

REVIEW ARTICLE

**Peran Teknologi Presisi dalam Mewujudkan Pertanian Berkelanjutan: Systematic Literature Review**

**Yunita Alfina Puspita Sari<sup>1\*</sup>**

Departemen Sosial Ekonomi Pertanian, Fakultas  
Pertanian,  
Universitas Gadjah Mada  
Email: [yunitaalfinapuspitasari@mail.ugm.ac.id](mailto:yunitaalfinapuspitasari@mail.ugm.ac.id)

**Dinda Amalia Gumay<sup>2</sup>**

Departemen Sosial Ekonomi Pertanian,  
Fakultas Pertanian,  
Universitas Gadjah Mada  
Email: [dindaamalia@mail.ugm.ac.id](mailto:dindaamalia@mail.ugm.ac.id)

Artikel Info

Diterima 03/12/2025  
Diterima dan disetujui 03/03/2026

Diterima dalam bentuk revisi 01/03/2026  
Tersedia online 30/03/2026

**Abstrak**

**Latar belakang:** Sektor pertanian di negara berkembang menghadapi tantangan akibat degradasi sumber daya, perubahan iklim, dan meningkatnya kebutuhan pangan, sehingga membutuhkan pendekatan produksi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Kajian sebelumnya umumnya membahas teknologi presisi dan keberlanjutan secara terpisah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengkaji keterkaitan jenis teknologi presisi, kontribusinya terhadap dimensi ekonomi, sosial dan lingkungan, serta hambatannya dalam konteks negara berkembang.

**Metode:** Kajian ini dilakukan menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) terhadap artikel ilmiah yang dipublikasikan dalam basis data Scopus. Proses seleksi mengikuti pedoman PRISMA yang mencakup tahap identifikasi, penyaringan, penentuan kelayakan, dan inklusi dengan fokus pada publikasi yang membahas pertanian presisi di negara berkembang. Hasil penelusuran literatur mengidentifikasi 65 artikel ilmiah, dengan 17 artikel yang memenuhi kriteria inklusi yang telah ditetapkan pada periode publikasi 2020–2025. Data dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi jenis teknologi yang digunakan, kontribusinya terhadap efisiensi usaha tani, serta dampak penerapannya dalam konteks keberlanjutan.

**Hasil:** Hasil kajian menunjukkan bahwa teknologi seperti *remote sensing*, *drone* dan *Geographic Information System* (GIS) berkontribusi terhadap efisiensi input dan keberlanjutan lingkungan, namun tingkat adopsinya masih rendah karena keterbatasan modal, infrastruktur dan kapasitas Sumber Daya Manusia (SDM).

**Kesimpulan:** Kajian ini menyimpulkan bahwa pertanian presisi memiliki potensi besar dalam mendukung usaha tani yang berkelanjutan melalui dukungan terhadap peningkatan akses teknologi, penguatan kapasitas petani dan kebijakan yang berpihak pada digitalisasi pertanian berkelanjutan.

**Kata kunci:** Adopsi teknologi, Keberlanjutan, Pertanian presisi

\*Penulis Korespondensi: *Yunita Alfina Puspita Sari, Universitas Gadjah Mada, [yunitaalfinapuspitasari@mail.ugm.ac.id](mailto:yunitaalfinapuspitasari@mail.ugm.ac.id)*

**Sitasi:** Sari, Y. A. P., & Gumay, D. A. (2026). Peran Teknologi Presisi dalam Mewujudkan Pertanian Berkelanjutan: Systematic Literature Review. *Journal of Sustainable Agriculture Science*, 4(1): 36 - 48.



© 2026 Politeknik Pembangunan Pertanian Manokwari

## Abstract

**Background:** The agricultural sector in developing countries faces significant challenges related to resource degradation, climate change, and increasing food demand, necessitating more efficient and sustainable production approaches. Previous studies have generally examined precision agriculture technologies and sustainability separately, resulting in a limited integrated understanding of their interconnections. Therefore, this study aims to analyze the relationship between different types of precision agriculture technologies, their contributions to economic, social, and environmental dimensions, and the barriers to their adoption in developing countries.

