi teknis sistem, tantangan operasional, dan dampak yang dirasakan; serta (3) kamera digital untuk dokumentasi visual infrastruktur teknologi di lapangan.

3.5 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan model interaktif Miles, Huberman, dan Saldana (2014), yang terdiri atas empat komponen yang saling berkaitan secara siklikal, bukan linear: (1) reduksi data, yaitu proses seleksi dan penyederhanaan data mentah hasil wawancara dan observasi menjadi unit-unit bermakna melalui proses pengodean terbuka (open coding); (2) penyajian data, yaitu penyusunan kode-kode tersebut ke dalam tema melalui pengodean aksial

(axial coding), disertai penyajian dalam bentuk narasi deskriptif dan matriks perbandingan antar sumber data; (3) penarikan kesimpulan, yaitu identifikasi pola berulang dan hubungan bermakna antar tema untuk menghasilkan interpretasi; dan (4) verifikasi, yaitu pengujian kesimpulan melalui triangulasi sumber data secara berkelanjutan. Proses reduksi, penyajian, dan penarikan kesimpulan bersifat iteratif dan dapat kembali ke tahap sebelumnya (looping) hingga tercapai kejenuhan data (data saturation), yaitu kondisi ketika putaran analisis tambahan tidak lagi menghasilkan kode atau tema baru yang bermakna.

3.6 Validitas dan Reliabilitas Data

Keabsahan data dalam penelitian ini dijamin melalui dua mekanisme utama. Pertama, triangulasi sumber, yaitu membandingkan temuan dari tiga sumber data berbeda (wawancara, observasi, dan dokumentasi) untuk menguji konsistensi dan validitas temuan. Kedua, penggunaan dokumen regulasi formal (Permentan 67/2016) sebagai pembanding eksternal (data sekunder) terhadap data primer lapangan, sehingga memungkinkan analisis kesenjangan (gap analysis) antara kondisi normatif dan kondisi aktual. Member checking kepada informan kunci direkomendasikan sebagai langkah lanjutan untuk memperkuat keabsahan interpretasi peneliti.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Objek Penelitian

Lembang Agri mengoperasikan dua unit greenhouse yang menjadi objek penelitian, masing-masing dikelola oleh operator berbeda: greenhouse pertama membudidayakan paprika, sedangkan greenhouse kedua membudidayakan tomat. Kedua unit menggunakan konfigurasi sistem teknologi digital yang identik, mengindikasikan adanya standarisasi teknologi pada level operasional Lembang Agri. Sistem digital yang diamati merupakan rakitan lokal yang mengacu pada sistem komersial "Taji Rodi" sebagai referensi desain, dan pada saat penelitian dilakukan, sistem baru beroperasi selama satu hingga dua bulan, sementara metode budi daya manual konvensional telah digunakan selama enam tahun sebelumnya.

4.2 Temuan Utama

Proses reduksi dan penyajian data menghasilkan lima kelompok temuan utama yang saling berkaitan, mencakup dimensi teknis, dampak operasional, hambatan, ekonomi, hingga konteks adopsi secara keseluruhan. Kelima temuan ini diuraikan secara berurutan pada subbagian berikut, dilengkapi kutipan langsung dari data wawancara untuk memperkuat basis empiris interpretasi.

4.2.1 Komponen Sistem Teknologi Digital

Hasil observasi dan wawancara mengidentifikasi sembilan komponen teknologi digital yang beroperasi secara terintegrasi di kedua greenhouse: sistem irigasi otomatis berbasis jadwal, sistem pengabutan (misting), kipas exhaust otomatis, sensor suhu ruangan, sensor kelembaban media tanam, sensor konsentrasi nutrisi, sistem otomatisasi pencampuran dan pemberian nutrisi, platform pemantauan jarak jauh berbasis aplikasi Blynk yang dapat diakses melalui smartphone maupun web, serta kamera CCTV untuk pemantauan keamanan. Salah satu informan menjelaskan konfigurasi teknis sistem sebagai berikut:

"Jadi masukin ke airnya aja langsung... nggak masukin ke penampung juga udah otomatis. Kalau yang manual kan kita nyampur, kita aduk. Dan itu dia nyampur, ngaduk sendiri."

