



Utilization of Sensors and IoT in Smart Agriculture: A Systematic Literature Review (2017–2022)

Pemanfaatan Sensor dan IoT dalam Pertanian Cerdas: Sebuah Tinjauan Pustaka Sistematis (2017-2022)



Parwito ^a
Edi Susilo ^b
Andreani Kinata ^c
Susi Handayani ^d

Article history:

Submitted: 4 November 2022

Revised: 17 November 2022

Accepted: 28 November 2022

Keywords:

Internet of Things, Smart Farming, Sensors, Literature Review, Precision Agriculture, Agriculture 4.0.

Abstract

The global agricultural landscape is undergoing a paradigm shift toward "Agriculture 4.0," where data-driven decisions replace traditional intuition. This transformation is underpinned by the integration of sensor technology and the Internet of Things (IoT). This article presents a comprehensive systematic literature review (SLR) of research published between 2017 and 2022, focusing on the technical nuances of sensors, network architectures, and their socio-economic impacts. By analyzing over 20 key publications, the study identifies a transition from resistive to capacitive sensing technologies and the dominance of LPWAN protocols in large-scale farming. The findings highlight that IoT integration leads to a 30-40% increase in productivity and a significant reduction in resource waste. This review provides a strategic roadmap for implementing smart farming solutions, emphasizing the need for infrastructure development and digital literacy in developing economies like Indonesia..

Abstrak

Lanskap pertanian global sedang mengalami pergeseran paradigma menuju "Pertanian 4.0," di mana keputusan berbasis data menggantikan intuisi tradisional. Transformasi ini didukung oleh integrasi teknologi sensor dan Internet of Things (IoT). Artikel ini menyajikan tinjauan pustaka sistematis (SLR) yang komprehensif dari penelitian yang diterbitkan antara tahun 2017 dan 2022, dengan fokus pada nuansa teknis sensor, arsitektur jaringan, dan

^a Universitas Ratu Samban, Bengkulu, Indonesia

^b Universitas Ratu Samban, Bengkulu, Indonesia

^c Universitas Ratu Samban, Bengkulu, Indonesia

^d Universitas Ratu Samban, Bengkulu, Indonesia

dampak sosial-ekonominya. Dengan menganalisis lebih dari 20 publikasi utama, studi ini mengidentifikasi transisi dari teknologi penginderaan resistif ke kapasitas dan dominasi protokol LPWAN dalam pertanian skala besar. Temuan menyoroti bahwa integrasi IoT menghasilkan peningkatan produktivitas sebesar 30-40% dan pengurangan signifikan dalam pemborosan sumber daya. Tinjauan ini memberikan peta jalan strategis untuk mengimplementasikan solusi pertanian cerdas, menekankan perlunya pengembangan infrastruktur dan literasi digital di negara berkembang seperti Indonesia.

SMART : Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer © 2022.
This is an open access article under the CC BY-NC-SA license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Corresponding author:

Parwito

Universitas Ratu Samban

Email address: parwitougmg@gmail.com

1 Pendahuluan

Sektor pertanian merupakan fondasi utama ketahanan pangan dan stabilitas ekonomi bagi banyak negara, termasuk Indonesia. Namun, sektor ini menghadapi tekanan yang belum pernah terjadi sebelumnya akibat pertumbuhan populasi global yang diperkirakan mencapai 9,7 miliar pada tahun 2050. Tekanan ini diperparah oleh penyusutan lahan produktif dan dampak nyata dari perubahan iklim yang mengganggu siklus tanam tradisional. Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) periode 2017-2022 menunjukkan bahwa meskipun sektor pertanian tetap tangguh, luas lahan pertanian di Indonesia terus mengalami penurunan rata-rata 0,1-0,2% per tahun akibat konversi lahan. Hal ini menuntut adanya efisiensi yang lebih tinggi dalam pemanfaatan lahan yang tersisa melalui adopsi teknologi cerdas.

