

Pemanfaatan Internet of Things (IoT) dalam Pengembangan Pertanian Cerdas: Studi Komparatif Beberapa Negara

Pramono Hadi ¹, Basiroh ¹, Abdul Jalil ^{2*}

¹Universitas Islam Batik Surakarta

² Universitas Muhammadiyah Jember

e-mail: abduljalil@unmuhjember.ac.id

ABSTRAK

Internet of Things (IoT) telah menjadi salah satu teknologi kunci dalam transformasi pertanian modern melalui konsep smart farming. Teknologi ini memungkinkan pemantauan dan pengelolaan pertanian secara real-time berbasis data, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan input, produktivitas, dan keberlanjutan sistem pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan IoT dalam sektor pertanian di beberapa negara serta mengidentifikasi tantangan dan faktor kunci keberhasilan implementasinya, khususnya dalam konteks negara berkembang. Metode penelitian yang digunakan adalah systematic literature review (SLR) terhadap artikel ilmiah nasional dan internasional, dokumen kebijakan, serta laporan resmi yang dipublikasikan pada periode 2018–2025. Negara yang dikaji meliputi Belanda, Amerika Serikat, Jepang, India, dan Indonesia. Hasil kajian menunjukkan bahwa IoT berperan penting dalam pemantauan lahan dan tanaman, manajemen irigasi cerdas, deteksi dini hama dan penyakit, pengelolaan ternak, serta pengambilan keputusan berbasis data. Namun, implementasi IoT pertanian masih menghadapi tantangan utama berupa keterbatasan infrastruktur, biaya investasi tinggi, isu interoperabilitas dan tata kelola data, keamanan siber, serta rendahnya kapasitas sumber daya manusia. Di Indonesia, meskipun adopsi IoT masih terbatas, penerapan smart farming pada hidroponik, greenhouse, irigasi tetes, dan perikanan menunjukkan potensi besar dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Penelitian ini menegaskan bahwa keberhasilan IoT pertanian memerlukan pendekatan yang kontekstual, inklusif, dan didukung oleh kebijakan serta penguatan kapasitas kelembagaan.

Kata kunci: Internet of Things, smart farming, pertanian presisi, ketahanan pangan, transformasi digital.

ABSTRACT

The Internet of Things (IoT) has emerged as a key technology in the transformation of modern agriculture through the implementation of smart farming systems. IoT enables real-time monitoring and data-driven management of agricultural activities, thereby improving input efficiency, productivity, and sustainability. This study aims to analyze the application of IoT in the agricultural sector across several countries and to identify the main challenges and success factors of its implementation, particularly in developing countries. A systematic literature review (SLR) approach was employed by analyzing national and international journal articles, policy documents, and official reports published between 2018 and 2025. The selected countries include the Netherlands, the United States, Japan, India, and Indonesia. The results indicate that IoT plays a significant role in land and crop monitoring, smart irrigation management, early detection of pests and diseases, livestock management, and real-time data-based decision-making. However, IoT adoption in agriculture still faces major challenges, such as limited rural connectivity, high initial investment costs, interoperability and data governance issues, cybersecurity risks, and insufficient human resource capacity. In Indonesia, although IoT adoption remains in the early stages, its application in hydroponics, greenhouses, drip irrigation, aquaculture monitoring, and coffee farming demonstrates substantial potential to support national food security. This study concludes that successful implementation of IoT-based smart farming requires a contextual, inclusive approach supported by appropriate policies and institutional capacity strengthening.

Keywords: Internet of Things, smart farming, precision agriculture, food security, digital transformation.

PENDAHULUAN

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang memungkinkan perangkat fisik seperti sensor, aktuator, dan mesin terhubung ke jaringan internet untuk mengumpulkan, memproses, serta mentransmisikan data secara otomatis dan real-time. Dalam sektor pertanian,

penerapan IoT berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan input, ketepatan pengelolaan lahan, produktivitas, serta keberlanjutan sistem pertanian melalui pendekatan pertanian presisi dan pengambilan keputusan berbasis data. Oleh karena itu, IoT dipandang sebagai salah satu pilar penting dalam transformasi pertanian modern, baik di negara maju dengan sistem pertanian berteknologi tinggi maupun di negara berkembang yang tengah berupaya memperbaiki model pertaniannya.

