Sangkareang
Journal of Agricultural Innovation (SJAI)
https://journal.synrise.org/index.php/sjai

e-ISSN : XXXX-XXX

Vol 1, Issue 1, 2026
pp. 24-35

Pemanfaatan Teknologi Pertanian Presisi (*Precision Agriculture*) Untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman Pangan

Anjasmara
Politeknik AMA, Bima, Indonesia

*Corresponding email: *anjasmara@politeknik.ama.ac.id*

Article Info

Article history:

Received: -
Revised: -
Accepted: -

Keywords:

Pertanian Presisi, Smart Farming, Internet of Things, Produktivitas Tanaman Pangan, Teknologi Digital Pertanian

ABSTRACT

Peningkatan kebutuhan pangan global menjadi salah satu tantangan utama dalam pembangunan sektor pertanian modern. Pertumbuhan populasi, perubahan iklim, degradasi kualitas tanah, keterbatasan sumber daya air, serta meningkatnya biaya produksi menyebabkan sistem pertanian konvensional menghadapi berbagai kendala dalam mempertahankan produktivitas secara berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang berkembang untuk menjawab tantangan tersebut adalah penerapan teknologi pertanian presisi (*precision agriculture*), yaitu sistem pengelolaan pertanian berbasis data yang memungkinkan pemberian input produksi secara tepat sesuai kondisi spasial dan temporal suatu lahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan teknologi pertanian presisi dalam meningkatkan produktivitas tanaman pangan melalui penerapan teknologi digital seperti Internet of Things (IoT), sensor tanah, teknologi penginderaan jauh, sistem informasi geografis (GIS), drone, dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*). Metode penelitian yang digunakan adalah kajian literatur (*literature review*) dengan menganalisis berbagai publikasi ilmiah nasional maupun internasional yang membahas implementasi teknologi pertanian presisi pada tanaman pangan. Sumber literatur diperoleh dari berbagai basis data ilmiah seperti Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, IEEE Xplore, dan laporan lembaga internasional seperti Food and Agriculture Organization (FAO). Analisis dilakukan melalui tahapan identifikasi, seleksi, evaluasi, dan sintesis informasi dari artikel yang relevan dengan fokus penelitian. Hasil kajian menunjukkan bahwa teknologi pertanian presisi mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya pertanian melalui pengelolaan pupuk, air, dan pestisida secara lebih akurat. Penggunaan sensor dan IoT memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan tanaman secara real time, sementara teknologi drone dan citra satelit dapat membantu mendeteksi variasi kondisi tanaman dalam skala luas. Selain itu, penerapan kecerdasan buatan memberikan kemampuan prediksi terhadap produktivitas tanaman serta membantu pengambilan keputusan budidaya yang lebih efektif. Meskipun demikian, implementasi pertanian presisi di Indonesia masih menghadapi berbagai hambatan, seperti keterbatasan infrastruktur digital, biaya investasi teknologi yang tinggi, dan rendahnya literasi digital sebagian petani. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengembangan melalui peningkatan kapasitas sumber daya manusia, dukungan kebijakan pemerintah, serta kolaborasi antara akademisi, industri teknologi, dan pelaku pertanian.

Copyright © 2025, The Author(s).
This is an open access article under the CC–BY-SA license

PENDAHULUAN

Sektor pertanian memiliki peranan strategis dalam menjamin ketahanan pangan dan mendukung keberlanjutan pembangunan ekonomi suatu negara. Pertanian tidak hanya berfungsi sebagai penyedia bahan pangan bagi masyarakat, tetapi juga menjadi sumber mata pencaharian bagi

How to cite: Example: Anjasmara (2026). Pemanfaatan Teknologi Pertanian Presisi (Precision Agriculture) Untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman Pangan. Sangkareang: *Journal of Agricultural Innovation*, *1*(1), 24–35.

sebagian besar penduduk, terutama di negara berkembang. Peningkatan jumlah penduduk dunia menyebabkan kebutuhan pangan terus meningkat sehingga sistem pertanian dituntut untuk mampu meningkatkan produktivitas dengan tetap menjaga keberlanjutan sumber daya alam. Tantangan utama pertanian modern adalah bagaimana meningkatkan produksi pangan melalui penggunaan sumber daya yang lebih efisien karena ketersediaan lahan produktif, air, dan sumber daya lingkungan semakin terbatas (Foley et al., 2011; Wheeler & von Braun, 2013).