Kutipan tersebut menggambarkan tingkat otomatisasi yang cukup tinggi pada aspek pemberian nutrisi, yang menggantikan proses pencampuran manual yang sebelumnya dilakukan operator. Meskipun demikian, ditemukan bahwa sistem cooling belum sepenuhnya terpasang pada saat observasi, dan irigasi masih beroperasi berbasis jadwal waktu tetap (pukul 07.00

hingga 15.00, interval dua jam) alih-alih berbasis pembacaan sensor secara responsif, sebagaimana dijelaskan informan:

"Itu kan berdasarkan waktu. Kalau berdasarkan sensor tidak akan sesuai seperti itu... misalkan suhu tanahnya sudah kering, dia akan nyeram sendiri."

Temuan ini menunjukkan bahwa implementasi teknologi masih berada pada tahap transisi menuju otomatisasi penuh berbasis sensor, konsisten dengan tahap implementation dalam model Diffusion of Innovation (Rogers, 2003) yang ditandai oleh penyesuaian dan penyempurnaan berkelanjutan setelah adopsi awal.

4.2.2 Dampak Positif terhadap Efisiensi Operasional

Adopsi teknologi digital menghasilkan dampak positif yang teridentifikasi pada empat aspek. Pertama, frekuensi penyiraman meningkat dari satu hingga dua kali per hari pada sistem manual menjadi lima kali per hari pada sistem otomatis. Kedua, potensi peningkatan produktivitas yang signifikan, dengan rujukan pada sistem serupa (Taji Rodi) yang mampu menghasilkan lima kilogram per pohon dibandingkan dua kilogram per pohon pada sistem manual, sebagaimana dinyatakan informan:

"Kalau yang manual, kemarin yang kalau mainnya udah 2 kilohan... kalau yang sudah sistem otomatis... itu sudah nyampe ke 5 kiloh berpohonnya."

Ketiga, efisiensi tenaga kerja pada fase pemantauan dan penyiraman, di mana satu operator kini mampu menangani pekerjaan yang sebelumnya membutuhkan lebih banyak tenaga. Keempat, kemampuan pemantauan jarak jauh melalui aplikasi smartphone yang memungkinkan pengawasan tanpa kehadiran fisik terus-menerus di lokasi.

Temuan yang secara khusus memperkuat validitas dampak positif ini adalah hasil observasi lapangan yang mengonfirmasi adanya kemitraan formal antara Lembang Agri dengan Pizza Hut khusus untuk produk paprika dari salah satu greenhouse yang diteliti. Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa kualitas hasil produksi telah memenuhi standar mitra industri makanan dan minuman berskala nasional, sebuah indikator objektif yang lebih kuat dibandingkan klaim subjektif informan mengenai peningkatan produktivitas semata.

4.2.3 Hambatan Teknis dan Keterbatasan Infrastruktur

Lima hambatan teknis teridentifikasi dari data lapangan. Hambatan paling signifikan adalah keterbatasan kapasitas daya listrik sebesar 2.900 watt yang tidak mencukupi untuk mengoperasikan seluruh komponen sistem secara bersamaan, sebagaimana dijelaskan informan:

"Listriknya belum kuat. Jadi agak di panasih. Karena kan kalau barengan nyalah semua sama penyeraman, listriknya nggak kuat."

Keterbatasan ini memaksa penyesuaian ambang aktivasi kipas exhaust pada suhu 35°C, meskipun kondisi ideal seharusnya berada di bawah 30°C. Hambatan kedua adalah ketiadaan sistem notifikasi error otomatis ke smartphone, yang berbeda dengan sistem referensi (Taji Rodi) yang telah memiliki fitur tersebut. Hambatan ketiga adalah ketergantungan penuh pada pasokan listrik tanpa sistem cadangan daya, sehingga seluruh sistem berhenti beroperasi total apabila terjadi pemadaman listrik. Hambatan keempat adalah instalasi sistem yang masih berjalan bertahap, ditandai dengan komponen cooling yang belum terpasang sepenuhnya. Hambatan kelima adalah aspek keamanan fisik lahan yang masih sepenuhnya bergantung pada CCTV dan penjagaan manusia, belum terintegrasi dengan sistem keamanan digital yang lebih canggih.