**Method:** This study employed a Systematic Literature Review (SLR) of scientific articles published in the Scopus database. The selection process followed the PRISMA guidelines, including the stages of identification, screening, eligibility assessment, and inclusion, with a focus on publications addressing precision agriculture in developing countries. The search yielded 65 articles, of which 17 met the inclusion criteria for the 2020–2025 publication period. The data were analyzed thematically to identify the types of technologies applied, their contributions to farm efficiency, and their implications for sustainability.

**Results:** The findings indicate that technologies such as remote sensing, drones, and Geographic Information Systems (GIS) have been utilized to increase input efficiency, reduce production costs, and minimize environmental impacts. However, adoption levels remain low due to constraints in capital, digital infrastructure, and human resource capacity.

**Conclusion:** The study concludes that precision agriculture holds substantial potential to support sustainable farming systems, provided that access to technology is improved, farmer capacity is strengthened, and supportive policies for sustainable agricultural digitalization are developed.

**Keywords:** , Technology adoption, Sustainability, Precision agriculture

## PENDAHULUAN

Sektor pertanian global saat ini menghadapi tantangan yang semakin kompleks, seperti serangan organisme pengganggu tanaman, degradasi tanah, variabilitas iklim, serta meningkatnya kebutuhan pangan akibat pertumbuhan populasi dunia. Kondisi tersebut menimbulkan tekanan serius terhadap ketahanan pangan, produktivitas pertanian, dan keberlanjutan lingkungan (Mamabolo *et al.*, 2025). Pada tahun 2050, kebutuhan pangan diperkirakan meningkat hingga 70%, sementara kontribusi sektor pertanian terhadap PDB global tercatat berada pada kisaran sekitar 3–4% dalam beberapa tahun terakhir (Latino *et al.*, 2023; World Bank, 2024; Peña-Holguín *et al.*, 2025). Situasi ini menegaskan perlunya transformasi dalam sistem produksi pangan agar mampu memenuhi permintaan yang meningkat tanpa memperburuk kerusakan lingkungan.

Sejalan dengan tantangan global tersebut, sektor pertanian Indonesia dihadapkan dengan sejumlah persoalan struktural. Kementerian Pertanian (2025) melaporkan bahwa kontribusi sektor pertanian mencapai 14,35% terhadap PDB nasional pada triwulan III tahun 2025, namun sektor ini masih terkendala oleh ketergantungan pada faktor alam, krisis regenerasi petani, keterbatasan lahan, serta ancaman perubahan iklim (Wulandari & Kurniati, 2025). Kondisi ini menuntut adanya inovasi untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, sekaligus menjaga keberlanjutan ekosistem pertanian.

Pertanian presisi hadir sebagai salah satu pendekatan untuk menghadapi tantangan tersebut. Melalui pemanfaatan teknologi seperti *remote sensing*, *drone* dan *Geographic Information System* (GIS), petani dapat memperoleh data spesifik lokasi secara *real-time* untuk mendukung pengambilan keputusan terkait irigasi, pemupukan, pengendalian hama, serta manajemen panen (Saha *et al.*, 2023;

Mamabolo *et al.*, 2025). Teknologi ini mengintegrasikan data spasial dan temporal untuk mengidentifikasi variabilitas kondisi lahan, sehingga memungkinkan penerapan input secara presisi sesuai kebutuhan tanaman. Pendekatan berbasis data tersebut meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya (dimensi ekonomi), memperkuat kapasitas pengambilan keputusan (dimensi sosial) serta menurunkan risiko degradasi lingkungan (dimensi lingkungan) (Mešić *et al.*, 2024; Sharma *et al.*, 2025; Zaman, 2023). Dengan demikian, pertanian presisi berpotensi mendukung sistem produksi pangan yang lebih produktif dan berkelanjutan.

Tingkat adopsi pertanian presisi di Indonesia masih relatif rendah, meskipun berbagai teknologi dan dukungan pemerintah telah tersedia. Rendahnya tingkat adopsi ini berkaitan dengan karakteristik struktur pertanian nasional yang didominasi oleh petani skala menengah dan kecil, dengan rata-rata kepemilikan lahan sekitar 0,2 hektar per petani (BPS, 2023; Santoso *et al.*, 2024). Kelompok petani tersebut umumnya masih mengandalkan metode budidaya tradisional dan menghadapi keterbatasan modal, literasi digital, serta akses terhadap infrastruktur pendukung (Santoso *et al.*, 2024; Mgendi, 2024). Kesenjangan antara potensi manfaat teknologi dan tingkat realisasi penerapannya pada usaha tani mengindikasikan bahwa pendekatan yang berfokus pada aspek teknis belum cukup untuk menjelaskan kompleksitas proses adopsi pertanian presisi, terutama di kalangan petani skala kecil.