Peningkatan produksi pangan pada masa mendatang tidak dapat hanya bergantung pada perluasan lahan pertanian, tetapi membutuhkan inovasi teknologi yang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan input produksi. Konsep intensifikasi berkelanjutan (sustainable intensification) menjadi salah satu pendekatan penting untuk meningkatkan hasil pertanian tanpa memberikan tekanan berlebihan terhadap lingkungan (Foley et al., 2011). Oleh karena itu, transformasi sistem pertanian menuju pendekatan berbasis teknologi dan informasi menjadi kebutuhan penting dalam menghadapi tantangan ketahanan pangan global.

Pertanian konvensional yang masih banyak diterapkan saat ini umumnya menggunakan pendekatan pengelolaan lahan secara seragam, yaitu memberikan perlakuan yang sama terhadap seluruh area pertanian tanpa mempertimbangkan variasi kondisi tanah, kebutuhan tanaman, maupun faktor lingkungan. Pendekatan tersebut menyebabkan penggunaan input produksi seperti pupuk, air, dan pestisida sering kali kurang efisien. Penggunaan pupuk secara berlebihan dapat meningkatkan biaya produksi serta menyebabkan pencemaran lingkungan akibat kehilangan unsur hara melalui limpasan permukaan dan pencucian ke dalam tanah maupun badan air (Bongiovanni & Lowenberg-Deboer, 2004; Hedley, 2015).

Selain permasalahan penggunaan pupuk, pengelolaan air yang tidak berdasarkan kebutuhan aktual tanaman juga menjadi salah satu penyebab rendahnya efisiensi produksi pertanian. Sistem irigasi konvensional sering memberikan air secara merata tanpa mempertimbangkan kondisi kelembaban tanah dan kebutuhan tanaman secara spesifik. Pendekatan berbasis teknologi pertanian presisi memungkinkan pengelolaan air secara lebih efisien melalui pemantauan kondisi tanah dan tanaman secara langsung sehingga penggunaan air dapat dikurangi tanpa menurunkan produktivitas (Sadler et al., 2005).

Selain efisiensi produksi, sektor pertanian juga menghadapi tantangan besar akibat perubahan iklim. Perubahan pola curah hujan, peningkatan suhu global, serta meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem memberikan dampak terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman pangan seperti padi, jagung, dan gandum. Studi menunjukkan bahwa perubahan iklim telah menyebabkan penurunan produktivitas beberapa komoditas pangan utama di berbagai wilayah dunia akibat perubahan kondisi lingkungan yang tidak sesuai bagi pertumbuhan tanaman (Lobell et al., 2011). Perubahan iklim juga meningkatkan ketidakpastian produksi pangan sehingga diperlukan sistem pertanian yang lebih adaptif dan mampu menyediakan informasi secara cepat mengenai kondisi tanaman serta lingkungan (Wheeler & von Braun, 2013).

Salah satu inovasi teknologi yang berkembang untuk menjawab tantangan tersebut adalah konsep pertanian presisi (precision agriculture). Pertanian presisi merupakan pendekatan manajemen pertanian yang menggunakan teknologi informasi, data spasial, sensor, serta sistem otomatisasi untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya berdasarkan kondisi spesifik suatu lokasi. Prinsip utama pertanian presisi adalah memberikan perlakuan yang tepat pada tempat yang tepat, waktu yang tepat, dan jumlah yang tepat (right input, right place, right time, and right amount) sehingga produktivitas dapat ditingkatkan dengan penggunaan sumber daya yang lebih efisien (Pierce & Nowak, 1999; Zhang et al., 2002).

Penerapan pertanian presisi telah berkembang sebagai salah satu strategi penting dalam mendukung ketahanan pangan. Teknologi ini memungkinkan petani melakukan pengelolaan lahan berdasarkan variasi kondisi tanah dan tanaman sehingga keputusan produksi tidak lagi hanya bergantung pada pengalaman manual, tetapi berdasarkan data yang akurat. Pertanian presisi juga

memiliki potensi untuk meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi dampak negatif aktivitas pertanian terhadap lingkungan (Gebbers & Adamchuk, 2010; Bongiovanni & Lowenberg-Deboer, 2004).

Perkembangan teknologi digital dalam beberapa tahun terakhir semakin mempercepat penerapan pertanian presisi. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah Internet of Things (IoT), yaitu teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat sensor terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pengukuran dan pengiriman data secara otomatis. Dalam sistem pertanian, sensor IoT dapat digunakan untuk mengukur kelembaban tanah, suhu, pH tanah, intensitas cahaya, serta kandungan nutrisi secara real time. Data tersebut kemudian dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan terkait waktu penyiraman, pemupukan, dan pengelolaan tanaman (Ayaz et al., 2019; Elijah et al., 2018).