4.2.4 Pertimbangan Ekonomi Adopsi

Analisis ekonomi menunjukkan bahwa investasi sistem digital terintegrasi mencapai sekitar seratus juta rupiah untuk luas lahan lima ratus meter persegi dengan estimasi umur pakai lima tahun, setara dua puluh juta rupiah per tahun. Sebagai perbandingan, sistem manual dengan polybag memerlukan biaya penggantian sekitar lima belas juta rupiah per tahun, sehingga dalam periode lima tahun totalnya mencapai tujuh puluh lima juta rupiah, angka yang tidak jauh berbeda dari investasi sistem digital. Keunggulan ekonomis sistem digital menjadi lebih nyata ketika memperhitungkan penghematan biaya tenaga kerja, mengingat biaya tenaga kerja manual sebesar sembilan puluh lima ribu rupiah per orang per hari sebelumnya hampir setara dengan total biaya produksi, sebagaimana dijelaskan informan:

"Kalau secara investasi memang lebih mahal. Tapi di sisi produksi ini juga lebih banyak."

4.2.5 Konteks dan Tahap Adopsi

Konteks adopsi ditandai oleh tiga karakteristik. Pertama, adopsi masih berada pada tahap sangat dini, dengan sistem otomatis baru beroperasi selama satu hingga dua bulan dibandingkan metode manual yang telah berjalan enam tahun. Kedua, kapasitas sumber daya manusia yang menguasai sistem sangat terbatas, hanya satu operator yang menguasai penuh sistem dengan bantuan tidak rutin dari satu orang tambahan. Ketiga, pada fase panen, kebutuhan tenaga kerja tambahan dari luar tetap diperlukan meskipun teknologi digital telah mengotomatisasi fase pemantauan dan penyiraman, sebagaimana teridentifikasi dari observasi lapangan pada kedua greenhouse.

4.3 Analisis Kesenjangan Prosedur: Normatif versus Operasional

Untuk menjawab rumusan masalah mengenai kesesuaian adopsi dengan prosedur, penelitian ini membandingkan temuan lapangan dengan ketentuan Permentan 67/2016 sebagai tolok ukur normatif. Tabel 2 menyajikan hasil perbandingan tersebut.

Aspek	Prosedur Normatif (Permentan 67/2016)	Prosedur Operasional (Temuan Lapangan)	Status Kesenjangan
Pengambilan keputusan	Melalui rapat/pertemuan anggota secara berkala	Tidak terkonfirmasi; teridentifikasi kecenderungan keputusan individual operator	Belum terverifikasi
Perencanaan kerja	Disusun bersama dalam rencana kerja Gapoktan	Tidak teridentifikasi dalam data lapangan	Belum terverifikasi
Jadwal operasional harian	Tidak diatur; di luar cakupan regulasi kelembagaan	Jadwal jelas dan terjadwal: 07.00–15.00, interval 2 jam	Ada, terverifikasi
Ambang batas teknis sistem	Tidak diatur	Terkonfigurasi jelas: suhu maksimal 35°C	Ada, terverifikasi
Penanganan gangguan teknis	Tidak diatur	Belum ada SOP; notifikasi error belum tersedia	Tidak ada di keduanya

Aspek	Prosedur Normatif (Permentan 67/2016)	Prosedur Operasional (Temuan Lapangan)	Status Kesenjangan
Transfer pengetahuan ke anggota	Diarahkan melalui pembinaan dan pelatihan kelompoktani	Hanya satu orang menguasai penuh sistem	Kesenjangan besar

Tabel 4. 1 Analisis kesenjangan antara prosedur normatif kelembagaan dan prosedur operasional aktual

Pola yang muncul dari Tabel 1 menunjukkan asimetri yang jelas: aspek yang berkaitan dengan mekanisme kelembagaan formal (pengambilan keputusan, perencanaan kerja, transfer pengetahuan) sebagian besar tidak terverifikasi dalam data lapangan, sementara aspek teknis-operasional (jadwal, ambang batas sensor) terkonfirmasi dengan baik. Temuan ini mengarah pada interpretasi bahwa adopsi teknologi digital di Lembang Agri berjalan pada level operasional-individual dan belum terintegrasi ke dalam mekanisme kelembagaan formal Gapoktani sebagaimana diamanatkan regulasi. Interpretasi ini konsisten dengan konstruk facilitating conditions dalam UTAUT (Venkatesh et al., 2003): dukungan infrastruktur teknis tersedia dan berfungsi, namun dukungan infrastruktur organisasi-kelembagaan belum sepenuhnya terbentuk.