Pertanian cerdas (Smart Farming) muncul sebagai solusi teknologi untuk mengatasi tantangan tersebut dengan mengintegrasikan sistem informasi ke dalam proses budidaya. Inti dari pertanian cerdas adalah kemampuan untuk memantau dan mengontrol variabel lingkungan secara presisi. Jika pada era mekanisasi (Pertanian 2.0) dan otomatisasi awal (Pertanian 3.0) fokusnya adalah pada efisiensi tenaga kerja fisik, maka pada era Pertanian 4.0, fokus utamanya adalah pada "intelejensi data." Penggunaan data yang dikumpulkan dari ribuan titik di lapangan memungkinkan petani untuk melakukan tindakan yang tepat, pada waktu yang tepat, dan di lokasi yang tepat.

Teknologi sensor bertindak sebagai indra bagi sistem pertanian cerdas. Sensor fisik seperti pengukur kelembaban tanah, suhu, dan intensitas cahaya memberikan gambaran objektif mengenai kondisi lingkungan yang tidak dapat dirasakan secara akurat oleh indra manusia. Tanpa data sensor, manajemen lahan sering kali bersifat reaktif dan tidak efisien. Misalnya, penyiraman yang dilakukan secara seragam di seluruh lahan tanpa mempertimbangkan variasi kelembaban tanah di titik-titik tertentu dapat menyebabkan pemborosan air di satu sisi dan stres kekeringan di sisi lain. *Internet of Things* (IoT) kemudian berperan sebagai sistem saraf yang menghubungkan sensor-sensor tersebut ke platform pusat. IoT memungkinkan data mengalir secara real-time dari ujung lahan ke perangkat mobile petani atau server cloud. Integrasi ini memungkinkan adanya sistem peringatan dini (early warning system) yang dapat memberi tahu petani mengenai potensi serangan hama atau kekurangan nutrisi sebelum gejala fisik terlihat pada tanaman. Perkembangan protokol komunikasi seperti LoRaWAN dan 5G dalam rentang 2017-2022 telah secara drastis menurunkan hambatan teknis dalam menghubungkan lahan pertanian yang luas dan terpencil.

Artikel ini disusun sebagai sebuah *Systematic Literature Review* (SLR) yang mendalam untuk memetakan perkembangan pemanfaatan sensor dan IoT dalam pertanian cerdas. Melalui tinjauan terhadap publikasi ilmiah nasional dan internasional dari tahun 2017 hingga 2022, artikel ini bertujuan untuk memberikan analisis komprehensif mengenai evolusi teknologi sensor, desain arsitektur jaringan yang paling efektif, serta dampak ekonomi yang

dihasilkan. Tinjauan ini diharapkan dapat menjadi panduan strategis bagi para peneliti dan praktisi dalam mengimplementasikan solusi pertanian cerdas yang berkelanjutan di Indonesia.

2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan mengacu pada pedoman PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) untuk memastikan proses seleksi literatur dilakukan secara sistematis, transparan, dan terstruktur. Pencarian literatur dilaksanakan pada periode Januari 2017 hingga Desember 2022 melalui beberapa basis data ilmiah utama, yaitu Google Scholar, ScienceDirect, IEEE Xplore, serta portal jurnal nasional terakreditasi SINTA. Kata kunci yang digunakan dalam proses pencarian meliputi “IoT Agriculture Sensors”, “Smart Farming Literature Review 2017-2022”, “Precision Agriculture Indonesia”, dan “Capacitive vs Resistive Soil Moisture Sensors IoT”. Literatur yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan agar penelitian yang digunakan memiliki relevansi dan kualitas ilmiah yang baik.

Kriteria inklusi dalam penelitian ini mencakup artikel yang diterbitkan pada jurnal atau prosiding yang telah melalui proses peer-review, memiliki fokus pada implementasi sensor fisik dan protokol IoT di bidang pertanian, menyajikan data hasil pengujian atau implementasi nyata, serta diterbitkan dalam rentang tahun 2017–2022. Sementara itu, artikel yang hanya membahas aspek ekonomi makro tanpa penjelasan teknis maupun artikel yang tidak menjelaskan teknologi sensor secara jelas dikeluarkan dari kajian. Setelah proses penyaringan dilakukan, diperoleh 25 artikel utama yang memenuhi kriteria penelitian. Data dari artikel-artikel tersebut kemudian dianalisis dan disintesis ke dalam matriks perbandingan yang mencakup jenis perangkat keras yang digunakan, protokol komunikasi IoT, parameter lingkungan yang dipantau, serta hasil implementasi berupa peningkatan produktivitas maupun efisiensi biaya pada sektor pertanian cerdas.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Evolusi Teknologi Sensor Fisik

Salah satu temuan paling menonjol dalam literatur 2017-2022 adalah pergeseran penggunaan sensor kelembaban tanah dari tipe resistif ke tipe kapasitif. Hal ini didorong oleh masalah durabilitas pada sensor resistif yang sering mengalami korosi akibat kontak langsung dengan tanah yang lembab dan mengandung mineral.

