

PERAN *SMART FARMING*, IoT, DAN PERTANIAN PRESISI DALAM MEWUJUDKAN KETAHANAN PANGAN BERKELANJUTAN

Putri Srimulia Ningsi¹

Teknik Pertanian dan Biosistem, Teknologi Pertanian, Padang, Indonesia
putrisrimulianingsi19@email.com

ARTICLE INFO

Article History:

Recieved: 2025

Revised: 2025

Accepted: 2025

Keyword:

Agricultural innovation;
Smart farming;
Internet of Things (IoT);
Precision agriculture;
Food security.

ABSTRACT

Agricultural innovation plays a vital role in ensuring food security and sustainability amidst challenges such as climate change, limited land, and declining agricultural labor. This review article synthesizes findings from ten selected studies published between 2021 and 2025, focusing on the application of modern technologies including smart farming, Internet of Things (IoT), automation, precision agriculture, and controlled environment systems. The analysis highlights how these technologies improve resource efficiency, enhance productivity, and support environmentally sustainable practices. Smart farming and IoT enable real-time monitoring of soil and climate conditions, while automation and precision agriculture contribute to optimizing input use such as water, fertilizer, and pesticides. Moreover, the integration of technology with sustainability principles demonstrates that future agricultural development requires collaboration among academia, industry, and government. Despite significant benefits, challenges remain in terms of high investment costs, limited digital infrastructure, and farmer readiness. Overall, technological innovation emerges as both a technical and social instrument for strengthening national food resilience and promoting sustainable agricultural systems.

How to Cite:

Ningsi, P.S. (2025). Peran *Smart Farming*, IoT, dan Pertanian Presisi dalam Mewujudkan Ketahanan Pangan Berkelanjutan. *Interface: Journal of Multidiciplinary*, 1(1), 22- 36

INTRODUCTION

Pertanian di Indonesia menghadapi tantangan yang semakin kompleks seiring dengan meningkatnya kebutuhan pangan, perubahan iklim global, keterbatasan lahan, dan berkurangnya jumlah tenaga kerja di sektor pertanian. Kondisi ini menuntut adanya transformasi dalam cara bercocok tanam yang tidak hanya berfokus pada peningkatan hasil produksi, tetapi juga pada efisiensi penggunaan sumber daya dan keberlanjutan lingkungan. Perkembangan teknologi, terutama di era Revolusi Industri 4.0, membuka peluang baru untuk memperkuat daya saing sektor pertanian melalui penerapan teknologi digital, sensor, otomasi, hingga pengelolaan data berbasis kecerdasan buatan (Febrianti et al., 2021).

Perubahan signifikan mulai terlihat dengan hadirnya konsep *smart farming* yang mengintegrasikan teknologi digital dengan praktik pertanian tradisional. Penerapan sistem ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi pemupukan, pengairan, dan pemantauan kesehatan tanaman, sekaligus memberi peluang bagi generasi muda untuk tertarik kembali ke dunia pertanian (Halawa, 2024). Dalam beberapa studi, teknologi presisi bahkan terbukti memperbaiki manajemen lahan padi dengan cara mengoptimalkan dosis pupuk dan irigasi, meskipun biaya investasi awal yang relatif tinggi masih menjadi kendala (Tulungen, 2024).

Kemajuan lain tampak pada pemanfaatan *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan pertanian secara real-time. Sistem berbasis sensor tanah dan iklim terbukti mampu menurunkan konsumsi air melalui otomatisasi irigasi serta menjaga kelembapan yang stabil untuk tanaman (Sari et al., 2024; Wahyudi et al., 2025). Bahkan dalam skala kecil seperti usaha hidroponik, integrasi IoT berhasil membantu pelaku UMKM dalam menjaga kualitas produksi sekaligus mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual (Firmansyah et al., 2024).

Selain pada aspek teknis, pembahasan mengenai masa depan pertanian juga menyoroti pentingnya integrasi antara inovasi teknologi dengan keberlanjutan. Penggunaan IoT untuk mendukung pengelolaan sumber daya berkelanjutan telah menunjukkan hasil positif, meski kesiapan petani dan ketersediaan infrastruktur digital masih menjadi tantangan besar (Sari, 2025). Kajian tentang tren pertanian masa depan juga menekankan perlunya kolaborasi antara akademisi, industri, dan pemerintah dalam mengembangkan teknologi yang adaptif, seperti *controlled environment agriculture* dan pendekatan agroekologi berbasis teknologi (Efendi et al., 2022).

Upaya modernisasi tidak selalu mengharuskan penggunaan teknologi berbiaya tinggi. Beberapa penelitian menegaskan bahwa penerapan metode

sederhana seperti *System of Rice Intensification (SRI)* yang dipadukan dengan inovasi lokal mampu meningkatkan hasil panen padi tanpa ketergantungan besar pada pupuk kimia. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan pertanian masa depan tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga kemampuan menyesuaikan inovasi dengan kondisi sosial, ekonomi, dan budaya petani. Dengan melihat keragaman hasil penelitian yang ada, review ini berupaya menyajikan gambaran menyeluruh mengenai arah perkembangan teknologi pertanian dan implikasinya bagi keberlanjutan pangan nasional.

METHODS

Metode penelitian yang digunakan dalam artikel ini adalah telaah literatur atau *systematic review* yang berfokus pada kajian teknologi pertanian dari sepuluh artikel ilmiah terpilih. Tujuan penelitian ini adalah merangkum, mengkritisi, dan membandingkan berbagai pendekatan yang digunakan dalam penerapan teknologi pertanian, baik dalam skala laboratorium maupun lapangan. Rumusan masalah yang diangkat dalam kajian ini mencakup tiga hal pokok: bagaimana teknologi pertanian berkembang dalam ranah mekanisasi, digitalisasi, dan inovasi budidaya; sejauh mana teknologi tersebut berdampak terhadap produktivitas dan keberlanjutan pertanian; serta tantangan apa saja yang masih dihadapi dalam implementasinya.