Teknologi jaringan sensor nirkabel (wireless sensor networks) juga memberikan peluang besar dalam pemantauan kondisi lahan pertanian secara berkelanjutan. Sistem ini memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara langsung dari area budidaya sehingga petani dapat mengetahui perubahan kondisi tanaman secara lebih cepat dibandingkan metode pengamatan manual (Ojha et al., 2015).

Selain IoT, teknologi penginderaan jauh (remote sensing) melalui citra satelit dan pesawat tanpa awak (unmanned aerial vehicle/UAV) menjadi komponen penting dalam sistem pertanian presisi. Teknologi ini memungkinkan pemantauan kondisi tanaman dalam cakupan wilayah yang luas tanpa harus melakukan pemeriksaan langsung di seluruh area lahan. Data hasil penginderaan jauh dapat digunakan untuk menganalisis tingkat kesehatan tanaman melalui berbagai indeks vegetasi seperti Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), yang mampu menunjukkan kondisi pertumbuhan tanaman, tingkat stres air, serta gangguan akibat kekurangan unsur hara maupun penyakit tanaman (Mulla, 2013; Hunt et al., 2013).

Penggunaan drone dalam pertanian juga semakin berkembang karena mampu menghasilkan citra dengan resolusi tinggi sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi variasi kondisi tanaman secara lebih detail. Teknologi UAV memberikan informasi spasial yang membantu petani menentukan area yang membutuhkan perlakuan khusus sehingga penggunaan input pertanian menjadi lebih efisien (Zhang & Kovacs, 2012).

Kemajuan teknologi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) juga memberikan peluang besar dalam pengembangan sistem pertanian modern. Melalui metode pembelajaran mesin (machine learning), data pertanian dalam jumlah besar dapat dianalisis untuk menghasilkan prediksi produktivitas, rekomendasi pemupukan, deteksi penyakit tanaman, serta pengambilan keputusan otomatis. Integrasi antara sensor, teknologi spasial, dan kecerdasan buatan memungkinkan terbentuknya sistem pertanian berbasis data (data-driven agriculture) yang lebih akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan (Liakos et al., 2018; Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018; Benos et al., 2021).

Penerapan pertanian presisi menunjukkan berbagai manfaat dalam meningkatkan efisiensi produksi tanaman pangan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan teknologi digital dapat mengurangi penggunaan input seperti pupuk dan air sekaligus meningkatkan produktivitas melalui pengelolaan yang lebih tepat sasaran. Sistem pemupukan berbasis data mampu mengurangi kehilangan unsur hara, sedangkan sistem irigasi berbasis sensor mampu menyediakan air sesuai kebutuhan tanaman sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya (Hedley, 2015; Sadler et al., 2005).

Meskipun memiliki berbagai manfaat, penerapan pertanian presisi masih menghadapi berbagai tantangan, terutama di negara berkembang termasuk Indonesia. Hambatan utama meliputi keterbatasan biaya investasi teknologi, rendahnya kemampuan literasi digital petani, keterbatasan infrastruktur jaringan internet, serta kurangnya dukungan kelembagaan dalam proses adopsi

teknologi. Faktor sosial ekonomi petani menjadi salah satu aspek penting yang menentukan keberhasilan penerapan teknologi pertanian modern (Wolfert et al., 2017; Rachmawati, 2021).

Indonesia sebagai negara agraris memiliki peluang besar untuk mengembangkan pertanian berbasis teknologi digital. Namun, kondisi geografis yang luas dan keberagaman karakteristik wilayah menyebabkan penerapan pertanian presisi membutuhkan strategi yang sesuai dengan kondisi lokal. Pengembangan teknologi harus mempertimbangkan kemampuan petani, ketersediaan infrastruktur, serta dukungan pemerintah agar manfaat teknologi dapat dirasakan secara luas oleh masyarakat pertanian (Rachmawati, 2021).

Berdasarkan kondisi tersebut, kajian mengenai pemanfaatan teknologi pertanian presisi menjadi penting dilakukan untuk memahami bagaimana teknologi digital dapat berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas tanaman pangan dan keberlanjutan sistem pertanian. Penelitian mengenai pertanian presisi diperlukan untuk mengidentifikasi teknologi utama yang digunakan, manfaat penerapannya terhadap efisiensi produksi, serta berbagai tantangan yang perlu diatasi dalam mendukung pembangunan pertanian berkelanjutan.