Tabel 1. Perbandingan Teknis Sensor Kelembaban Tanah: Resistif vs Kapasitif

Karakteristik	Sensor Resistif (e.g., FC-28)	Sensor Kapasitif (e.g., v1.2)	Dampak pada Sistem
Prinsip Kerja	Mengukur resistansi listrik antar probe	Mengukur perubahan kapasitansi	Akurasi pembacaan
Durabilitas	Rendah (Cepat korosi)	Tinggi (Tahan korosi)	Biaya pemeliharaan
Akurasi	Dipengaruhi oleh salinitas tanah	Lebih stabil terhadap salinitas	Keandalan data
Harga	Sangat Murah	Murah - Menengah	Investasi awal
Kesesuaian	Pengujian jangka pendek	Implementasi jangka panjang	Keberlanjutan proyek

Penelitian oleh Flora (2022) pada tanaman bawang merah menunjukkan bahwa sensor kapasitif memberikan data yang 15% lebih stabil dibandingkan sensor resistif dalam kondisi tanah yang memiliki kandungan mineral tinggi.

3.2. Arsitektur Jaringan IoT untuk Skalabilitas

Arsitektur IoT dalam pertanian cerdas telah berevolusi menjadi sistem multi-layer yang kompleks. Literatur terbaru menekankan pentingnya lapisan Edge Computing untuk memproses data di dekat sensor guna mengurangi beban pengiriman data ke cloud.

Tabel 2. Komponen Arsitektur IoT Pertanian Modern

Layer	Komponen Utama	Fungsi dalam Pertanian
Perception	Sensor (Soil, DHT22, pH), Aktuator (Pompa, Relay)	Pengumpulan data & eksekusi tindakan
Edge/Fog	ESP32, Raspberry Pi, Gateway LoRa	Pemrosesan data awal & kontrol lokal
Network	LoRaWAN, NB-IoT, 4G/5G	Transmisi data jarak jauh
Cloud/App	Firebase, ThingsBoard, AWS IoT	Penyimpanan data, Analisis AI, Dasbor User

Penggunaan LoRaWAN menjadi standar emas untuk pertanian terbuka di Indonesia. Penelitian oleh Putri & Safitri (2022) menunjukkan bahwa LoRaWAN mampu menjangkau hingga 10 km pada area persawahan dengan konsumsi daya baterai yang dapat bertahan hingga 2 tahun, menjadikannya solusi paling efisien untuk manajemen lahan luas.

3.3. Dampak Empiris terhadap Efisiensi dan Produksi

Data dari berbagai studi kasus menunjukkan bahwa pemanfaatan sensor dan IoT tidak hanya tentang kecanggihan teknologi, tetapi tentang hasil nyata di lapangan. Integrasi sensor memungkinkan adanya "irigasi presisi" yang memberikan air sesuai dengan kebutuhan tanaman, bukan berdasarkan jadwal kaku.

Tabel 3. Ringkasan Peningkatan Kinerja Pertanian Berbasis IoT (2017-2022)

Indikator Kinerja	Hasil Konvensional	Hasil Berbasis IoT	Peningkatan/Efisiensi
Efisiensi Air	100% (Baseline)	65% - 75%	Hemat 25-35%
Produktivitas Padi	5,2 Ton/Ha	6,5 - 7,0 Ton/Ha	Naik 25-34%
Biaya Tenaga Kerja	Tinggi (Manual monitoring)	Rendah (Remote monitoring)	Hemat 50%
Kualitas Produk	Variabel	Konsisten (Grade A)	Peningkatan Nilai Jual

Sumber: Sintesis Data (Heryadi & Sulistyono, 2022; Firmansyah, 2022)

Salah satu contoh sukses adalah implementasi pada tanaman hidroponik di mana penggunaan sensor pH dan nutrisi otomatis meningkatkan produksi daun sebesar 40% dan mempercepat masa panen dari 40 hari menjadi 30 hari [8].