Ruang lingkup penelitian ini terbatas pada publikasi ilmiah yang terbit antara tahun 2021 hingga 2025. Pembatasan rentang waktu tersebut dilakukan untuk memastikan bahwa hasil telaah merepresentasikan kondisi terbaru dari perkembangan teknologi pertanian. Artikel yang dipilih mencakup kajian mekanisasi berbasis mesin modern, sistem pertanian presisi, pemanfaatan sensor dan *Internet of Things*, serta strategi budidaya berkelanjutan yang diintegrasikan dengan teknologi. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian yang menekankan pada pentingnya pemutakhiran inovasi guna menjawab tantangan ketahanan pangan.

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan penelusuran sistematis terhadap basis data publikasi ilmiah yang dapat diakses secara terbuka maupun melalui repositori perguruan tinggi. Proses seleksi dilakukan melalui pembacaan abstrak, penilaian keterkaitan tema dengan teknologi pertanian, serta analisis kedalaman informasi yang disajikan. Artikel yang dinilai memiliki kedekatan topik dan kelengkapan metodologi dipilih sebagai sumber utama dalam telaah ini.

Teknik analisis data dilakukan melalui pendekatan naratif-kritis dengan membandingkan hasil temuan dari setiap publikasi. Data dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan tren umum, kemudian diolah secara komparatif guna menemukan kesamaan dan perbedaan dalam hasil penelitian. Beberapa

publikasi yang berbasis eksperimen lapangan, seperti kajian mengenai sistem irigasi otomatis berbasis sensor tanah, dikontraskan dengan publikasi yang lebih berfokus pada simulasi digital atau pengembangan perangkat lunak pertanian. Langkah ini dilakukan untuk memperoleh gambaran menyeluruh tentang relevansi masing-masing pendekatan.

Keabsahan informasi dalam artikel ini dijaga dengan cara membandingkan lebih dari satu sumber untuk setiap topik teknologi. Validitas isi diperkuat dengan melakukan triangulasi literatur, yakni menempatkan artikel dengan topik sejenis pada kelompok tertentu sebelum dianalisis keterhubungannya. Misalnya, penelitian tentang penerapan *precision farming* dipasangkan dengan kajian yang menyoroti IoT dalam manajemen air sehingga menghasilkan pemetaan lebih komprehensif tentang kontribusi teknologi digital terhadap efisiensi input pertanian.

Dengan metode semacam ini, artikel review diharapkan mampu menghadirkan sintesis yang tidak hanya bersifat ringkasan, tetapi juga dapat menjadi dasar pertimbangan dalam menentukan arah penelitian dan kebijakan pertanian berbasis teknologi pada masa mendatang.

RESULT AND DISCUSSION

***Smart Farming* untuk Generasi Pertanian Baru**

Smart farming diposisikan sebagai solusi pertanian modern yang memanfaatkan teknologi digital, khususnya sistem berbasis *Internet of Things* (IoT), untuk mendukung pemantauan dan pengendalian otomatis di lahan pertanian. Menurut Halawa (2024), penerapan pertanian cerdas ini memiliki dampak langsung pada peningkatan produktivitas dan efisiensi, sekaligus memperbaiki kondisi sosial ekonomi petani. Melalui akses data real-time mengenai cuaca, kelembaban tanah, serta kebutuhan nutrisi tanaman, petani dapat mengambil keputusan yang lebih tepat waktu dan berbasis informasi, sehingga mampu mengurangi pemborosan input seperti air, pupuk, dan pestisida.

Salah satu wujud nyata dari smart farming adalah pemanfaatan teknologi drone dalam aktivitas budidaya. Drone pertanian digunakan untuk penyemprotan pupuk dan pestisida dengan dosis yang lebih presisi serta dapat menjangkau area yang sulit dilalui secara manual. Teknologi ini tidak hanya menghemat tenaga kerja, tetapi juga meminimalkan risiko paparan pestisida terhadap petani. Rachmawati (2020) mencatat bahwa drone sprayer berkapasitas 20 liter mampu mengelola lahan hingga 1 hektar dengan efisiensi semprot mencapai 1,2 hektar per jam, yang berarti dapat meningkatkan produktivitas penyemprotan sekaligus menekan biaya operasional.

Selain untuk penyemprotan, drone juga digunakan dalam pemetaan lahan pertanian. Teknologi pemetaan berbasis drone memberikan citra resolusi tinggi yang membantu petani memahami kondisi aktual lahan, pola tanam, hingga

identifikasi area bermasalah. Data pemetaan ini terhubung dengan perangkat digital seperti smartphone atau komputer, sehingga dapat langsung dianalisis untuk mendukung strategi pengelolaan lahan. Yudha et al. (2022) bahkan menegaskan bahwa penggunaan drone Phantom 4 Pro V2.0 mampu menghasilkan peta tata ruang yang akurat dengan waktu terbang 30 menit serta jangkauan 7 km, menjadikannya solusi pemetaan yang efisien dan hemat biaya