Beberapa penelitian sebelumnya (Sharma *et al.*, 2025; Mizik, 2023; Roy & Medhekar, 2025) umumnya membahas teknologi presisi dan aspek keberlanjutan secara terpisah. Berbeda dari studi-studi tersebut, kajian ini menggunakan pendekatan tematik dalam *Systematic Literature Review* untuk mengkaji keterkaitan antara jenis teknologi presisi, kontribusinya terhadap dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan, serta hambatan adopsinya dalam konteks negara berkembang. Pendekatan ini memungkinkan penyusunan yang terstruktur, sehingga dapat menjadi dasar perumusan strategi implementasi pertanian presisi yang relevan bagi Indonesia dan negara berkembang lainnya.

## METODE

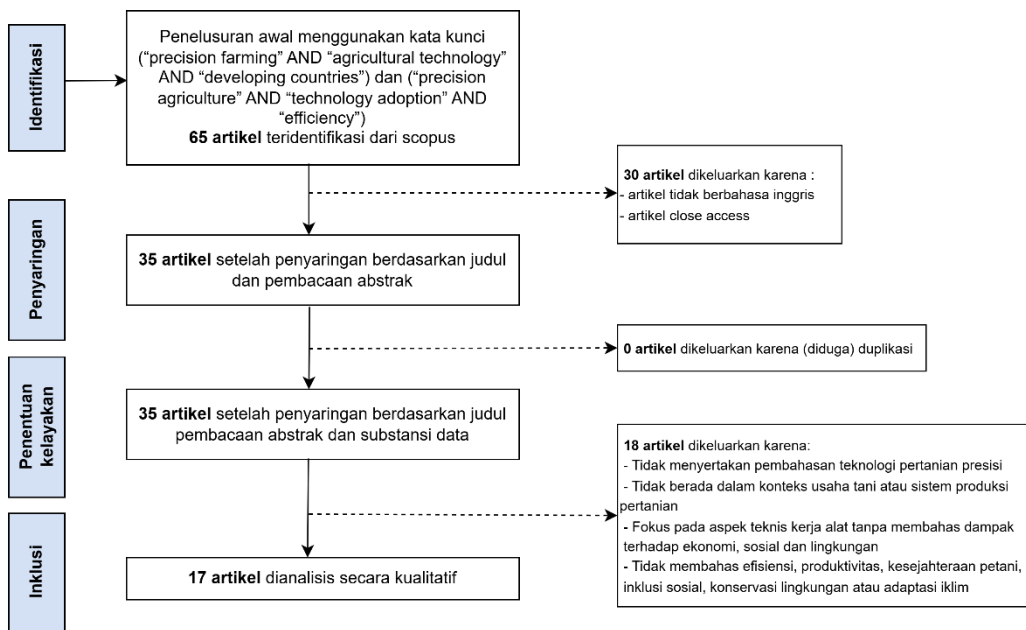
Periode publikasi 2020-2025 dipilih sebagai kriteria inklusif dengan pertimbangan bahwa fase ini merepresentasikan perkembangan pertanian presisi, ditandai oleh pergeseran dari adopsi teknologi tunggal menuju integrasi ekosistem digital yang mencakup sensor, data spasial, analitik, dan pengambilan keputusan berbasis sistem (Patria, 2025). Periode ini juga bertepatan dengan percepatan transformasi digital sektor pertanian, khususnya di negara berkembang, yang dipengaruhi oleh kemajuan teknologi informasi, kebijakan digitalisasi, serta meningkatnya perhatian terhadap keberlanjutan.