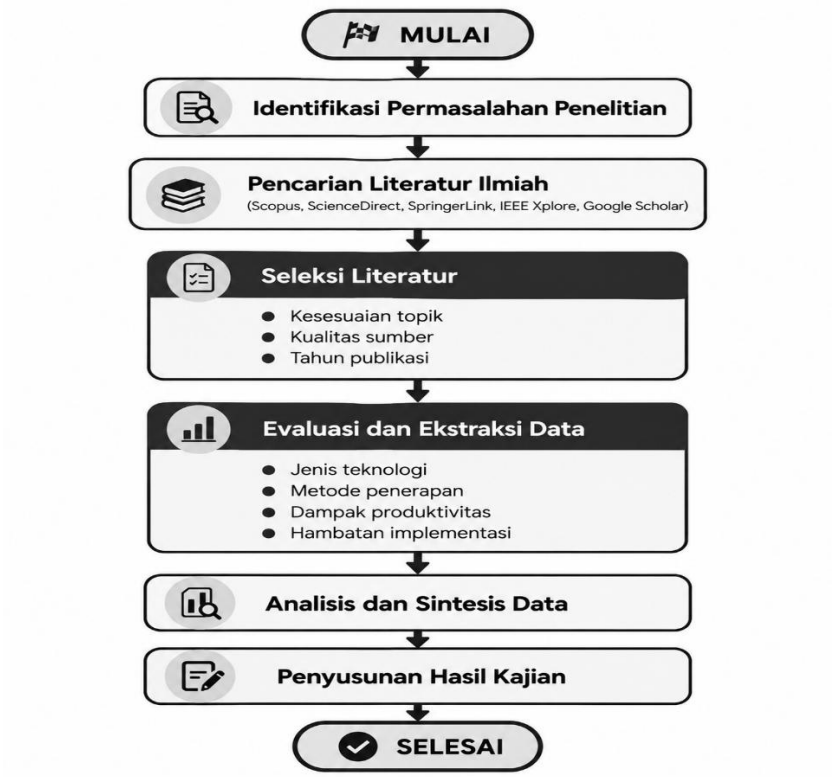
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kajian literatur (*literature review*) dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Metode kajian literatur dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mensintesis berbagai hasil penelitian terdahulu mengenai pemanfaatan teknologi pertanian presisi (*precision agriculture*) dalam meningkatkan produktivitas tanaman pangan. Melalui metode ini, berbagai konsep, perkembangan teknologi, manfaat penerapan, serta tantangan implementasi pertanian presisi dapat dikaji secara komprehensif berdasarkan bukti ilmiah yang tersedia.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber ilmiah, meliputi artikel jurnal internasional bereputasi, jurnal nasional, buku akademik, prosiding konferensi, serta laporan lembaga internasional yang berkaitan dengan pertanian digital dan teknologi pangan. Sumber literatur diperoleh melalui beberapa basis data ilmiah seperti Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, IEEE Xplore, dan Google Scholar. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan laporan dari organisasi internasional seperti *Food and Agriculture Organization* (FAO) sebagai sumber pendukung dalam memahami perkembangan pertanian modern dan tantangan ketahanan pangan global.

Proses pencarian literatur dilakukan menggunakan beberapa kata kunci yang relevan dengan topik penelitian, yaitu *precision agriculture*, *smart farming technology*, *Internet of Things in agriculture*, *digital agriculture*, *artificial intelligence for agriculture*, *remote sensing in crop monitoring*, dan *crop productivity improvement*. Literatur yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaian topik, kualitas sumber, serta keterbaruan publikasi. Artikel yang dipilih merupakan publikasi yang membahas penerapan teknologi digital dalam sistem pertanian, khususnya teknologi sensor, Internet of Things (IoT), sistem informasi geografis (GIS), drone, penginderaan jauh (*remote sensing*), serta kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*).