Penting untuk dicatat bahwa kesenjangan pada baris "belum terverifikasi" bukan merupakan bukti definitif ketiadaan mekanisme kelembagaan, melainkan mencerminkan keterbatasan cakupan pertanyaan pada wawancara awal penelitian ini. Interpretasi yang lebih tepat adalah bahwa topik kelembagaan formal belum tergali secara memadai dan memerlukan konfirmasi lebih lanjut melalui wawancara terstruktur dengan pengurus Gapoktani pada penelitian lanjutan.

4.4 Diskusi dengan Literatur

Temuan mengenai tingginya keberhasilan implementasi teknis namun lemahnya integrasi kelembagaan sejalan dengan temuan Azis dan Suryana (2023) yang mengidentifikasi lemahnya koordinasi antarlembaga sebagai salah satu tantangan struktural utama digitalisasi pertanian di Indonesia. Temuan ini juga memperkuat argumen Dissanayake et al. (2022) bahwa model adopsi teknologi tunggal tidak cukup menjelaskan kompleksitas adopsi pada konteks pertanian, karena keberhasilan teknis (yang dapat dijelaskan TAM melalui perceived usefulness yang tinggi) ternyata tidak berbanding lurus dengan keberhasilan integrasi kelembagaan (yang memerlukan kerangka facilitating conditions dari UTAUT).

Perbandingan dengan Herdiana et al. (2023) yang mengkaji lokasi berdekatan di Wangunsari Farm, Lembang, menunjukkan konsistensi pola: keduanya menyoroti pentingnya pendampingan dan transfer pengetahuan sebagai elemen krusial yang sering terlewat dalam implementasi teknologi pertanian presisi. Namun, penelitian ini memperluas temuan tersebut dengan mengidentifikasi bahwa kesenjangan transfer pengetahuan tidak hanya terjadi pada level individu-ke-individu, tetapi juga pada level individu-ke-kelembagaan, sebuah dimensi yang belum banyak dieksplorasi dalam literatur smart farming Indonesia sebelumnya.

Temuan mengenai kemitraan dengan Pizza Hut memberikan kontribusi empiris baru terhadap literatur, karena sebagian besar studi terdahulu (Dirayati et al., 2025; Setyawan et al., 2024) mengukur keberhasilan adopsi IoT pertanian semata dari indikator teknis-kuantitatif (volume produksi, efisiensi air), sementara penelitian ini menunjukkan bahwa indikator kualitatif berupa penerimaan pasar oleh mitra industri berskala nasional dapat menjadi bukti validasi kualitas produksi yang lebih meyakinkan, sekaligus menunjukkan bahwa manfaat adopsi teknologi tidak selalu linear dengan tingkat kematangan kelembagaan yang menaunginya.

Sejalan dengan Rogers (2003), posisi Lembang Agri pada kurva difusi inovasi dapat dikategorikan sebagai early adopter mengingat usia implementasi yang masih sangat dini (satu hingga dua bulan) namun telah menunjukkan hasil yang menjanjikan. Tahap implementation dalam proses lima tahap DOI ditandai oleh penyesuaian berkelanjutan, sebagaimana tercermin dari sistem yang masih beralih dari basis waktu menuju basis sensor, serta instalasi komponen cooling yang belum lengkap.

4.5 Implikasi Teoretis dan Praktis

Secara teoretis, penelitian ini menunjukkan bahwa konstruk facilitating conditions dalam UTAUT perlu didekomposisi lebih lanjut menjadi dua sub-dimensi yang dapat berkembang secara tidak simetris: facilitating conditions teknis (ketersediaan infrastruktur dan perangkat) dan facilitating conditions kelembagaan (ketersediaan mekanisme organisasi formal). Studi kasus ini menunjukkan bahwa keduanya dapat berada pada tahap kematangan yang sangat berbeda dalam satu kasus adopsi yang sama, sebuah nuansa yang tidak secara eksplisit dibedakan dalam formulasi UTAUT orisinal (Venkatesh et al., 2003). Temuan ini memberikan usulan pengembangan teoretis bahwa penelitian adopsi teknologi pada konteks kelembagaan kolektif seperti Gapoktani sebaiknya mengukur facilitating conditions sebagai konstruk multidimensional, bukan konstruk tunggal, agar dapat menangkap kesenjangan tersembunyi antara kesiapan teknis dan kesiapan organisasional.