Seiring dengan perkembangan teknologi digital, adopsi IoT di bidang pertanian menunjukkan tren peningkatan secara global. Namun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa implementasi IoT pertanian tidak selalu berjalan optimal dan masih menghadapi beragam tantangan yang bersifat teknis, sosial-ekonomi, kelembagaan, dan regulasi, yang berbeda antarnegara dan konteks wilayah (Shiddiqi et al., 2020). Perbedaan kondisi infrastruktur, skala usaha tani, kapasitas sumber daya manusia, serta kebijakan publik menyebabkan keberhasilan penerapan IoT pertanian sangat kontekstual dan tidak dapat digeneralisasi secara langsung.

Di negara Belanda, yang dikenal memiliki sistem pertanian hortikultura maju, tantangan utama penerapan IoT terletak pada aspek interoperabilitas dan tata kelola data. Keberagaman platform sensor, aktuator, dan sistem manajemen data yang belum memiliki standar interoperabilitas yang kuat menyulitkan integrasi lintas vendor serta pertukaran data dalam rantai pasok hortikultura yang kompleks. Selain itu, kekhawatiran petani terhadap privasi dan kepemilikan data produksi menjadi hambatan sosial yang signifikan, terutama terkait potensi eksploitasi data oleh platform komersial (Setya Hadi, 2025).

Di Amerika Serikat, keterbatasan konektivitas di wilayah pedesaan masih menjadi hambatan teknis utama dalam penerapan IoT pertanian. Ketidakmerataan jaringan broadband dan seluler menyebabkan sistem sensor dan perangkat edge sulit mengirimkan data secara real-time, sehingga menghambat penerapan pertanian presisi berskala besar. Selain itu, tingginya biaya investasi awal serta ketidakjelasan tingkat pengembalian investasi (Return on Investment/ROI) bagi petani kecil dan menengah turut memperlambat adopsi teknologi. Aspek keamanan siber juga menjadi perhatian penting karena kerentanan perangkat IoT terhadap serangan digital berpotensi menimbulkan risiko operasional dan kerugian produksi (Pratama et al., 2025).

Sementara itu, di negara berkembang seperti India, penerapan IoT pertanian menghadapi tantangan struktural berupa fragmentasi lahan dan dominasi petani kecil (*smallholders*). Kondisi ini menyebabkan biaya adopsi teknologi per satuan luas lahan menjadi relatif tinggi dan sulit mencapai skala ekonomi yang menguntungkan. Rendahnya literasi digital, keterbatasan pelatihan, serta minimnya layanan purna jual teknologi juga menjadi faktor penghambat utama keberhasilan implementasi di tingkat lapangan. Selain itu, keterbatasan integrasi sistem IoT dengan layanan lokal, seperti data cuaca mikro dan informasi pasar, memperlebar kesenjangan antara desain teknologi dan kebutuhan riil petani (Alam, 2020).

Kondisi yang relatif serupa juga terjadi di Indonesia. Keterbatasan infrastruktur telekomunikasi di wilayah pedesaan menyebabkan konektivitas IoT belum stabil, khususnya untuk sistem monitoring lahan kering, hortikultura, dan perikanan budidaya. Ketergantungan pada perangkat dan sensor impor menjadikan biaya investasi dan pemeliharaan relatif tinggi serta sulit dijangkau oleh petani kecil. Di sisi lain, kapasitas institusional dan sumber daya manusia, terutama dalam hal pelatihan teknis, pendampingan berkelanjutan, serta pengembangan model bisnis IoT yang sesuai dengan karakteristik petani kecil, masih menjadi tantangan besar dalam mendorong adopsi teknologi secara luas (Megawati, 2021).