Tinjauan sistematis digunakan untuk membantu menghasilkan pengetahuan yang berhubungan dengan topik, tren, dan kesenjangan riset berdasarkan tinjauan mendalam pada literatur yang relevan (Lawasi, 2023). Teknik yang digunakan yaitu *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) untuk memastikan proses tinjauan yang komprehensif, transparan dan dapat direproduksi. Melalui diagram alur PRISMA, proses seleksi artikel terdiri dari tahap identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan dan inklusi akhir (Sirotujannah *et al.*, 2025). Kriteria inklusif dan eksklusif dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Inklusif dan Eksklusif

Kriteria Inklusif	Kriteria Eksklusif
Periode publikasi 2020-2025	Tidak menyertakan pembahasan teknologi presisi
Original research, review article, proceedings	Tidak berada dalam konteks usaha tani atau sistem produksi pertanian
Artikel berbahasa Inggris	Fokus pada aspek teknis kerja alat tanpa membahas dampak terhadap ekonomi, sosial atau lingkungan
Open access	Tidak membahas efisiensi, produktivitas, kesejahteraan petani, inklusi sosial, konservasi lingkungan, atau adaptasi iklim

Basis data yang digunakan dalam kajian ini yaitu scopus. Dari hasil penelusuran menggunakan kata kunci (“precision farming” AND “agricultural technology” AND “developing countries”) dan (“precision agriculture” AND “technology adoption” AND “efficiency”) ditemukan artikel sebanyak 65 artikel. Hasil tersebut kemudian disaring kembali menurut kriteria inklusif dan eksklusif yang dapat dilihat pada Tabel 1. Proses penyaringan diperoleh 17 artikel untuk dianalisis lebih mendalam. Tahapan tinjauan sistematis menggunakan metode PRISMA dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Tinjauan Sistematis

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**RQ1:** Apa saja komponen teknologi presisi yang telah diterapkan dalam berbagai sistem usaha tani, khususnya di negara berkembang?

*International Society for Precision Agriculture* mendefinisikan pertanian presisi adalah strategi manajemen yang mengumpulkan, memproses dan menganalisis data temporal, spasial dan individual serta menggabungkannya dengan informasi lain untuk mendukung keputusan manajemen sesuai dengan perkiraan variabilitas guna meningkatkan efisiensi sumber daya, produktivitas, profitabilitas dan keberlanjutan produksi pertanian (ISPA, 2021). Pengumpulan dan penggunaan data dalam pertanian

presisi untuk memperoleh wawasan berharga tentang kinerja dan kesehatan tanaman dapat secara signifikan meningkatkan hasil panen melalui alokasi sumber daya yang tepat, mengurangi limbah dan membantu meminimalkan dampak lingkungan dengan melindungi kesehatan tanah serta kualitas air (Olajide *et al.*, 2024). Literatur menunjukkan bahwa teknologi presisi yang telah diterapkan di negara berkembang mencakup: (1) *remote sensing*; (2) GIS; (3) *yield monitoring and mapping*.

*Remote sensing* merupakan komponen fundamental dalam teknologi presisi yang berfungsi menyediakan informasi spasial dan temporal mengenai kondisi biofisik lahan secara akurat dan berkelanjutan. Teknologi ini memungkinkan akuisisi data tanpa kontak langsung dengan objek di lapangan melalui pemanfaatan berbagai platform seperti satelit, drone, maupun sensor berbasis darat. Dalam konteks pertanian presisi, *remote sensing* berperan penting dalam mendukung proses pengamatan variabilitas lahan, deteksi kondisi tanaman, dan pemantauan perubahan lingkungan dalam skala luas dan waktu yang konsisten (Gelaye & Luo, 2024).

Berbagai jenis sensor digunakan dalam teknologi ini, termasuk sensor optik, multispektral, hiperspektral, serta sensor tanah seperti sensor pH, kelembapan, suhu, dan kandungan bahan organik. Sensor tersebut dapat dipasang pada satelit, wahana udara, atau peralatan pertanian, dan terhubung dengan sistem transmisi data untuk dianalisis secara terpusat (Sharma *et al.*, 2024). Mekanisme ini menghasilkan informasi diagnostik yang dapat digunakan petani untuk mengidentifikasi kebutuhan tanaman secara lebih presisi, mengatur strategi pemupukan dan irigasi, serta memetakan tingkat stres tanaman pada berbagai zona lahan.