Penelitian ini juga memberikan kontribusi terhadap pemahaman mengenai hubungan antara tahap adopsi dalam DOI (Rogers, 2003) dan tingkat kematangan kelembagaan. Studi kasus ini menunjukkan bahwa suatu entitas dapat berada pada tahap implementation yang matang secara teknis, namun tahap adopsi kelembagaannya justru masih berada pada tahap knowledge atau bahkan belum dimulai sama sekali. Implikasinya, model tahapan adopsi yang bersifat tunggal dan linear perlu dipertimbangkan ulang ketika diterapkan pada konteks kelembagaan kolektif dengan multi-level pengambilan keputusan, karena kecepatan adopsi pada level teknis-individual tidak serta-merta diikuti kecepatan yang sama pada level kelembagaan-kolektif.

Secara praktis, penelitian ini merekomendasikan tiga langkah bagi Lembang Agri dan Gapoktani terkait. Pertama, penguatan kapasitas infrastruktur listrik sebagai prasyarat teknis sebelum ekspansi otomatisasi lebih lanjut, mengingat keterbatasan daya 2.900 watt telah terbukti menjadi hambatan operasional yang konkret dan berulang. Kedua, penyusunan standar operasional prosedur (SOP) tertulis untuk penanganan gangguan teknis dan transfer pengetahuan, mengingat saat ini keberlanjutan sistem sangat bergantung pada satu individu operator, sebuah kondisi yang secara langsung berisiko terhadap keberlanjutan operasional apabila individu tersebut tidak lagi tersedia. Ketiga, integrasi topik pengelolaan teknologi digital ke dalam agenda rapat rutin Gapoktani sebagai langkah awal menjembatani kesenjangan antara prosedur normatif dan prosedur operasional yang teridentifikasi dalam penelitian ini.

Bagi pemangku kebijakan di level yang lebih luas, temuan ini relevan dengan wacana pengembangan pertanian digital berbasis Society 5.0 yang menekankan keseimbangan antara kemajuan teknologi dan pemberdayaan manusia (human-centered). Sebagaimana ditemukan dalam kajian literatur terkini mengenai transformasi pertanian presisi di Indonesia, keberhasilan digitalisasi pertanian tidak dapat diukur semata dari indikator teknis, melainkan juga dari sejauh mana ekosistem kelembagaan mampu menyerap dan melembagakan teknologi tersebut secara berkelanjutan. Studi kasus Lembang Agri menunjukkan bahwa tanpa penguatan pada dimensi kelembagaan, keberhasilan teknis yang telah dicapai berisiko bersifat rapuh dan bergantung pada individu tertentu, alih-alih menjadi kapasitas kolektif Gapoktani secara keseluruhan.

4.6 Keterbatasan Interpretasi dan Kebutuhan Verifikasi Lanjutan

Untuk memastikan keabsahan interpretasi pada bagian 4.3, dilakukan member checking kepada pengelola kedua greenhouse yang merupakan informan utama sekaligus anggota aktif Gapoktani Lembang Agri. Proses verifikasi ini mengonfirmasi bahwa seluruh temuan yang disajikan pada bagian 4.2, mencakup komponen teknologi, dampak operasional, hambatan teknis, pertimbangan ekonomi, dan konteks adopsi, telah sesuai dengan kondisi aktual di lapangan tanpa ditemukan kekeliruan interpretasi. Tidak munculnya kode, tema, atau koreksi baru pada proses verifikasi ini mengindikasikan tercapainya kejenuhan data (data saturation) untuk keseluruhan temuan pada level operasional-individual.

Pada aspek kelembagaan, konfirmasi dari informan yang berstatus sebagai anggota Gapoktani turut memperkuat temuan mengenai belum terintegrasinya adopsi teknologi ke dalam mekanisme formal organisasi, karena pernyataan tersebut berasal dari perspektif internal (insider account), bukan inferensi dari pihak luar Gapoktani. Dengan demikian, interpretasi pada bagian 4.3 mengenai kesenjangan antara prosedur normatif dan prosedur operasional dapat dinyatakan telah terverifikasi dari sudut pandang anggota.