Komponen penting lain dalam smart farming adalah sensor pertanian. Penggunaan sensor tanah dan cuaca, seperti *Soil & Weather Sensor* atau DHT22, memungkinkan pemantauan kelembaban, pH tanah, suhu udara, dan kadar air secara berkelanjutan. Data dari sensor ini ditampilkan secara real-time melalui aplikasi ponsel pintar, sehingga petani dapat mengetahui kondisi aktual lahan tanpa harus melakukan pengecekan manual. Muchtar et al. (2023) menambahkan bahwa sensor berbasis IoT tidak hanya mencatat kondisi lingkungan, tetapi juga dapat terhubung dengan sistem pengendalian otomatis, misalnya untuk mengaktifkan sistem irigasi atau penyemprotan pestisida saat ambang batas tertentu terlampaui

Teknologi smart farming juga mencakup sistem irigasi cerdas. Sistem ini menggunakan sensor untuk membaca tinggi muka air tanah, kelembaban, dan kondisi cuaca sebelum mengaktifkan atau menonaktifkan pompa irigasi secara otomatis. Menurut Rachmawati (2020), sistem irigasi berbasis mikrokontroler yang terhubung dengan *web server* dapat dioperasikan dari jarak jauh, sehingga efisiensi penggunaan air meningkat secara signifikan. Teknologi ini sangat relevan mengingat ancaman utama pertanian di Indonesia adalah keterbatasan sumber daya air dan ketergantungan pada pola hujan musiman

Tidak hanya berhenti pada tataran teknis, smart farming juga berperan dalam transformasi digital kelembagaan pertanian. Kehadiran *Agriculture War Room* (AWR) yang dikembangkan oleh Balitbangtan, misalnya, memungkinkan pemerintah memantau distribusi benih, serangan hama, serta kondisi produksi secara nasional. AWR menjadi pusat data terintegrasi yang menghubungkan petani dengan pemangku kebijakan, sehingga respons terhadap masalah pertanian dapat lebih cepat dan terukur. Tasya & Silvia (2024) menekankan bahwa platform informasi seperti Siscrop 1.0 juga mampu memberikan data real-time mengenai kondisi tanaman, cuaca, serta pergerakan pasar, yang pada akhirnya mendukung terciptanya sistem pertanian berkelanjutan

Aspek lain yang menarik dari smart farming adalah kemampuannya untuk menarik minat generasi muda agar terlibat dalam sektor pertanian. Halawa (2024) menegaskan bahwa teknologi digital dapat menjadikan pertanian lebih modern, efisien, dan menguntungkan, sehingga lebih relevan bagi kaum muda yang terbiasa dengan teknologi. Dengan demikian, smart farming bukan hanya sekadar strategi teknis untuk meningkatkan hasil, melainkan juga instrumen sosial yang mampu memperkuat regenerasi petani.

IoT dalam Monitoring dan Irigasi

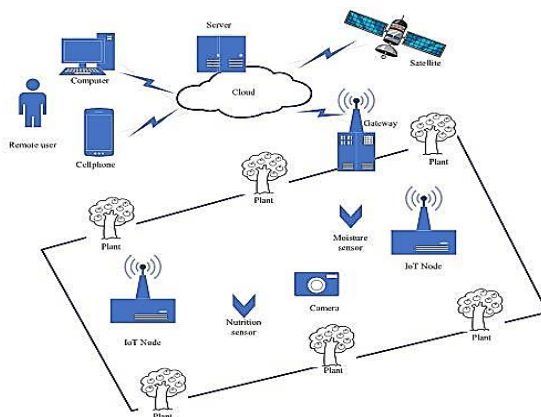
Pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem monitoring dan irigasi telah menjadi salah satu fokus penting dalam pengembangan teknologi pertanian modern. Menurut Sari et al. (2024), penerapan IoT di bidang pertanian memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, khususnya air. Sistem irigasi berbasis IoT memungkinkan petani untuk mengakses data real-time mengenai kelembapan tanah, suhu, curah hujan, dan ketinggian air di saluran irigasi. Informasi ini dapat diolah melalui mikrokontroler, seperti Arduino UnoR3 atau NodeMCU, untuk mengatur volume air yang dialirkan ke lahan sesuai kebutuhan aktual tanaman.

Penggunaan IoT dalam irigasi tidak hanya terbatas pada pengendalian debit air, tetapi juga mencakup pengelolaan otomatis pintu bendungan. Sensor kelembapan tanah, suhu, dan curah hujan bekerja terintegrasi dengan modul GSM serta motor servo yang berfungsi sebagai mekanisme buka-tutup pintu air. Dengan begitu, pasokan air dapat dikendalikan secara lebih presisi, sekaligus mengurangi risiko kelebihan atau kekurangan air di lahan pertanian. Sistem ini menampilkan data pada platform berbasis *web* atau aplikasi *smartphone*, sehingga dapat diakses dari jarak jauh tanpa perlu kehadiran langsung di lokasi.

Selain mendukung efisiensi penggunaan air, IoT juga terbukti bermanfaat dalam menjaga stabilitas lingkungan tumbuh tanaman. Misalnya, sensor kelembapan udara dan suhu yang terhubung ke sistem budidaya jamur tiram memungkinkan kontrol otomatis kelembapan dan suhu rumah budidaya. Dengan pengendalian berbasis data, kesalahan akibat fluktuasi iklim dapat ditekan seminimal mungkin. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi yang cukup tinggi, dengan *average error* kelembapan hanya sekitar 2,93% dan suhu 1,28%. Akurasi ini menegaskan keandalan teknologi IoT untuk diterapkan dalam skala pertanian nyata.

Teknologi IoT juga diterapkan untuk mendeteksi kesuburan tanah melalui sensor pH dan sensor kelembapan. Data yang diperoleh dari sensor-sensor tersebut dikirimkan secara real-time ke server dan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik pada *dashboard* aplikasi. Informasi ini memungkinkan petani untuk menentukan jenis tanaman yang sesuai dengan kondisi tanah, sekaligus menghindari praktik tanam yang kurang produktif. Pemanfaatan sistem ini pada perkebunan menunjukkan bahwa variasi kelembapan dan pH tanah pada kedalaman berbeda dapat dipetakan dengan akurat, sehingga keputusan pertanian menjadi lebih berbasis data.