*Remote sensing* berkontribusi signifikan terhadap peningkatan efisiensi penggunaan input, pengurangan variabilitas hasil, serta optimalisasi produktivitas melalui pengambilan keputusan berbasis data (Olajide *et al.*, 2024). Penggunaan *remote sensing* memiliki akurasi deteksi sebesar 92% untuk kondisi lingkungan dan tanaman (Padhiary *et al.*, 2024). Teknologi ini mempermudah deteksi dini terhadap serangan hama, defisiensi nutrisi, atau kekeringan, sehingga tindakan korektif dapat dilakukan lebih cepat dan tepat sasaran (Mgendi, 2024). Namun demikian, pemanfaatan *remote sensing* di negara berkembang masih menghadapi sejumlah hambatan. Tantangan tersebut mencakup keterbatasan kapasitas teknis dalam interpretasi data, tingginya biaya pengadaan dan pemeliharaan sensor, variabilitas biofisik lahan yang kompleks, serta keterbatasan infrastruktur digital yang mendukung transmisi dan pemrosesan data (Sharma *et al.*, 2024). Kendala ini berpengaruh pada tingkat adopsi di kalangan petani kecil, yang umumnya memiliki sumber daya terbatas.

Penerapan *remote sensing* di negara berkembang telah terdokumentasi dalam studi Fue *et al.*, (2025) di kawasan Afrika Timur, khususnya Kenya dan Tanzania, yang menunjukkan bahwa teknologi ini dimanfaatkan untuk pemantauan jarak jauh kesehatan tanaman dan evaluasi status nutrisi berbasis data spasial. Temuan tersebut sejalan dengan Dukat *et al.*, (2025) yang menegaskan bahwa integrasi data citra memungkinkan identifikasi variabilitas lahan dan deteksi zona stres tanaman secara dini. Melalui mekanisme ini, *remote sensing* mendukung pengambilan keputusan yang lebih responsif dalam pengelolaan budidaya, sehingga berkontribusi pada peningkatan efisiensi manajemen hasil dan pengurangan risiko kehilangan produksi.

*Geographic Information System* (GIS) merupakan komponen esensial dalam pertanian presisi yang berfungsi mengintegrasikan, menganalisis, dan memvisualisasikan data spasial untuk

mendukung pengambilan keputusan berbasis lokasi. GIS memungkinkan pengorganisasian berbagai lapisan informasi seperti kelembapan tanah, status hara, topografi, curah hujan, serta data hasil panen ke dalam peta digital yang dapat diinterpretasikan secara lebih komprehensif dibandingkan dengan peta konvensional (Sharma *et al.*, 2024). Kemampuan ini menjadikan GIS sebagai alat penting dalam memahami variabilitas spasial di dalam lahan pertanian serta dalam merancang intervensi manajemen yang lebih tepat.

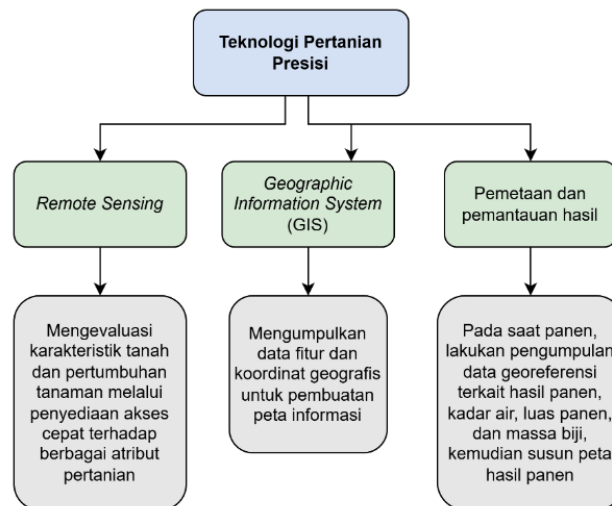
GIS memfasilitasi penerapan input pertanian secara presisi, seperti pemupukan, pengairan, dan pengendalian hama, sehingga mampu meminimalkan pemborosan sumber daya sekaligus menekan dampak lingkungan. Teknologi ini juga berperan penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan melalui pemetaan potensi erosi, identifikasi zona risiko degradasi tanah, serta analisis kesesuaian lahan (Mani *et al.*, 2021). Di bidang pengelolaan hama terpadu, GIS memungkinkan deteksi pola penyebaran hama dan penyakit secara spasial, sehingga strategi pengendalian dapat dirancang dengan cakupan dan intensitas yang lebih efektif (Ahmad, 2025). Selain itu, integrasi GIS dengan data hasil panen, irigasi, dan analisis tanah memberikan gambaran yang lebih holistik mengenai kondisi agronomis lahan, yang diperlukan dalam manajemen berbasis bukti (Sharma *et al.*, 2025).