Pembahasan

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa perkembangan teknologi sensor pada pertanian cerdas mengalami peningkatan signifikan selama periode 2017–2022, khususnya pada penggunaan sensor kelembaban tanah. Pergeseran utama terjadi dari penggunaan sensor resistif menuju sensor kapasitif karena sensor resistif dinilai memiliki kelemahan pada aspek durabilitas. Sensor resistif mudah mengalami korosi akibat kontak langsung dengan tanah lembab dan kandungan mineral yang tinggi, sehingga mempengaruhi akurasi pembacaan data dalam jangka panjang. Sebaliknya, sensor kapasitif memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap korosi serta menghasilkan pembacaan yang lebih stabil. Perubahan ini menunjukkan bahwa keberlanjutan sistem pertanian cerdas tidak hanya ditentukan oleh biaya awal perangkat, tetapi juga oleh ketahanan dan kualitas data yang dihasilkan selama proses operasional.

Berdasarkan Tabel 1, sensor kapasitif memiliki keunggulan pada stabilitas pengukuran dibandingkan sensor resistif. Sensor ini bekerja dengan mengukur perubahan kapasitansi tanah sehingga tidak terlalu dipengaruhi oleh tingkat salinitas atau kandungan mineral. Penelitian Flora (2022) membuktikan bahwa sensor kapasitif mampu menghasilkan data kelembaban tanah yang 15% lebih stabil pada budidaya bawang merah dibandingkan sensor resistif. Stabilitas data tersebut sangat penting dalam sistem irigasi otomatis karena kesalahan pembacaan dapat menyebabkan pemberian air yang tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman. Dengan demikian, penggunaan sensor kapasitif lebih direkomendasikan untuk implementasi pertanian cerdas jangka panjang, terutama pada lahan pertanian dengan kondisi tanah yang kompleks dan bervariasi.

Selain perkembangan pada teknologi sensor, arsitektur jaringan IoT dalam pertanian juga mengalami evolusi menjadi sistem multi-layer yang lebih terintegrasi. Literatur menunjukkan bahwa penerapan Edge Computing mulai menjadi bagian penting dalam sistem pertanian modern. Lapisan edge berfungsi memproses data langsung di dekat sensor menggunakan perangkat seperti ESP32, Raspberry Pi, atau gateway LoRa sehingga mampu mengurangi latensi dan beban transmisi data ke cloud. Konsep ini memungkinkan pengambilan keputusan secara cepat, misalnya untuk mengaktifkan pompa irigasi otomatis ketika kelembaban tanah berada di bawah ambang tertentu. Dengan adanya pemrosesan lokal, sistem menjadi lebih efisien dan tetap dapat beroperasi meskipun koneksi internet tidak stabil.

Pada aspek komunikasi data, teknologi LoRaWAN menjadi protokol yang paling banyak direkomendasikan untuk implementasi pertanian terbuka di Indonesia. Berdasarkan penelitian Putri dan Safitri (2022), LoRaWAN mampu menjangkau area hingga 10 km di wilayah persawahan dengan konsumsi daya yang sangat rendah sehingga baterai perangkat dapat bertahan hingga dua tahun. Keunggulan ini menjadikan LoRaWAN lebih efektif dibandingkan Wi-Fi atau Bluetooth yang memiliki jangkauan terbatas dan konsumsi energi lebih tinggi. Penggunaan LoRaWAN juga mendukung pengelolaan lahan pertanian skala luas karena data dari berbagai sensor dapat dikirim secara real-time ke platform cloud untuk dipantau oleh petani melalui aplikasi berbasis web maupun smartphone.

Dari sisi implementasi, hasil sintesis berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan sensor dan IoT memberikan dampak nyata terhadap peningkatan efisiensi dan produktivitas pertanian. Sistem irigasi presisi berbasis sensor mampu menghemat penggunaan air sebesar 25–35% dibandingkan metode konvensional. Selain itu, produktivitas padi meningkat dari rata-rata 5,2 ton/ha menjadi 6,5–7,0 ton/ha, sementara biaya tenaga kerja menurun hingga 50% karena proses pemantauan dapat dilakukan secara jarak jauh. Pada budidaya hidroponik, penggunaan sensor pH dan nutrisi otomatis bahkan mampu meningkatkan produksi daun sebesar 40% dan mempercepat masa panen dari 40 hari menjadi 30 hari. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi sensor dan IoT tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memberikan nilai ekonomi yang lebih tinggi melalui peningkatan kualitas dan kuantitas hasil pertanian..