Aspek lain yang menonjol dari integrasi IoT dalam irigasi adalah sistem penyiraman otomatis. Dengan memanfaatkan sensor kelembapan tanah yang dipadukan dengan algoritma logika *fuzzy*, alat ini dapat menentukan apakah tanaman perlu disiram dalam jumlah sedikit, sedang, atau banyak. Hasil pengujian membuktikan bahwa sistem mampu beradaptasi terhadap kondisi lingkungan dengan baik, misalnya menyiram tanaman saat kelembapan berada pada level rendah, namun tidak melakukan penyiraman jika kelembapan sudah mencukupi meskipun suhu tetap tinggi.



Gambar 1. 1 Konsep Penerapan IoT untuk Akuisisi dan Monitoring Data Tanaman

(Sumber: Efendi et al., 2022)

Integrasi Otomasi dan IoT

Integrasi teknologi otomasi dengan *Internet of Things* (IoT) dalam pertanian cerdas menempati posisi sentral dalam upaya transformasi pertanian modern. Setyawan et al. (2024) menegaskan bahwa otomasi dan IoT tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu, tetapi juga sebagai ekosistem teknologi yang mampu meningkatkan daya saing pertanian nasional. Kombinasi keduanya memungkinkan pengelolaan pertanian yang lebih presisi, mulai dari pengendalian irigasi, pemupukan, pemantauan iklim mikro, hingga manajemen budidaya dalam sistem *greenhouse*. Penerapan sistem berbasis IoT dan otomasi pada lahan terbatas bahkan terbukti mampu mendukung pertanian intensif di kawasan perkotaan.

Sensor merupakan komponen vital dalam integrasi otomasi dan IoT. Dari hasil review, sensor kelembaban tanah dan sensor DHT11 (suhu dan kelembaban udara) menjadi perangkat yang paling banyak digunakan. Hal ini dapat dimaklumi karena kedua parameter tersebut memiliki peran penting dalam menentukan keberhasilan budidaya tanaman. Informasi tentang kondisi tanah dan iklim mikro yang dihasilkan sensor dapat dihubungkan dengan sistem otomasi penyiraman, pendinginan, maupun pemupukan. Akurasi sensor terbukti tinggi, misalnya pada penelitian hidroponik yang mencatat tingkat ketelitian mencapai 98,1% untuk kelembaban tanah dan 98,8% untuk suhu.

Selain sensor, penggunaan *tools* IoT juga sangat dominan. Website monitoring dan aplikasi *Thingspeak* tercatat sebagai platform yang paling sering dimanfaatkan untuk menampilkan data sensor secara real-time. Melalui platform ini, petani atau operator sistem dapat memantau kondisi tanaman sekaligus mengendalikan perangkat pertanian dari jarak jauh. Meski begitu, penelitian menunjukkan bahwa belum banyak aplikasi yang dikembangkan secara independen dengan antarmuka ramah pengguna khusus untuk petani. Mayoritas sistem masih menggunakan aplikasi umum IoT, yang sering kali tidak sepenuhnya sesuai dengan kebutuhan di lapangan.

Integrasi otomasi dan IoT juga memungkinkan pengembangan sistem cerdas yang adaptif. Misalnya, penyiraman otomatis berbasis logika *fuzzy* yang diterapkan pada tanaman hias mampu menyesuaikan frekuensi dan volume air dengan tingkat kelembaban tanah. Begitu pula dalam sistem irigasi padi, penerapan IoT dengan protokol MQTT menunjukkan efisiensi distribusi air hingga 80% setelah diuji sebanyak 15 kali. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi antara sensor, algoritma pengendalian, dan otomasi perangkat mampu menghasilkan efisiensi yang tidak dapat dicapai dengan metode manual.

Kendati potensinya besar, integrasi otomasi dan IoT masih menghadapi sejumlah kendala teknis. Salah satunya adalah interoperabilitas perangkat dari berbagai produsen yang sering kali tidak kompatibel. Hambatan ini menimbulkan masalah dalam pengintegrasian sistem, terutama ketika petani ingin menggunakan lebih dari satu jenis sensor atau perangkat otomasi. Selain itu, keterbatasan akses internet di pedesaan juga masih menjadi penghalang besar bagi implementasi IoT. Beberapa penelitian mencoba mengatasi hal ini dengan mengintegrasikan protokol MQTT dan HTTP untuk meningkatkan stabilitas koneksi, namun tingkat keberhasilan masih berkisar 60–80%.

Melihat berbagai temuan ini, jelas bahwa integrasi otomasi dan IoT dalam pertanian cerdas tidak hanya sekadar tren, melainkan juga bagian dari strategi jangka panjang untuk menghadapi keterbatasan sumber daya dan tantangan ketahanan pangan. Ke depan, pengembangan aplikasi khusus pertanian yang lebih ramah pengguna serta standardisasi perangkat akan menjadi kunci untuk memperluas adopsi teknologi ini di berbagai skala usaha tani.

Pertanian Presisi untuk Tanaman Padi

Pertanian presisi semakin mendapat perhatian dalam sistem produksi padi di Indonesia karena potensinya dalam meningkatkan efisiensi penggunaan input sekaligus menjaga keberlanjutan lingkungan. Menurut Tulungen (2024), teknologi ini mengintegrasikan perangkat digital dan sistem monitoring berbasis sensor untuk memandu petani dalam mengambil keputusan budidaya yang lebih tepat. Dengan bantuan sensor tanah, drone, dan sistem irigasi presisi, petani dapat mengetahui kondisi spesifik lahan secara real time sehingga pemupukan dan penyiraman tidak lagi dilakukan secara seragam, melainkan disesuaikan dengan kebutuhan aktual tanaman.