Meskipun demikian, perlu dicatat bahwa informan penelitian ini berasal dari level pengelola operasional atau pemilik green house, bukan dari level pengurus atau pengambil keputusan Gapoktani. Kedua level tersebut berpotensi memiliki akses informasi yang berbeda terhadap mekanisme kelembagaan, misalnya keberadaan rapat pengurus yang tidak melibatkan anggota secara langsung. Oleh karena itu, kejenuhan data pada penelitian ini dinyatakan tercapai untuk perspektif level anggota/operasional, sementara perspektif level pengurus Gapoktani tetap menjadi arah pengembangan yang relevan bagi penelitian lanjutan guna memperoleh gambaran kelembagaan yang lebih menyeluruh.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Ringkasan Temuan Utama

Penelitian ini menyimpulkan bahwa Gapoktani di Lembang Agri telah melakukan adopsi awal teknologi digital yang bermakna, ditandai oleh implementasi sistem IoT terintegrasi yang mencakup otomatisasi irigasi, pemberian nutrisi, pemantauan lingkungan berbasis sensor, dan monitoring jarak jauh melalui smartphone pada dua greenhouse dengan komoditas berbeda. Adopsi ini menghasilkan dampak positif yang terukur pada efisiensi operasional fase pemantauan dan penyiraman, serta divalidasi secara kualitatif melalui kemitraan dengan mitra industri nasional Pizza Hut untuk komoditas paprika. Namun, hasil analisis kesenjangan menunjukkan bahwa adopsi ini masih berjalan pada level operasional-individual dan belum terintegrasi ke dalam mekanisme kelembagaan formal Gapoktani sebagaimana diamanatkan Permentan 67/2016, khususnya pada aspek pengambilan keputusan bersama, perencanaan kerja kolektif, dan transfer pengetahuan antaranggota. Hambatan utama yang teridentifikasi bersifat infrastruktural, terutama keterbatasan kapasitas daya listrik, bukan resistensi sosial-organisasional terhadap teknologi itu sendiri.

5.2 Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dikemukakan secara jujur. Pertama, data wawancara mendalam yang dianalisis berasal dari satu informan utama (operator/teknisi sistem), sehingga perspektif dari pengurus Gapoktani secara formal dan petani anggota lainnya belum sepenuhnya tergali. Kedua, usia sistem teknologi yang diteliti masih sangat dini (satu hingga dua bulan), sehingga data mengenai dampak jangka panjang terhadap produktivitas belum dapat dikonfirmasi secara empiris dan bersifat proyeksi berdasarkan sistem pembanding. Ketiga, triangulasi dokumentasi masih terbatas pada foto perangkat, belum mencakup dokumen tertulis seperti risalah rapat Gapoktani atau kontrak kemitraan industri yang dapat memperkuat validitas temuan kelembagaan.

5.3 Saran untuk Penelitian Lanjutan

Penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas jumlah dan variasi informan, khususnya mencakup pengurus Gapoktani secara formal dan anggota petani lainnya, guna memperoleh triangulasi perspektif yang lebih komprehensif mengenai mekanisme kelembagaan. Penelitian lanjutan juga disarankan untuk dilakukan pada rentang waktu yang lebih panjang, memungkinkan evaluasi dampak jangka panjang terhadap produktivitas panen secara empiris, bukan berdasarkan proyeksi dari sistem pembanding. Studi kuantitatif lanjutan menggunakan instrumen UTAUT atau TAM yang divalidasi secara statistik juga direkomendasikan untuk mengukur secara terstruktur pengaruh masing-masing konstruk terhadap niat dan perilaku penggunaan teknologi oleh anggota Gapoktani secara lebih luas.

5.4 Rekomendasi Praktis

Bagi pengelola Lembang Agri, direkomendasikan untuk segera menyusun standar operasional prosedur tertulis terkait penanganan gangguan teknis dan proses transfer pengetahuan, mengingat keberlanjutan sistem saat ini sangat bergantung pada satu individu operator. Bagi pengurus Gapoktani, direkomendasikan untuk mengintegrasikan agenda pengelolaan teknologi digital ke dalam pertemuan rutin kelembagaan sebagaimana diamanatkan Permentan 67/2016, sehingga adopsi teknologi tidak hanya berhasil secara teknis tetapi juga terlembagakan secara berkelanjutan. Bagi pembuat kebijakan, temuan mengenai celah regulasi antara Permentan 67/2016 dan kebutuhan pengelolaan teknologi digital dapat menjadi masukan untuk pembaruan kebijakan pembinaan kelembagaan petani yang lebih responsif terhadap era pertanian digital.