Berbeda dengan negara berkembang, Jepang menghadapi tantangan IoT pertanian yang lebih berorientasi pada integrasi teknologi canggih. Penuaan petani dan kekurangan tenaga kerja mendorong adopsi robotika dan otomasi berbasis IoT secara intensif. Namun demikian, harmonisasi antara sistem robotik, IoT, dan manajemen data nasional masih memerlukan standar interoperabilitas yang jelas. Selain itu, penerapan teknologi canggih pada lahan-lahan kecil dan terfragmentasi tetap menuntut penyesuaian desain teknis dan model bisnis agar tetap efisien dan aplikatif (Ayyub, 2023).

Secara umum, berbagai negara menunjukkan adanya isu lintas sektor (*cross-cutting issues*) dalam implementasi IoT pertanian, meliputi tingginya biaya investasi dan model bisnis

yang belum inklusif, keterbatasan konektivitas di wilayah rural, lemahnya standar dan tata kelola data, risiko keamanan dan privasi, serta rendahnya kapasitas sumber daya manusia dan literasi digital. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan penerapan IoT pertanian tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga oleh kesiapan sistem sosial, ekonomi, dan kelembagaan yang mendukungnya (AlSobeh & Magableh, 2018).

Meskipun berbagai studi telah membahas penerapan IoT pertanian di berbagai negara, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek teknis dan kinerja sistem secara parsial. Kajian yang mengintegrasikan aspek teknis, sosial-ekonomi, kelembagaan, dan model bisnis secara komprehensif—khususnya dalam konteks petani kecil di negara berkembang—masih relatif terbatas. Selain itu, penelitian lintas negara umumnya bersifat deskriptif dan belum banyak yang melakukan analisis komparatif secara sistematis untuk mengidentifikasi pola tantangan dan faktor kunci keberhasilan implementasi IoT pertanian. Dalam konteks Indonesia, masih minim penelitian yang secara spesifik mengkaji kesesuaian desain dan strategi penerapan IoT dengan kondisi lokal, termasuk keterbatasan infrastruktur, kapasitas sumber daya manusia, serta keberlanjutan adopsi teknologi dalam jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mampu mengisi kesenjangan tersebut dengan menganalisis penerapan IoT pertanian secara kontekstual dan adaptif, sehingga teknologi ini dapat diimplementasikan secara inklusif, efektif, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan *systematic literature review* (SLR) untuk menganalisis penerapan Internet of Things (IoT) pada sektor pertanian di beberapa negara. Pendekatan SLR dipilih karena mampu memberikan tinjauan komprehensif, terstruktur, dan dapat direplikasi terhadap berbagai temuan ilmiah, kebijakan, serta studi kasus dari beberapa negara. Penelitian memfokuskan kajian pada penerapan teknologi IoT dalam berbagai subsektor pertanian. Permasalahan dan tantangan implementasi IoT di beberapa negara. Perbandingan karakteristik negara maju dan berkembang dalam konteks adopsi IoT. Negara yang menjadi sampel (Belanda, Amerika Serikat, Jepang, India, dan Indonesia) pemilihan berdasarkan representasi karakteristik teknologi tinggi, *precision agriculture*, robotika, *smallholder farming*, dan *emerging IoT*). Data dikumpulkan menggunakan database jurnal ilmiah internasional dan nasional (Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore, Springer, DOAJ, Google Scholar). Dokumen kebijakan dan laporan resmi (FAO, World Bank, Kementerian Pertanian, lembaga riset nasional). Artikel ilmiah primer yang relevan dengan tema IoT di pertanian pada tahun 2018–sampai 2025. Gambar dan ilustrasi implementasi IoT sebagai data pendukung visual. Artikel membahas IoT dalam konteks pertanian. Terdapat data empiris, model implementasi, atau studi kasus negara.