Tahapan penelitian dilakukan melalui beberapa proses sistematis. Tahap pertama adalah identifikasi permasalahan penelitian yang berkaitan dengan kebutuhan peningkatan produktivitas tanaman pangan melalui pemanfaatan teknologi modern. Tahap kedua adalah pencarian literatur dari berbagai sumber akademik yang relevan. Tahap ketiga dilakukan proses seleksi literatur berdasarkan kriteria inklusi, yaitu artikel yang membahas penerapan teknologi pertanian presisi, memiliki keterkaitan dengan tanaman pangan, serta diterbitkan pada sumber ilmiah yang kredibel. Tahap berikutnya adalah ekstraksi dan analisis informasi dari literatur terpilih untuk memperoleh data mengenai jenis teknologi yang digunakan, mekanisme penerapan, manfaat terhadap produktivitas, serta kendala implementasi.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian Kajian Literatur Teknologi Pertanian Presisi

Analisis data dilakukan menggunakan metode analisis isi (*content analysis*), yaitu dengan mengidentifikasi tema utama dari setiap literatur yang telah dikaji. Informasi yang diperoleh kemudian dikelompokkan berdasarkan aspek teknologi, fungsi penerapan, kontribusi terhadap peningkatan produktivitas, serta tantangan pengembangan pertanian presisi. Hasil analisis selanjutnya dibandingkan dan disintesis untuk menghasilkan pemahaman mengenai efektivitas teknologi pertanian presisi dalam mendukung sistem produksi tanaman pangan yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Untuk menjaga kualitas kajian, literatur yang digunakan diprioritaskan berasal dari publikasi ilmiah dalam rentang tahun 2017–2026, terutama artikel yang membahas perkembangan terbaru mengenai digitalisasi pertanian, otomatisasi sistem budidaya, pemanfaatan data pertanian, serta integrasi teknologi kecerdasan buatan dalam pengambilan keputusan pertanian. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran akademik mengenai peluang penerapan pertanian presisi sebagai strategi peningkatan produktivitas tanaman pangan di era transformasi digital pertanian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep dan Perkembangan Teknologi Pertanian Presisi dalam Sistem Produksi Tanaman Pangan

Pertanian presisi (*precision agriculture*) merupakan pendekatan pengelolaan sistem pertanian yang memanfaatkan teknologi informasi dan data untuk mengoptimalkan proses produksi berdasarkan kondisi spesifik suatu lokasi. Berbeda dengan sistem pertanian konvensional yang cenderung menerapkan perlakuan seragam pada seluruh area lahan, pertanian presisi memungkinkan petani memberikan perlakuan berbeda sesuai kebutuhan tanaman pada setiap bagian lahan. Pendekatan ini didasarkan pada prinsip efisiensi penggunaan sumber daya melalui pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision making*).

Perkembangan pertanian presisi tidak terlepas dari kemajuan teknologi digital pada era Revolusi Industri 4.0. Integrasi teknologi seperti sensor, Internet of Things (IoT), sistem informasi

geografis (GIS), penginderaan jauh (*remote sensing*), drone, dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) telah mengubah pola pengelolaan pertanian dari sistem berbasis pengalaman menuju sistem berbasis informasi. Data yang dikumpulkan dari lingkungan pertanian dapat dianalisis untuk menentukan tindakan budidaya yang lebih tepat, mulai dari pengaturan irigasi, pemupukan, hingga pengendalian organisme pengganggu tanaman.

Pada tanaman pangan seperti padi, jagung, dan kedelai, penerapan pertanian presisi memberikan peluang besar dalam meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi penggunaan input yang tidak diperlukan. Misalnya, penggunaan sensor tanah dapat memberikan informasi mengenai kadar kelembaban dan kandungan nutrisi sehingga pemberian air maupun pupuk dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman. Hal ini berbeda dengan metode konvensional yang sering menyebabkan penggunaan pupuk berlebihan karena keputusan didasarkan pada perkiraan umum.

Selain meningkatkan efisiensi produksi, pertanian presisi juga berperan dalam mendukung keberlanjutan lingkungan. Penggunaan pupuk dan pestisida secara lebih tepat dapat mengurangi risiko pencemaran tanah dan air. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya berorientasi pada peningkatan hasil panen, tetapi juga mendukung konsep pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*).



Gambar 2. Konsep Dasar Sistem Pertanian Presisi
Sumber: Adaptasi Wolfert et al. (2017)

Pemanfaatan Internet of Things (IoT) dan Sensor dalam Optimalisasi Budidaya Tanaman

Internet of Things (IoT) menjadi salah satu teknologi utama dalam penerapan pertanian presisi karena mampu menghubungkan perangkat elektronik, sensor, dan sistem pengolahan data melalui jaringan komunikasi. Dalam sistem pertanian modern, sensor IoT digunakan untuk memperoleh informasi kondisi lahan secara langsung sehingga petani dapat melakukan pemantauan tanpa harus melakukan pemeriksaan manual secara terus-menerus.