Salah satu manfaat utama dari pendekatan ini adalah penghematan input produksi. Sensor kelembaban tanah, misalnya, memungkinkan pemberian air yang tepat waktu sehingga mengurangi pemborosan sumber daya air dan energi. Demikian pula, teknologi ini membantu mengoptimalkan penggunaan pupuk dengan mengukur kandungan unsur hara secara detail, sehingga pemupukan dapat dilakukan secara efisien. Penelitian Pan et al. (2020) dan Liu et al. (2018) yang dirangkum Tulungen (2024) juga menegaskan bahwa penerapan pertanian presisi mampu menekan kerugian akibat hama dan penyakit, karena deteksi dini dapat dilakukan dengan bantuan citra drone maupun sensor lapangan.

Namun, penerapannya tidak lepas dari berbagai tantangan. Tulungen (2024) mencatat bahwa tingginya biaya awal pengadaan peralatan seperti traktor dengan GPS, drone, atau sensor digital menjadi hambatan utama bagi petani, khususnya petani kecil. Keterbatasan akses terhadap pelatihan dan pendampingan teknis semakin memperlebar kesenjangan adopsi teknologi. Faktor sosial-budaya, termasuk keterikatan petani pada praktik tradisional dan resistensi terhadap perubahan, juga menjadi aspek penting yang mempengaruhi penerimaan teknologi ini di tingkat lapangan. Oleh karena itu, dukungan kelembagaan dari pemerintah, sektor swasta, dan lembaga riset diperlukan agar teknologi presisi dapat diakses secara lebih merata.

Dari sisi produktivitas, hasil penelitian Zhang et al. (2020) menunjukkan bahwa petani padi yang menerapkan teknologi presisi mampu memperoleh hasil panen lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Selain itu, kualitas hasil panen meningkat sehingga memungkinkan produk dijual dengan harga yang lebih baik di pasar (Hidayat et al., 2018). Dengan demikian, pertanian presisi tidak hanya berpengaruh pada peningkatan efisiensi teknis, tetapi juga berimplikasi pada peningkatan pendapatan petani.

Di samping manfaatnya, teknologi presisi juga memiliki dampak lingkungan yang signifikan. Penggunaan pupuk dan pestisida secara lebih terukur mampu mengurangi pencemaran tanah dan air, serta meminimalkan degradasi lahan. Penelitian Susanto et al. (2021) bahkan menunjukkan bahwa sistem irigasi tetes dan manajemen input berbasis sensor dapat menekan erosi tanah sekaligus menjaga ketersediaan air tanah. Meski begitu, aspek lain seperti emisi karbon dari produksi dan penggunaan perangkat teknologi juga harus diperhatikan agar penerapannya tetap sejalan dengan prinsip keberlanjutan (Liu et al., 2021). Tulungen (2024) memberikan gambaran bahwa teknologi pertanian presisi berpotensi besar menjadi salah satu pendorong utama dalam modernisasi sistem produksi padi di Indonesia. Dengan strategi adopsi yang terarah, teknologi ini dapat menjadi kunci untuk memperkuat ketahanan pangan nasional sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT di *Greenhouse*

Penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sistem irigasi *greenhouse* menjadi salah satu inovasi penting untuk menjawab tantangan efisiensi penggunaan air di sektor pertanian modern. Wahyudi et al. (2025) mengembangkan sistem irigasi otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor kelembaban tanah, sensor suhu, serta kelembaban udara. Data yang diperoleh dari sensor tersebut diolah dan ditransmisikan secara *real-time* melalui platform *ThingSpeak*, sehingga kondisi lingkungan dalam *greenhouse* dapat dipantau secara langsung baik di lokasi maupun dari jarak jauh.

Sistem ini dirancang untuk menyiram tanaman hanya ketika kelembaban tanah berada di bawah ambang batas tertentu, yaitu sekitar 30%. Dengan demikian, penggunaan air menjadi lebih efisien tanpa mengurangi kualitas pertumbuhan tanaman. Hasil pengujian menunjukkan adanya penghematan air

hingga 30% dibandingkan penyiraman manual, disertai peningkatan produktivitas tanaman sebesar 15–20% karena lingkungan yang lebih terkontrol. Selain itu, penggunaan energi listrik juga lebih hemat karena pompa hanya aktif ketika diperlukan.

Selain memberikan efisiensi teknis, penerapan irigasi berbasis IoT juga berimplikasi pada aspek sosial dan ekonomi. *Greenhouse* dengan sistem otomatis lebih menarik bagi generasi muda karena menggabungkan teknologi digital dengan praktik agrikultur, sehingga berpotensi mendorong regenerasi petani. Namun, implementasi teknologi ini masih menghadapi kendala, seperti keterbatasan jangkauan sensor dalam area luas, kebutuhan konektivitas internet yang stabil, serta biaya investasi awal yang cukup besar. Oleh karena itu, perencanaan matang terkait infrastruktur jaringan dan strategi pembiayaan menjadi faktor kunci dalam penerapan skala besar.

Kendati terdapat tantangan, sistem irigasi otomatis berbasis IoT menawarkan prospek yang menjanjikan dalam mewujudkan pertanian cerdas dan berkelanjutan. Dengan pengelolaan air yang lebih presisi, teknologi ini berkontribusi pada efisiensi sumber daya sekaligus meningkatkan daya saing produk pertanian di pasar.