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan analisis tematik (*Thematic Analysis*) Digunakan untuk mengidentifikasi pola, tema, dan kategori yang muncul, meliputi jenis teknologi IoT yang digunakan bidang penerapan (*greenhouse*, irigasi, livestock, drone) Tantangan teknis, ekonomi, sosial, dan regulasi. *Cross-country comparative analysis*, digunakan untuk membandingkan tingkat kemajuan IoT per negara tantangan utama tiap negara faktor pendukung keberhasilan implementasi. Untuk menjaga kredibilitas hasil penelitian, dilakukan triangulasi sumber (jurnal, laporan resmi, dan dokumen kebijakan). *Cross-check* antar temuan dari beberapa artikel dan negara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

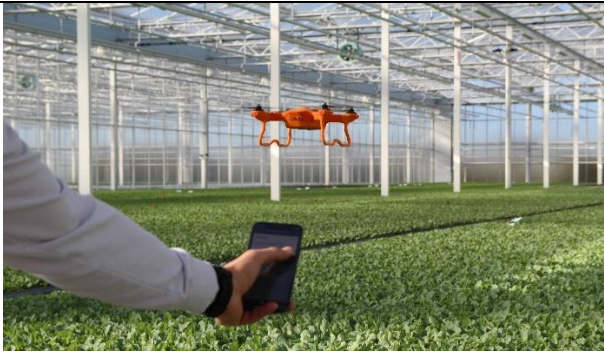
Secara umum keberadaan IoT berperan dalam bidang pertanian adalah pemantauan lahan dan tanaman sensor IoT dapat memantau kondisi tanah, suhu lingkungan, kelembapan udara, serta tingkat cahaya. Manajemen air dan irigasi cerdas sistem irigasi otomatis mengatur pengairan berdasarkan kebutuhan tanaman. Pemantauan kesehatan tanaman dan hama kamera dan sensor mendeteksi gejala penyakit secara dini. Manajemen kesehatan hewan ternak IoT melacak kondisi tubuh, pola makan, dan lokasi ternak. Pengendalian mesin dan peralatan pertanian seperti traktor, drone, dan alat pemupukan bisa dikendalikan otomatis atau jarak jauh. Pengambilan keputusan berbasis datayang bersifat *real-time* membantu petani menentukan waktu tanam, panen, dan pemupukan, berikut implementasi IoT di beberapa negara.

1. Belanda

Belanda dikenal sebagai salah satu negara dengan sistem pertanian berteknologi tinggi yang telah mengintegrasikan konsep smart farming secara masif, khususnya melalui pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada sistem greenhouse pintar. Teknologi ini memungkinkan pengendalian suhu, kelembapan, dan konsentrasi CO₂ secara otomatis untuk menciptakan iklim mikro yang optimal bagi pertumbuhan tanaman. Penerapan otomatisasi dan IoT pada greenhouse terbukti mampu meningkatkan efisiensi produksi serta kualitas hasil pertanian secara signifikan (Setyawan et al., 2024). Selain itu, sistem penyiraman presisi berbasis sensor kelembapan tanah telah banyak digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan air dan nutrisi tanaman. Sistem ini mampu menyesuaikan kebutuhan air tanaman secara real-time sehingga mengurangi pemborosan sumber daya dan meningkatkan efisiensi biaya operasional. Penelitian Apriyani et al. (2025) pada greenhouse berbasis IoT menunjukkan bahwa penggunaan sensor tanah dan kontrol otomatis mampu meningkatkan produktivitas tanaman serta stabilitas lingkungan tumbuh.