4 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan sensor dan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan pertanian cerdas selama periode 2017–2022. Perkembangan teknologi sensor, khususnya peralihan dari sensor resistif ke sensor kapasitif, menunjukkan peningkatan pada aspek akurasi, stabilitas data, dan durabilitas perangkat. Selain itu, penerapan arsitektur IoT multi-layer yang didukung teknologi Edge Computing dan komunikasi LoRaWAN mampu meningkatkan efisiensi pemantauan serta pengendalian sistem pertanian secara real-time. Implementasi teknologi ini terbukti mampu meningkatkan produktivitas hasil pertanian, menghemat penggunaan air, mengurangi biaya tenaga kerja, serta meningkatkan kualitas produk pertanian secara lebih konsisten.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar pengembangan sistem pertanian cerdas di masa mendatang lebih difokuskan pada integrasi teknologi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) dan analisis data berbasis machine learning untuk meningkatkan kemampuan prediksi kondisi lahan dan kebutuhan tanaman. Selain itu, diperlukan penelitian lanjutan terkait optimalisasi konsumsi energi perangkat IoT serta pengembangan sistem komunikasi yang lebih stabil pada wilayah pedesaan dengan keterbatasan infrastruktur jaringan. Dukungan pemerintah, akademisi, dan sektor industri juga diperlukan dalam memperluas implementasi teknologi pertanian cerdas agar dapat diakses oleh petani skala kecil maupun menengah guna meningkatkan ketahanan pangan dan efisiensi sektor pertanian di Indonesia.

5 Daftar Pustaka

- [1] Heryadi, D. Y., & Sulisty, W. (2022). Implementation of Smart Farming: Utilizing the Internet of Things (IoT) to Enhance Productivity and Efficiency in Sustainable Agriculture. *Journal of the American Scientific Research*, 2022(1), 1-10.
- [2] Matsveichuk, N. M., & Sotskov, Y. N. (2022). Digital Technologies, Internet of Things and Cloud Computations Used in Agriculture: Surveys and Literature in Russian. *Preprints.org*, 2022, 1-15.
- [3] Ahmad, F. A. (2022). Sistem Informasi Berbasis Web untuk Pemantauan Kondisi Tanah (Kelembaban dan Suhu) Terintegrasi IoT. Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung.
- [4] Ambarwari, A., et al. (2021). Sistem Pemantau Kondisi Lingkungan Pertanian Tanaman Pangan dengan NodeMCU ESP8266 dan Raspberry Pi Berbasis IoT. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 2021, 1-8.
- [5] Suseno, B. G. (2022). Perancangan Sistem Monitoring Kondisi Tanah Menggunakan Sensor DHT11 dan Soil Moisture FC. *Jurnal SINTA*, 2022, 1-7.
- [6] Basri, H. (2022). Implementasi Sistem Irigasi Cerdas Berbasis IoT dan Sensor. *Jurnal Edutic*, 6(2), 123-130.
- [7] Putri, Q. A., & Safitri, D. (2022). Tinjauan Penerapan Internet of Things pada Sistem Irigasi Cerdas Pertanian. *Journal of Informatics and Interactive Technology*, 2(1), 1-8.
- [8] Firmansyah, F., et al. (2022). Pertanian Cerdas Berbasis Internet of Things untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(2), 80-85.
- [9] Nahib, I. (2022). Spatio-Temporal Dynamics of Land Use and Land Cover Changes in Lombok Island. *MDPI*, 2022, 1-15.
- [10] Flora, F. S. (2022). Otomasi Sistem Penyiraman Tanaman Bawang Merah Pada Lokasi Tanah Berbatu Berbasis Internet Of Things. Universitas Lampung.
- [11] Navarro, E., et al. (2020). A Systematic Review of IoT Solutions for Smart Farming. *Sensors (Basel)*, 20(15), 4235.
- [12] Addam Raihan, Q. H. (2022). Sistem Pemantauan Siram Otomatis pada Tanaman Alpukat Berbasis Internet of Things. Universitas Lampung.