IoT untuk Pertanian Berkelanjutan

Dalam beberapa tahun terakhir, *Internet of Things* (IoT) mulai dipandang sebagai pilar penting bagi pertanian berkelanjutan, terutama di wilayah agraris yang menghadapi tekanan besar akibat perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya. Kajian yang dilakukan di Kabupaten Lahat oleh Sari et al. (2025) menunjukkan bahwa teknologi IoT berperan dalam memantau kelembaban tanah, suhu, curah hujan, hingga kualitas lingkungan secara real-time. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diolah menjadi informasi yang dapat digunakan untuk mengatur irigasi, pemupukan, maupun perlindungan tanaman secara lebih presisi.

IoT dinilai mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya alam. Sebagai contoh, sensor kelembaban tanah memungkinkan sistem irigasi hanya aktif ketika kondisi tanah benar-benar membutuhkan air, sehingga mengurangi pemborosan air hingga sepertiga dari pola irigasi konvensional. Demikian pula, penggunaan pupuk dapat lebih terukur karena kebutuhan tanaman dipantau berdasarkan kondisi aktual di lapangan. Selain mengurangi beban biaya produksi, pendekatan ini juga membantu menekan dampak negatif pada lingkungan, seperti pencemaran tanah dan air akibat penggunaan bahan kimia berlebihan.

Meski begitu, implementasi IoT tidak lepas dari berbagai tantangan. Kajian di Lahat menemukan bahwa sekitar 65% petani masih memiliki pemahaman rendah tentang teknologi ini. Hambatan lainnya meliputi keterbatasan infrastruktur jaringan internet, biaya perangkat yang cukup tinggi, serta rendahnya kesiapan teknis petani dalam mengoperasikan sistem IoT. Bahkan sebagian besar petani merasa pelatihan yang mereka terima masih kurang efektif,

sehingga mereka kesulitan melakukan perawatan maupun penyesuaian perangkat setelah dipasang.

Selain aspek teknis, isu tata kelola data juga menjadi perhatian. Pemanfaatan IoT memunculkan pertanyaan mengenai kepemilikan data, keamanan informasi, dan perlindungan privasi petani. Hal ini penting, karena data pertanian yang dikumpulkan secara masif berpotensi menjadi aset berharga tidak hanya bagi petani, tetapi juga bagi pihak ketiga yang terlibat dalam rantai pasok pangan. Tanpa regulasi yang jelas, risiko penyalahgunaan data bisa muncul dan merugikan petani sebagai pelaku utama.

Meskipun tantangan tersebut cukup signifikan, peluang yang ditawarkan IoT tetap besar. Teknologi ini mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya dalam ketahanan pangan, pengurangan kemiskinan, dan pelestarian lingkungan. Bagi petani yang sudah menerapkannya, manfaat langsung terasa pada penghematan air, pengurangan penggunaan pupuk kimia, serta peningkatan kualitas tanah. Lebih jauh lagi, IoT dapat menjadi sarana pemberdayaan karena membuka akses petani pada data dan informasi yang sebelumnya sulit diperoleh.

Hidroponik UMKM dengan IoT

Hidroponik menjadi salah satu pilihan strategis bagi pelaku Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) dalam menjawab keterbatasan lahan dan meningkatnya kebutuhan pangan di kawasan perkotaan. Model pertanian tanpa tanah ini memungkinkan produksi sayuran sepanjang tahun, bebas dari ketergantungan musim, dan relatif lebih sehat karena minim penggunaan pestisida. Namun, salah satu kendala yang sering dihadapi oleh UMKM adalah manajemen nutrisi yang masih dilakukan secara konvensional dan tidak terukur, sehingga memengaruhi efisiensi produksi.

Firmansyah et al. (2024) melalui program inkubasi bisnis di Universitas Islam Al-Azhar (UNIZAR) memperkenalkan sistem hidroponik berbasis Internet of Things (IoT) sebagai solusi. Teknologi ini memungkinkan pemantauan dan pengendalian nutrisi AB-Mix, pH, kelembaban, dan kondisi lingkungan secara real-time melalui sensor yang terhubung ke jaringan internet. Apabila konsentrasi nutrisi atau ketinggian air berada di bawah standar, pompa otomatis akan menyalurkan larutan nutrisi atau menambah air ke dalam *blending tank*. Dengan demikian, UMKM tidak perlu lagi melakukan pengelolaan secara manual yang rawan kesalahan.

Dari penerapan sistem ini, terlihat sejumlah perbedaan mencolok dibandingkan metode konvensional. Pertumbuhan tanaman meningkat hingga 40%, produksi daun naik sekitar 40%, dan waktu panen berkurang hingga 25%. Selain itu, penggunaan air dapat ditekan sebesar 30% dan nutrisi berkurang hingga 25%. Peningkatan efisiensi ini tidak hanya berdampak pada produktivitas, tetapi juga menurunkan kebutuhan tenaga kerja harian, sehingga UMKM dapat lebih fokus pada pengelolaan usaha dan distribusi produk.

Meskipun manfaatnya signifikan, adopsi teknologi IoT masih menghadapi tantangan, khususnya dari sisi investasi awal. Biaya perangkat sensor, sistem kontrol, dan instalasi jaringan masih dianggap cukup tinggi bagi sebagian besar UMKM. Selain itu, diperlukan pendampingan dan pelatihan agar pelaku usaha mampu mengoperasikan perangkat dengan baik dan menginterpretasikan data yang tersedia. Sosialisasi dan program transfer pengetahuan, seperti yang dilakukan di UNIZAR, menjadi aspek penting agar teknologi ini dapat diterima lebih luas.