Penggunaan drone dan kamera multispektral juga menjadi bagian penting dalam pertanian presisi modern. Teknologi ini digunakan untuk mendeteksi kesehatan tanaman, tingkat stres, serta kualitas pertumbuhan secara non-destruktif. Pendekatan pertanian presisi berbasis sensor dan data digital ini sejalan dengan konsep pertanian cerdas yang mulai diadopsi di berbagai negara, termasuk Indonesia (Bafdal & Ardiansah, 2022). Keberhasilan Belanda dalam mengintegrasikan teknologi pertanian modern menjadikannya sebagai eksportir produk pertanian terbesar kedua di dunia, meskipun memiliki keterbatasan luas wilayah. Hal ini menegaskan bahwa pemanfaatan teknologi lebih menentukan produktivitas dibandingkan luas lahan semata. Transformasi serupa juga mulai diterapkan di Indonesia melalui pengembangan smart greenhouse dan urban farming berbasis IoT yang terbukti meningkatkan efisiensi energi dan hasil produksi (Sugiarto & Yogatama, 2024).

Dari sisi energi, pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya pada sistem pertanian modern menunjukkan potensi penghematan biaya yang signifikan. Baeza et al. (2019) menyebutkan bahwa penggantian sumber energi konvensional dengan energi surya mampu menurunkan biaya energi hingga 40–60%. Temuan ini sejalan dengan penelitian transformasi kebun hidroponik berbasis IoT di Indonesia yang menunjukkan peningkatan efisiensi energi dan keberlanjutan sistem pertanian (Sugiarto & Yogatama, 2024). Lebih lanjut, pertumbuhan tanaman yang menerapkan teknologi smart farming terbukti lebih optimal dibandingkan sistem konvensional. Selain meningkatkan hasil produksi, biaya pemeliharaan juga menjadi lebih hemat dan pengelolaan pertanian menjadi lebih efektif. Hal ini diperkuat oleh Saputra (2022) yang menyatakan bahwa penerapan teknologi pertanian pintar memberikan dampak positif terhadap efisiensi biaya, ketepatan pengelolaan lingkungan tumbuh, serta peningkatan kualitas hasil pertanian.

	
Picture 1. Autonomous drone sees plants actually growing in greenhouses	Picture 2. Smart greenhouses: technology for modern agriculture
https://share.google/images/MfnupRqcl4XiFcJY6	https://share.google/images/cBO8N3ELnFRXAeuxi

2. Amerika Serikat

Penerapan teknologi smart farming di Amerika Serikat dilakukan melalui konsep precision agriculture yang didukung oleh satelit dan Internet of Things (IoT), seperti sensor tanah dan pemetaan digital untuk menentukan dosis pupuk serta kebutuhan air tanaman secara presisi. Pendekatan pertanian presisi berbasis data ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan input produksi dan mengurangi pemborosan sumber daya (Bafdal & Ardiansah, 2022). Selain itu, penggunaan traktor otonom tanpa sopir dan sistem smart barn untuk memantau kesehatan ternak secara otomatis meningkatkan efektivitas serta efisiensi operasional pertanian modern. Otomatisasi dan pemanfaatan data real-time memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat dalam pengelolaan pertanian skala besar (Setyawan et al., 2024).

Implementasi teknologi smart farming secara terpadu dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk hingga 30–40%, sejalan dengan temuan penelitian pertanian presisi berbasis IoT yang menunjukkan penurunan input produksi tanpa menurunkan hasil panen (Siskandar et al., 2020). Menurut Adi et al. (2024), teknologi digital, sistem otomatisasi, dan pemanfaatan data merupakan elemen utama dalam pertanian modern (smart farming) yang tidak hanya meningkatkan produktivitas dan efisiensi, tetapi juga mendukung terciptanya sistem pertanian yang lebih berkelanjutan dan adaptif terhadap berbagai tantangan global.



Picture 3. Technology smart barn

<https://share.google/images/YOFIu7jtiyDJ4nC5d>



Picture 4. Autonomous tractor

<https://share.google/images/MjCFMK0GxQg7buiOY>

3. Jepang

Teknologi smart farming di Jepang telah memanfaatkan Internet of Things (IoT) sebagai solusi terhadap permasalahan kekurangan tenaga kerja dan penuaan petani. Penerapan robot pemanen, drone penyemprot pestisida, serta sistem smart farming cloud yang menyimpan dan menganalisis data pertanian memungkinkan rekomendasi pengelolaan lahan dilakukan secara otomatis. Pemanfaatan IoT tersebut berperan penting dalam menjaga stabilitas produksi pangan, khususnya tanaman padi dan jagung, meskipun jumlah petani terus menurun (Nauli, 2025).