Penerapan GIS di negara berkembang telah dilaporkan pada berbagai sistem usaha tani. Sharma *et al.*, (2025), misalnya, menunjukkan bahwa GIS di India dapat dimanfaatkan untuk analisis kesesuaian lahan melalui integrasi persyaratan tumbuh tanaman dengan karakteristik biofisik lahan. Pendekatan spasial tersebut memungkinkan identifikasi area dengan keterbatasan fisik yang memengaruhi produktivitas serta penyusunan rekomendasi berbasis lokasi untuk perencanaan penggunaan lahan. Temuan ini menegaskan bahwa GIS tidak hanya meningkatkan akurasi perencanaan produksi, tetapi juga mendukung efisiensi tata kelola lahan secara lebih sistematis dalam konteks negara berkembang.

*Yield monitoring and mapping* atau pemantauan dan pemetaan hasil panen merupakan komponen kunci dalam pertanian presisi yang memungkinkan evaluasi spasial terhadap variabilitas hasil panen di dalam suatu lahan. Teknologi ini bekerja dengan mengumpulkan data georeferensi mengenai hasil biji-bijian, kadar air, massa per bulir, serta luas area yang dipanen. Data tersebut umumnya dihimpun secara kontinu pada setiap muatan atau setiap bidang lahan selama beberapa tahun (minimal lima tahun), sehingga menghasilkan basis data yang cukup stabil untuk mengurangi bias yang muncul akibat fluktuasi cuaca atau kondisi lingkungan yang tidak terduga (Sharma *et al.*, 2024).

Pengumpulan data hasil panen yang bersifat longitudinal sangat penting dalam mengevaluasi performa praktik budidaya, memetakan tren produktivitas, dan mengidentifikasi zona dengan produktivitas tinggi maupun rendah. Informasi ini memungkinkan petani dan pengambil keputusan untuk merancang intervensi spesifik lokasi, seperti penyesuaian dosis pupuk, pengendalian hama, atau pengaturan irigasi secara lebih presisi (Nafar *et al.*, 2025). Setelah data dikompilasi, peta hasil (*yield maps*) kemudian dirata-ratakan atau dianalisis berdasarkan pola spasial untuk memvisualisasikan fluktuasi hasil panen di dalam suatu satuan lahan, sehingga mempermudah interpretasi dan penetapan strategi manajemen yang optimal (Sharma *et al.*, 2024).

Penerapan teknologi *yield monitoring and mapping* di negara berkembang telah dibuktikan dalam beberapa studi. Sebagai contoh, penelitian Fatchurrachman *et al.*, (2023) di Malaysia mengimplementasikan teknologi ini untuk memprediksi potensi hasil panen padi dan memproyeksikan produksi di masa depan. Pemetaan sawah di wilayah tropis menjadi sangat penting karena padi ditanam sepanjang tahun, sehingga *monitoring* berkelanjutan diperlukan untuk mengidentifikasi dinamika produksi. Informasi yang dihasilkan dari peta hasil tersebut membantu pemangku kebijakan dalam mengevaluasi pencapaian target swasembada beras dan perencanaan strategi ketahanan pangan.



Gambar 2. Teknologi Presisi

Sumber: (Sharma *et al.*, 2024)

**RQ2:** Bagaimana penerapan teknologi presisi berkontribusi terhadap keberlanjutan usaha tani dari perspektif ekonomi, sosial, dan lingkungan?