DAFTAR PUSTAKA

Aranguri, M., Mera, H., Noblecilla, W., & Lucini, C. (2025). Digital literacy and technology adoption in agriculture: A systematic review of factors and strategies. AgriEngineering, 7(9), 296. https://doi.org/10.3390/agriengineering7090296

Azis, M., & Suryana, E. A. (2023). Komparasi dan implementasi kebijakan digitalisasi pertanian: Peluang dan tantangan. Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan, 10(3), 179–198. https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v10i3.51083

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly, 13(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008

Dirayati, F., Anggun Sari, R., & Purnomo, R. F. (2025). Perancangan dan implementasi sistem smart agriculture berbasis Internet of Things untuk meningkatkan produktivitas pertanian. Jurnal Media Informatika (JuMIn), 6(2), 863–872. https://doi.org/10.55338/jumin.v6i2.4982

Dissanayake, C. A. K., Jayathilake, W., Wickramasuriya, H. V. A., Dissanayake, U., Kopiyawattage, K. P. P., & Wasala, W. M. C. B. (2022). Theories and models of technology adoption in agricultural sector. Human Behavior and Emerging Technologies, 2022, 1–15. https://doi.org/10.1155/2022/9258317

Dong, Y., Werling, B., Cao, Z., & Li, G. (2024). Implementation of an in-field IoT system for precision irrigation management. Frontiers in Water, 6, 1353597. https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1353597

Dwiyatno, S., Krisnaningsih, E., Hidayat, D. R., & Sulistiyono. (2022). Smart agriculture monitoring penyiraman tanaman berbasis Internet of Things. PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Sistem Komputer, 9(1), 38–43. https://doi.org/10.30656/prosisko.v9i1.4669

Herdiana, B., Utama, J., & Supatmi, S. (2023). Pengembangan dan pelatihan penerapan teknologi pengairan otomatisasi pada tanaman hidroponik Wangunsari Farm Lembang menggunakan konsep smart watering. Jurnal Terapan Abdimas, 8(2), 217. https://doi.org/10.25273/jta.v8i2.15541

Méndez-Guzmán, H. A., Padilla-Medina, J. A., Martínez-Nolasco, C., Martinez-Nolasco, J. J., Barranco-Gutiérrez, A. I., Contreras-Medina, L. M., & Leon-Rodriguez, M. (2022). IoT-based monitoring system applied to aeroponics greenhouse. Sensors, 22(15), 5646. https://doi.org/10.3390/s22155646

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldana, J. (2014). Qualitative data analysis: A methods sourcebook (3rd ed.). SAGE Publications.

Nurdayati, Sudarmanto, B., Mubarokah, W. W., Purwono, E., Makmun, L., & Akbarrizki, M. (2024). Model pendampingan generasi milenial sektor pertanian berkelanjutan melalui optimalisasi pemberdayaan aset social movement menghadapi era pertanian cerdas digital 4.0. Jurnal Pengembangan Penyuluhan Pertanian, 21(1). https://doi.org/10.36626/jppp.v21i1.1196

Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 67/Permentan/SM.050/12/2016 tentang Pembinaan Kelembagaan Petani.

Ristian, U., Ruslianto, I., & Sari, K. (2022). Sistem monitoring smart greenhouse pada lahan terbatas berbasis Internet of Things (IoT). Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN), 8(1), 87–89. https://doi.org/10.26418/jp.v8i1.52770

Rogers, E. M. (2003). Diffusion of innovations (5th ed.). Free Press.

Ruslianto, I., Ristian, U., & Hasfani, H. (2022). Sistem pintar untuk anggur (Sipunggur) pada kawasan tropis berbasis Internet of Things (IoT). Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN), 8(1), 121–127. https://doi.org/10.26418/jp.v8i1.52835

Sergius Jimmy, R. (2021). Implementasi konsep smart farming berbasis IoT dan manfaatnya. Jurnal Ilmu Teknik dan Komputer, 5(1), 233–237.

Setyawan, D. Y., Warsito, W., Marjunus, R., & Sumaryo, S. (2024). Automasi dan Internet of Things (IoT) pada pertanian cerdas: Review artikel pada jurnal terakreditasi Kemenristek. Prosiding Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK).

Thilakarathne, N. N., Abu Bakar, M. S., Abas, P. E., & Yassin, H. (2023). Towards making the fields talk: A real-time cloud enabled IoT crop management platform for smart agriculture. Frontiers in Plant Science, 13, 1030168. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1030168

Thilakarathne, N. N., Abu Bakar, M. S., Abas, P. E., & Yassin, H. (2025). Internet of things enabled smart agriculture: Current status, latest advancements, challenges and countermeasures. Heliyon, 11(3), e42136. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42136

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. MIS Quarterly, 27(3), 425–478. https://doi.org/10.2307/30036540

Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). SAGE Publications.