Sensor yang umum digunakan dalam pertanian presisi meliputi sensor kelembaban tanah, sensor suhu, sensor intensitas cahaya, sensor pH tanah, dan sensor kandungan unsur hara. Data yang diperoleh dari sensor tersebut kemudian dikirimkan ke sistem pengolahan data melalui jaringan internet. Informasi tersebut dapat ditampilkan melalui perangkat komputer maupun telepon pintar sehingga petani dapat mengetahui kondisi tanaman secara real time.

Pada sistem irigasi, teknologi IoT memungkinkan penerapan irigasi otomatis (*smart irrigation*). Sistem ini bekerja dengan membaca tingkat kelembaban tanah dan memberikan air hanya ketika nilai kelembaban berada di bawah batas tertentu. Penerapan sistem tersebut mampu mengurangi pemborosan air terutama pada wilayah yang mengalami keterbatasan sumber daya air.

Dalam penggunaan pupuk, sensor tanah membantu menentukan kebutuhan nutrisi tanaman secara lebih akurat. Data mengenai kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium dapat digunakan sebagai dasar menentukan dosis pupuk. Dengan demikian, pemupukan dapat dilakukan berdasarkan kebutuhan aktual tanaman, bukan hanya berdasarkan kebiasaan atau perkiraan petani.

Meskipun teknologi IoT memberikan banyak manfaat, penerapannya masih menghadapi beberapa kendala. Biaya pemasangan perangkat, kebutuhan jaringan internet, serta kemampuan petani dalam mengoperasikan teknologi menjadi faktor yang perlu diperhatikan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang sederhana dan mudah digunakan agar teknologi IoT dapat diterapkan oleh petani dalam skala luas.

Gambar 2. Arsitektur IoT dalam Sistem Pertanian Presisi



Gambar 3. Arsitektur IoT dalam Sistem Pertanian Presisi
Sumber: Adaptasi dari Ayaz et al. (2019)

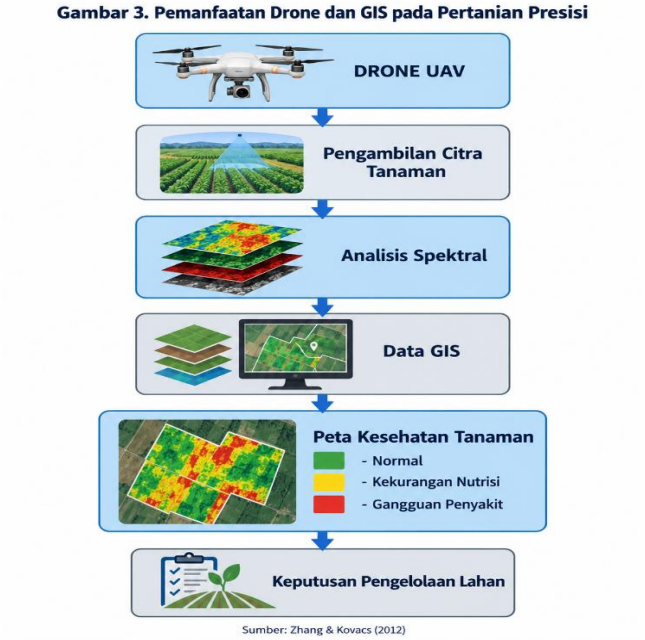
Peran Drone, Remote Sensing, dan GIS dalam Monitoring Kondisi Tanaman

Teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) dan sistem informasi geografis (GIS) merupakan komponen penting dalam pertanian presisi karena mampu menyediakan informasi kondisi tanaman dalam cakupan wilayah yang luas. Teknologi ini memungkinkan identifikasi variasi kondisi tanaman yang sulit diamati secara langsung oleh manusia.

Drone pertanian dilengkapi dengan kamera multispektral yang mampu menangkap informasi mengenai karakteristik tanaman berdasarkan pantulan cahaya. Data tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat kesehatan tanaman menggunakan berbagai indikator, salah satunya adalah Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Nilai NDVI dapat menunjukkan tingkat kehijauan tanaman sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi tanaman yang mengalami stres.