Penerapan teknologi IoT dalam pertanian cerdas terbukti mampu meningkatkan produktivitas pertanian sekitar 20–30%, sekaligus menekan penggunaan air dan pestisida secara signifikan melalui pengelolaan input yang lebih presisi (Nauli, 2025; Bafdal & Ardiansah, 2022). Hal ini sejalan dengan temuan penelitian nasional yang menyatakan bahwa integrasi sensor, otomasi, dan analisis data dalam smart farming tidak hanya meningkatkan hasil produksi, tetapi juga mendukung efisiensi sumber daya dan keberlanjutan pertanian (Setyawan et al., 2024). Dengan demikian, pemanfaatan IoT dalam smart farming menjadi pendekatan strategis untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian di era digital.



Picture 5. Robot agriculture

<https://share.google/images/KTaGwbFA3XUswopxl>

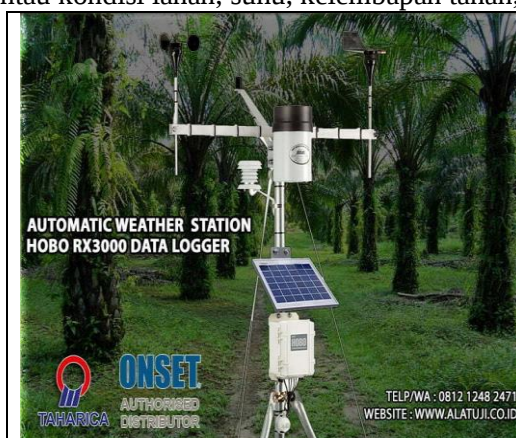


Picture 6. Smart cloud farming

<https://share.google/images/EsaK8d1fOrSkPFLRt>

4. India

Aplikasi *smart farming* di Negara India menggunakan IoT untuk membantu petani kecil. Aplikasi berbasis IoT memberikan informasi cuaca, rekomendasi pupuk, dan waktu panen. Sensor tanah murah digunakan di lahan kecil untuk menentukan kebutuhan irigasi. Beberapa daerah menerapkan irigasi otomatis berbasis kelembapan tanah. Hasilnya, terjadi peningkatan produktivitas padi dan gandum di beberapa wilayah. Menurut Sushitha *et al*, (2022). Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan teknologi canggih seperti sensor kelembapan dan suhu, GPS, citra satelit udara, serta sensor prediksi curah hujan tidak hanya menjadikan kegiatan bertani lebih menguntungkan, tetapi juga lebih ramah lingkungan, aman, dan efisien. Sektor Pertanian merupakan penopang utama perekonomian di India dan berperan besar dalam pertumbuhan PDB negara tersebut. Menjelang tahun 2050, populasi dunia diperkirakan mencapai 9,7 miliar jiwa, sehingga produksi pangan global harus meningkat sekitar 70 persen. Namun, praktik pertanian tradisional semakin tidak efisien dan kurang dapat diandalkan akibat berbagai permasalahan seperti degradasi tanah, keterbatasan air, kekurangan nutrisi, lemahnya infrastruktur pendukung, kehilangan hasil pascapanen, serta ketimpangan akses informasi. Perubahan iklim yang semakin memburuk bahkan menjadi tantangan terbesar yang dihadapi sektor ini. *smart farming* atau pertanian digital kini dianggap sebagai pendekatan yang lebih berkelanjutan, karena menerapkan berbagai teknologi canggih seperti *Internet of Things* (IoT), robotika, kecerdasan buatan (AI), *drone*, dan big data untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas hasil pertanian sekaligus mengurangi kebutuhan tenaga kerja manusia. Pendekatan ini mencakup penggunaan sensor dan sistem irigasi otomatis untuk memantau kondisi lahan, suhu, kelembapan tanah, tingkat pH (Pal, D., and Joshi, S, 2023).