Dampak Revolusi Industri 4.0 pada Produksi Padi

Revolusi Industri 4.0 membawa perubahan besar dalam berbagai sektor, termasuk pertanian. Era ini ditandai dengan integrasi teknologi digital, kecerdasan buatan, robotik, sensor, hingga big data dalam sistem produksi. Dalam konteks pertanian padi, perkembangan ini berkontribusi pada peningkatan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan. Kajian yang dilakukan oleh Febrianti et al. (2021) menekankan bahwa adopsi teknologi modern, seperti Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) dan *System of Rice Intensification* (SRI), memiliki dampak signifikan terhadap kualitas dan kuantitas produksi padi di Indonesia.

Metode PTT, yang menggabungkan pemupukan organik dan anorganik serta penerapan teknologi informasi, terbukti lebih unggul dibandingkan metode SRI yang hanya mengandalkan pupuk organik. PTT memungkinkan peningkatan hasil gabah, mutu beras, serta efisiensi penggunaan sumber daya. Sementara itu, SRI cenderung mengalami penurunan produktivitas dari musim ke musim karena keterbatasan unsur hara dan dukungan teknologi. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan inovasi berbasis sains dan teknologi menjadi kunci dalam menjaga stabilitas produksi padi nasional.

Selain pendekatan teknis, Revolusi Industri 4.0 juga mendorong penggunaan teknologi informasi dan komunikasi dalam pertanian. Akses informasi melalui *mobile technology* mempermudah petani dalam memantau harga bibit, luas tanam, prediksi panen, dan fluktuasi pasar. Lebih jauh, *information technology* memungkinkan pengawasan lahan dan tanaman dari jarak jauh, sehingga petani tidak lagi harus selalu hadir di sawah untuk memastikan kondisi tanaman. Inovasi ini bukan hanya meningkatkan efisiensi tenaga kerja, tetapi juga mendukung kesejahteraan petani melalui manajemen usaha tani yang lebih modern.

Namun, pemanfaatan teknologi ini membutuhkan dukungan kebijakan nasional yang kuat. Tanpa regulasi dan program pendampingan yang memadai, kesenjangan antara petani tradisional dan petani modern dapat semakin melebar. Faktor keterbatasan literasi digital, biaya perangkat, serta distribusi informasi yang tidak merata juga masih menjadi hambatan utama. Oleh karena itu, sinergi antara pemerintah, lembaga riset, dan sektor swasta diperlukan untuk memastikan teknologi Revolusi Industri 4.0 benar-benar dapat diakses dan dimanfaatkan oleh seluruh petani.

Teknologi Pertanian Masa Depan

Kemajuan teknologi pertanian di masa depan diharapkan menjadi jawaban atas berbagai persoalan global yang semakin kompleks, mulai dari perubahan iklim, urbanisasi, berkurangnya lahan produktif, hingga menurunnya minat generasi muda pada sektor pertanian. Efendi dan Sagita (2022) menekankan bahwa teknologi pertanian modern tidak hanya ditujukan untuk meningkatkan produktivitas, tetapi juga untuk memastikan keberlanjutan sistem pangan. Beberapa tren utama yang digarisbawahi antara lain pertanian berbasis kecerdasan buatan, pemanfaatan *Internet of Things* (IoT), pertanian presisi, serta konsep *controlled environment agriculture* seperti *vertical farming* dan *plant factory*.

Teknologi berbasis kecerdasan buatan dan robotik diproyeksikan berperan besar dalam mekanisasi modern. Robot pertanian dirancang untuk melakukan tugas-tugas kompleks seperti pemanenan, penyemprotan pestisida, hingga pemantauan kondisi tanaman dengan ketelitian tinggi. Robot semacam ini mampu bekerja sepanjang hari tanpa kelelahan, sehingga menjadi solusi atas keterbatasan tenaga kerja pertanian. Di sisi lain, penerapan IoT dalam sistem pertanian memungkinkan pemantauan real-time terhadap kelembaban tanah, kualitas air, dan kondisi iklim mikro, sehingga pengelolaan budidaya dapat dilakukan lebih presisi dan hemat sumber daya.

Pertanian presisi juga menjadi arah penting bagi masa depan. Konsep ini menekankan pengelolaan spesifik lokasi, di mana pupuk, air, dan pestisida diberikan sesuai kebutuhan tanaman berdasarkan peta digital lahan. Dengan bantuan teknologi GPS, sensor tanah, serta drone, pertanian presisi memungkinkan efisiensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan pola konvensional. Drone, misalnya, dapat melakukan pemetaan lahan, memantau kesehatan tanaman, hingga menyemprotkan pestisida dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Selain itu, sistem pertanian lingkungan terkendali (*controlled environment agriculture*) seperti *vertical farming* dan *plant factory* mulai banyak dikembangkan. Kedua teknologi ini menawarkan alternatif bagi keterbatasan lahan dengan memanfaatkan ruang secara vertikal dan mengatur seluruh faktor lingkungan secara presisi. *Plant factory*, misalnya, memungkinkan produksi tanaman sepanjang tahun dengan kontrol penuh terhadap cahaya, nutrisi, suhu, dan kelembaban. Dengan sistem multi-layer dan pemanfaatan energi terbarukan, konsep ini dipandang mampu menjaga ketersediaan pangan di tengah urbanisasi yang pesat.

Namun, adopsi teknologi pertanian masa depan memerlukan sinergi yang kuat antara akademisi, pemerintah, dan sektor industri. Akademisi berperan dalam riset dan pengembangan teknologi, industri menyediakan jalur komersialisasi dan produksi massal, sedangkan pemerintah harus menyiapkan kebijakan yang mendukung, baik dari sisi regulasi maupun pembiayaan. Kolaborasi lintas sektor menjadi syarat penting agar transfer inovasi dapat berjalan efektif dan memberikan manfaat nyata bagi petani maupun masyarakat luas.