Pada tanaman padi, teknologi drone dapat digunakan untuk memantau pertumbuhan tanaman, mengidentifikasi area kekurangan air, serta mendeteksi serangan penyakit sejak tahap awal. Informasi tersebut memungkinkan petani melakukan tindakan koreksi secara cepat sehingga kerugian produksi dapat diminimalkan.

Selain drone, citra satelit juga memberikan manfaat dalam pemantauan pertanian berskala besar. Data satelit dapat digunakan untuk memetakan kondisi lahan, perubahan tutupan tanaman, dan pola produktivitas antarwilayah. Integrasi antara data spasial dan informasi lapangan memberikan dasar yang lebih kuat dalam pengambilan keputusan pertanian.



Gambar 4. Pemanfaatan Drone dan GIS pada Pertanian Presisi
Sumber: Zhang & Kovacs (2012)

Artificial Intelligence (AI) dan Machine Learning untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman

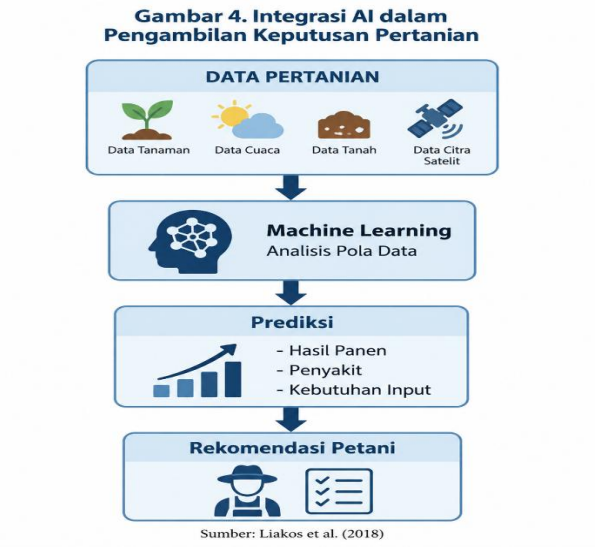
Perkembangan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) memberikan dimensi baru dalam sistem pertanian presisi. AI memungkinkan komputer melakukan analisis terhadap data pertanian dalam jumlah besar untuk menghasilkan prediksi dan rekomendasi yang mendukung keputusan petani.

Salah satu penerapan AI yang berkembang adalah prediksi produktivitas tanaman. Dengan menggunakan data historis mengenai cuaca, kondisi tanah, varietas tanaman, dan pola budidaya, algoritma *machine learning* dapat memperkirakan hasil panen sebelum proses produksi selesai. Informasi tersebut membantu petani dan pemerintah dalam melakukan perencanaan produksi pangan.

AI juga banyak digunakan untuk mendeteksi penyakit tanaman melalui teknologi pengolahan citra (*image processing*). Kamera dapat menangkap gambar daun tanaman, kemudian algoritma kecerdasan buatan melakukan klasifikasi untuk menentukan apakah tanaman sehat atau mengalami gangguan penyakit. Sistem tersebut memiliki keunggulan karena mampu melakukan deteksi lebih cepat dibandingkan pemeriksaan manual.

Selain itu, AI dapat digunakan untuk menentukan rekomendasi pemupukan dan pengendalian hama. Dengan menganalisis berbagai variabel lingkungan, sistem AI dapat memberikan rekomendasi tindakan yang paling sesuai dengan kondisi tanaman.

Namun, keberhasilan penerapan AI sangat bergantung pada ketersediaan data berkualitas. Data yang tidak lengkap atau tidak akurat dapat menyebabkan hasil prediksi yang kurang tepat. Oleh karena itu, pengembangan sistem AI dalam pertanian perlu didukung oleh sistem pengumpulan data yang baik.



Gambar 5. Integrasi AI dalam Pengambilan Keputusan Pertanian
Sumber: Liakos et al. (2018)

Tantangan dan Strategi Implementasi Pertanian Presisi di Indonesia

Walaupun teknologi pertanian presisi memiliki berbagai keunggulan, implementasinya di Indonesia masih menghadapi beberapa hambatan. Tantangan pertama adalah aspek ekonomi. Sebagian teknologi seperti sensor pintar, drone, dan perangkat otomatisasi membutuhkan biaya investasi awal yang cukup tinggi sehingga sulit dijangkau oleh petani kecil.

Tantangan kedua berkaitan dengan sumber daya manusia. Banyak petani masih memiliki keterbatasan dalam memahami penggunaan teknologi digital. Oleh karena itu, diperlukan program pelatihan dan pendampingan agar petani mampu memanfaatkan teknologi secara optimal.