Picture. 7. Weather station

<https://share.google/images/rskf2RTlMWCTIjyxA>



Picture 8. Water irrigation

<https://share.google/images/GnRSoloVjzteouEuv>

5. Indonesia

Penggunaan smart farming di Indonesia mulai berkembang melalui penerapan pertanian digital, khususnya pada sistem hidroponik dan greenhouse urban farming yang memanfaatkan sensor cahaya, suhu, dan pH untuk mengoptimalkan kondisi pertumbuhan tanaman. Selain itu, sistem irigasi tetes otomatis pada komoditas hortikultura telah diterapkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air, sedangkan pemantauan kondisi tambak udang berbasis IoT (water quality monitoring) digunakan untuk mengontrol parameter kualitas air secara real-time guna menekan risiko kegagalan produksi (Bafdal & Ardiansah, 2022; Siskandar et al., 2020).

Meskipun masih berada pada tahap pengembangan, penerapan IoT menunjukkan potensi besar dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Menurut Halawa (2024), kehadiran teknologi pertanian cerdas mampu membuat kegiatan budidaya di Indonesia menjadi lebih efektif dan efisien, khususnya dalam menentukan jumlah produksi dan kebutuhan input. Selain meringankan beban kerja petani, teknologi smart farming juga dinilai mampu menarik minat generasi muda untuk berwirausaha di sektor pertanian, sehingga berkontribusi terhadap keberlanjutan dan perkembangan pertanian nasional.

Pada komoditas kopi, Mulyono et al. (2022) merumuskan berbagai teknologi smart farming yang berpotensi diterapkan di Indonesia, meliputi pengendalian mutu biji kopi, pemantauan iklim, antisipasi organisme pengganggu tanaman, pengolahan hasil, perencanaan produksi, serta pemanfaatan limbah kopi. Berdasarkan kesiapan infrastruktur dan kebutuhan implementasi teknologi, Pulau Jawa menjadi wilayah yang paling potensial untuk penerapan smart farming pada tanaman kopi karena didukung oleh infrastruktur telekomunikasi yang memadai, luas lahan, serta volume produksi kopi yang relatif besar.



Picture. 9. Greenhouse farming

<https://share.google/images/N6igYaVQieedO7FF0>



Picture 10. Drip irrigation

<https://share.google/images/hdmkuih4aVP0YvVhk>

KESIMPULAN

Penerapan Internet of Things (IoT) dalam smart farming berperan penting dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian melalui pemantauan kondisi lahan dan tanaman, manajemen irigasi cerdas, deteksi dini hama dan penyakit, pengelolaan ternak, serta pengambilan keputusan berbasis data secara real-time. Implementasi smart farming di berbagai negara seperti Belanda, Amerika Serikat, Jepang, dan India menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital, otomasi, dan analisis data mampu mengoptimalkan penggunaan sumber daya serta meningkatkan hasil pertanian secara signifikan. Di Indonesia, smart farming mulai berkembang pada sistem hidroponik, greenhouse urban farming, irigasi tetes otomatis, pemantauan tambak udang, serta pengelolaan komoditas kopi. Meskipun masih dalam tahap pengembangan, teknologi ini memiliki potensi besar dalam mendukung ketahanan pangan nasional, meningkatkan