CONCLUSION

Inovasi teknologi pertanian telah menunjukkan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas sektor pertanian. Konsep smart farming yang memadukan teknologi digital dengan praktik budidaya tradisional memungkinkan petani melakukan pengelolaan yang lebih presisi, baik dalam penggunaan air, pupuk, maupun pestisida. Selain itu, kehadiran sensor dan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) mendukung pengambilan keputusan berbasis data yang lebih akurat.

Penerapan teknologi otomasi dan integrasi IoT terbukti mampu menekan biaya tenaga kerja serta meningkatkan efektivitas produksi. Sistem irigasi otomatis, penggunaan drone untuk pemetaan dan penyemprotan, serta sensor iklim mikro memperlihatkan potensi besar dalam memodernisasi sektor pertanian. Namun demikian, keterbatasan infrastruktur jaringan dan interoperabilitas perangkat masih menjadi hambatan yang perlu diatasi agar teknologi dapat diadopsi secara luas.

Pertanian presisi menjadi salah satu pendekatan yang menjanjikan untuk mengurangi pemborosan input dan dampak lingkungan. Teknologi ini mampu mengoptimalkan pemupukan, menjaga keseimbangan ekosistem lahan, serta meningkatkan kualitas hasil panen. Walau manfaatnya jelas, biaya investasi awal yang tinggi dan keterbatasan literasi digital petani menjadi tantangan yang membutuhkan dukungan kelembagaan, pelatihan, serta kebijakan yang pro-petani kecil.

Inovasi pertanian tidak hanya berorientasi pada hasil teknis, tetapi juga berdampak sosial dan ekonomi. Penerapan teknologi dalam budidaya hidroponik oleh pelaku UMKM, misalnya, telah berhasil meningkatkan produktivitas dan mengurangi penggunaan sumber daya. Selain itu, teknologi digital menjadikan sektor pertanian lebih menarik bagi generasi muda, sehingga dapat memperkuat regenerasi petani di tengah tren menurunnya minat masyarakat pada pertanian tradisional.

Masa depan pertanian akan sangat dipengaruhi oleh kolaborasi lintas sektor. Akademisi berperan dalam pengembangan inovasi, industri dalam komersialisasi, dan pemerintah dalam menyiapkan regulasi serta infrastruktur pendukung. Dengan sinergi yang kuat, teknologi pertanian modern dapat diakses secara lebih merata, menjawab tantangan perubahan iklim, sekaligus menjaga ketahanan pangan dan keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, riset dan kebijakan ke depan perlu diarahkan pada integrasi teknologi yang adaptif, terjangkau, dan sesuai dengan konteks sosial-ekonomi petani.

REFERENCES

- Efendi, R., & Sagita, D. (2022). Teknologi pertanian masa depan dan peranannya dalam menunjang ketahanan pangan. *Sultra Journal of Mechanical Engineering*, 1(1), 1-12.
- Febrianti, V. P., Permata, T. A., Humairoh, M., Putri, O. M., Amelia, L., Fatimah, S., & Khastini, R. O. (2021). Analisis pengaruh perkembangan teknologi pertanian di era revolusi industri 4.0 terhadap hasil produksi padi. *Jurnal Pengolahan Pangan*, 6(2), 54-60.
- Firmansyah, F., Wibisana, B., Pratama, Y. H., Iqbal, M. Z., & Abqari, R. S. (2024). Pertanian Cerdas Berbasis Internet of Things untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman Hidroponik. *J. Pengabd. Masy. Nusantara*, 4(2), 80-85.
- Halawa, D. N. (2024). Peran teknologi pertanian cerdas (smart farming) untuk generasi pertanian Indonesia. *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, 6(02), 502-512.
- Muchtar, H., & Ulhaq, M. Z. H. (2023). Rancang Bangun Smart Monitoring Farming pada Media Tanah Menggunakan Sistem IoT (Internet of Things). *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 6(2), 133-142.
- Rachmawati, R. R. (2020). Smart Farming 4.0 untuk mewujudkan pertanian Indonesia maju, mandiri, dan modern. In *Forum Penelitian Agro Ekonomi* (Vol. 38, No. 2, pp. 137-154).
- Sari, I. P., Novita, A., Al-Khowarizmi, A. K., Ramadhani, F., & Satria, A. (2024). Pemanfaatan internet of things (IoT) pada bidang pertanian menggunakan arduino UnoR3. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 2(4), 337-343.
- Sari, Y. N., & Sari, M. (2025). Inovasi Teknologi IoT untuk Mendukung Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 8(1), 271-284.
- 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 Semnastek*.
- Tasya, N., & Silvia, V. (2024). Peran Inovasi Teknologi Dalam Meningkatkan Efisiensi Ekonomi Pertanian. *JSSTEK-Jurnal Studi Sains dan Teknik*, 2(1), 90-97.
- Tulungen, F. R. (2024). Teknologi Pertanian Presisi Untuk Meningkatkan Efisiensi Produksi Padi di Indonesia. *Jurnal Cabaya Mandalika ISSN 2721-4796 (online)*, 5(2), 720-727.
- Wahyudi, Pradana, A. I., & Permatasari, H. (2025). Implementasi Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT untuk Pertanian Greenhouse. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, 5(2), 435–446. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.656>
- Yudha, E. P., Syamsiyah, N., & Pardian, P. (2022). Penggunaan Drone Dalam Penyusunan Peta Rencana Tata Ruang Desa Cicapar, Kecamatan Banjarsari, Kabupaten Ciamis. *Abdimas Galuh*, 4(2), 984-997.