Tantangan lainnya adalah infrastruktur digital. Sistem pertanian presisi membutuhkan jaringan internet yang stabil untuk mengirimkan dan mengolah data. Pada beberapa wilayah pedesaan, keterbatasan jaringan internet masih menjadi kendala utama.

Strategi implementasi dapat dilakukan melalui pengembangan teknologi yang lebih sederhana, program demonstrasi pertanian digital, serta kerja sama antara pemerintah, perguruan tinggi, dan perusahaan teknologi. Pendekatan berbasis kelompok tani juga dapat menjadi solusi karena biaya investasi teknologi dapat dibagi bersama.



Gambar 6. Strategi Pengembangan Pertanian Presisi di Indonesia

KESIMPULAN

Teknologi pertanian presisi (*precision agriculture*) merupakan pendekatan inovatif yang mampu meningkatkan produktivitas tanaman pangan melalui pemanfaatan teknologi digital berbasis data. Integrasi teknologi seperti Internet of Things (IoT), sensor tanah, drone, penginderaan jauh, GIS, dan kecerdasan buatan memungkinkan proses budidaya dilakukan secara lebih tepat, efisien, dan berkelanjutan.

Penerapan sensor dan IoT memberikan kemampuan pemantauan kondisi lahan secara real time sehingga penggunaan air dan pupuk dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman. Teknologi drone dan penginderaan jauh membantu melakukan pemetaan kondisi tanaman secara luas, sedangkan AI memberikan kemampuan analisis dan prediksi untuk mendukung pengambilan keputusan pertanian.

Meskipun memiliki potensi besar, penerapan pertanian presisi di Indonesia masih menghadapi kendala berupa biaya teknologi, keterbatasan infrastruktur digital, dan rendahnya literasi teknologi petani. Oleh karena itu, diperlukan strategi kolaboratif antara pemerintah, akademisi, industri, dan petani untuk mempercepat adopsi teknologi tersebut.

Dengan pengembangan yang tepat, pertanian presisi dapat menjadi salah satu solusi strategis dalam meningkatkan produktivitas tanaman pangan sekaligus mendukung sistem pertanian yang efisien, adaptif terhadap perubahan iklim, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., & Aggoune, E. H. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *IEEE Access, 7*, 129551–129583. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932609

Benos, L., Tagarakis, A. C., Dolias, G., Berruto, R., Kateris, D., & Bochtis, D. (2021). Machine learning in agriculture: A comprehensive updated review. *Sensors, 21*(11), 3758. https://doi.org/10.3390/s21113758

Bongiovanni, R., & Lowenberg-Deboer, J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture, 5*, 359–387. https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa

Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y., & Hindia, M. N. (2018). An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture. *IEEE Access, 7*, 764–786. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2876522

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., … Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature, 478*, 337–342. https://doi.org/10.1038/nature10452

Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science, 327*(5967), 828–831. https://doi.org/10.1126/science.1183899

Hedley, C. (2015). The role of precision agriculture for improved nutrient management on farms. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 95*(1), 12–19. https://doi.org/10.1002/jsfa.6734

Hunt, E. R., Doraiswamy, P. C., McMurtrey, J. E., Daughtry, C. S. T., Perry, E. M., & Akhmedov, B. (2013). Remote sensing of crop production: Current status and future directions. *Remote Sensing, 5*(7), 3564–3587. https://doi.org/10.3390/rs5073564

Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture, 147*, 70–90. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors, 18*(8), 2674. https://doi.org/10.3390/s18082674

Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science, 333*(6042), 616–620. https://doi.org/10.1126/science.1204531

Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering, 114*(4), 358–371. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009

Ojha, T., Misra, S., & Raghuwanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture, 118*, 66–84. https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011

Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy, 67*, 1–85. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1

Rachmawati, R. R. (2021). Smart farming 4.0 untuk mewujudkan pertanian Indonesia maju, mandiri, dan modern. *Forum Penelitian Agro Ekonomi, 39*(2), 137–154.

Sadler, E. J., Evans, R. G., Stone, K. C., & Camp, C. R. (2005). Opportunities for modeling precision agriculture water management. *Agricultural Water Management, 76*(3), 211–232. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.01.003

Wheeler, T., & von Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science, 341*(6145), 508–513. https://doi.org/10.1126/science.1239402

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems, 153*, 69–80. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023

Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture, 13*, 693–712. https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—A worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture, 36*(2–3), 113–132. https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0