efisiensi budidaya, dan menarik minat generasi muda ke sektor pertanian. Dengan dukungan infrastruktur, peningkatan kapasitas sumber daya manusia, dan kebijakan yang tepat, penerapan smart farming berbasis IoT dapat menjadi strategi utama dalam mewujudkan pertanian yang berkelanjutan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, B., Santoso, R., & Kurniawan, A. (2024). Transformasi pertanian digital menuju smart farming berkelanjutan. *Jurnal Teknologi Pertanian Indonesia*, 16(1), 45–56.
- Alam, A. (2020). Challenges and opportunities of IoT-based smart agriculture in developing countries. *Journal of Agricultural Informatics*, 11(3), 1–12. <https://doi.org/10.17700/jai.2020.11.3.563>
- AlSobeh, A., & Magableh, M. (2018). Data governance, privacy, and security issues in IoT-based agriculture. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(10), 245–252. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.091033>
- Apriyani, M. E., Ismail, A., & Andini, A. W. (2025). Sistem monitoring budidaya tanaman pada greenhouse berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 12(1), 87–96.
- Ayyub, M. (2023). Integration of robotics and IoT in Japanese smart agriculture systems. *Asian Journal of Agricultural Technology*, 19(2), 45–56.
- Baeza, E. J., Pérez, J., & Martínez, L. (2019). Energy efficiency and solar integration in smart greenhouse systems. *Renewable Energy*, 138, 1102–1112. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.056>
- Bafdal, N., & Ardiansah, I. (2022). Implementasi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan lingkungan pertanian. *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer, dan Aplikasinya*, 4(2), 89–98.
- Halawa, D. N. (2024). Peran teknologi smart farming dalam meningkatkan efisiensi dan daya tarik sektor pertanian Indonesia. *Jurnal Teknologi Pertanian Indonesia*, 16(2), 101–112.
- Megawati, D. (2021). Tantangan adopsi teknologi pertanian digital berbasis IoT pada petani kecil di Indonesia. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 15(2), 89–101.
- Mulyono, S., Nugroho, A., & Prasetyo, E. (2022). Pemetaan peluang penerapan smart farming pada komoditas kopi di Indonesia. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 10(2), 123–134. <https://doi.org/10.19028/jtep.010.2.123>
- Nauli, D. (2025). Penerapan smart farming berbasis Internet of Things dalam meningkatkan produktivitas pertanian modern. *Jurnal Nasional Teknologi Pertanian*, 14(1), 33–44.
- Pal, D., & Joshi, S. (2023). Digital agriculture and IoT-based irrigation systems for sustainable farming. *International Journal of Smart Agriculture*, 7(1), 33–44.
- Pratama, R., Nugraha, A., & Siregar, M. (2025). Keamanan siber dan tantangan implementasi IoT pada pertanian presisi di Amerika Serikat. *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi*, 14(1), 55–67.
- Saputra, Z. M. M. (2022). Dampak penerapan smart farming terhadap efisiensi biaya dan pertumbuhan tanaman. *Jurnal Nasional Teknologi Pertanian*, 11(3), 145–154.
- Setya Hadi, R. (2025). Tata kelola dan interoperabilitas data IoT pada sistem hortikultura modern di Belanda. *Jurnal Teknologi Pertanian Terapan*, 8(1), 21–32.
- Setyawan, D. Y., Warsito, W., & Marjunus, R. (2024). Automasi dan Internet of Things (IoT) pada pertanian cerdas: Tinjauan artikel pada jurnal terakreditasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK)*, 1, 233–242.

- Shiddiqi, A., Rahman, F., & Karim, M. (2020). Adoption barriers of IoT-based smart agriculture: A global review. *Agricultural Systems*, 176, 102672. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102672>
- Siskandar, R., Fadhil, M. A., & Kusumah, B. R. (2020). Sistem monitoring dan irigasi otomatis berbasis Internet of Things pada tanaman hortikultura. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(2), 85–94.
- Sugiarto, I., & Yogatama, A. (2024). Transformasi kebun hidroponik konvensional menjadi smart urban farming berbasis IoT yang hemat energi. *Jurnal Inovasi Hasil Pengabdian Masyarakat*, 3(1), 55–64.
- Sushitha, K., Reddy, P. S., & Kumar, V. (2022). Smart farming technologies for sustainable agriculture in India. *International Journal of Agricultural Engineering*, 9(4), 211–223.