(Latino *et al.*, 2021) menjelaskan bahwa keberlanjutan dapat ditinjau dari tiga perspektif. Pertama, keberlanjutan lingkungan mencakup pelestarian keanekaragaman hayati, pengelolaan sumber daya alam secara efisien, dan promosi produk lokal. Kedua, keberlanjutan sosial, yang menekankan penciptaan lapangan kerja di pedesaan, transfer pengetahuan kepada generasi baru, dan kerja sama dalam rantai nilai. Ketiga, keberlanjutan ekonomi menekankan jaminan mata pencaharian petani dan tercapainya harga yang adil bagi konsumen. Berdasarkan perspektif ini, pertanian presisi berperan penting dalam mendukung keberlanjutan usaha tani melalui optimalisasi input, peningkatan produktivitas, dan penguatan kapasitas sosial-ekonomi petani (Roy & Medhekar, 2025)

**Aspek ekonomi.** Penerapan teknologi presisi secara signifikan meningkatkan keberlanjutan ekonomi usaha tani melalui efisiensi penggunaan input dan peningkatan produktivitas. Teknologi seperti *yield monitoring*, *remote sensing*, dan GIS memungkinkan petani mengalokasikan pupuk, pestisida, dan air secara tepat sesuai kebutuhan tanaman dan kondisi lahan. Hal ini menurunkan pemborosan sumber daya, mengurangi biaya tenaga kerja, dan mengurangi kerugian pasca-panen (Nafar *et al.*, 2025). Selain itu, efisiensi input berdampak langsung pada profitabilitas (Pandeya *et al.*, 2025).

Dengan meningkatnya produktivitas dan kualitas hasil panen yang lebih konsisten, petani memperoleh pendapatan yang lebih stabil dan daya saing usaha tani yang lebih tinggi. Dengan

demikian, pertanian presisi tidak hanya mengoptimalkan sumber daya dan menurunkan biaya, tetapi juga memperkuat ketahanan ekonomi usaha tani, menjadikannya lebih berkelanjutan dalam jangka panjang. Namun, bagi petani kecil di negara berkembang, realisasi manfaat ekonomi tersebut bergantung pada solusi yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik petani seperti teknologi yang terjangkau, program pelatihan dan kebijakan yang mendukung (Dukat *et al.*, 2025).

**Aspek sosial.** Penerapan pertanian presisi berkontribusi terhadap keberlanjutan sosial usaha tani melalui penguatan stabilitas mata pencaharian, peningkatan kapasitas adaptif petani, serta pemerataan akses terhadap teknologi sebagai indikator utama keberlanjutan sosial jangka panjang. Peningkatan produktivitas dan profitabilitas yang dihasilkan dapat memperkuat ketahanan ekonomi rumah tangga petani dan keberlanjutan ekonomi pedesaan dalam jangka panjang. Namun, realisasi manfaat tersebut sangat bergantung pada kapasitas sumber daya manusia, khususnya literasi digital dan kemampuan pengolahan data, yang berperan sebagai prasyarat adopsi teknologi.

Di negara berkembang, keterbatasan akses teknologi dan rendahnya kompetensi digital menciptakan kesenjangan adopsi yang berpotensi melemahkan keberlanjutan sosial apabila tidak diimbangi dengan investasi pada pengembangan kapasitas petani (Fue *et al.*, 2025). Hal ini didukung oleh temuan Santoso *et al.*, (2024) di Indonesia yang menunjukkan bahwa kesiapan petani dalam mengadopsi teknologi presisi berada pada kategori sedang dan secara signifikan dipengaruhi oleh faktor kemampuan dan kesempatan. Temuan ini menegaskan bahwa peningkatan literasi digital, pelatihan teknis, dan pemberdayaan petani merupakan mekanisme penting dalam memperkuat keberlanjutan sosial dan mencegah eksklusi teknologi.

Keberlanjutan sosial pertanian presisi juga dipengaruhi oleh tingkat inklusi gender dan kelompok rentan. Hambatan budaya dan finansial yang dihadapi perempuan serta kelompok terpinggirkan berisiko memperdalam ketimpangan sosial dan membatasi distribusi manfaat jangka panjang. Oleh karena itu, kebijakan dan intervensi yang mendorong akses teknologi yang adil, partisipasi inklusif, serta program pelatihan berbasis komunitas termasuk melalui peran pemerintah dan inisiatif *Corporate Social Responsibility* (CSR) menjadi prasyarat penting untuk memastikan bahwa pertanian presisi berkontribusi pada penguatan kapasitas sosial, regenerasi petani, dan keberlanjutan sosial sistem pertanian secara berkelanjutan (Mishra *et al.*, 2024; Roy & Medhekar, 2025).

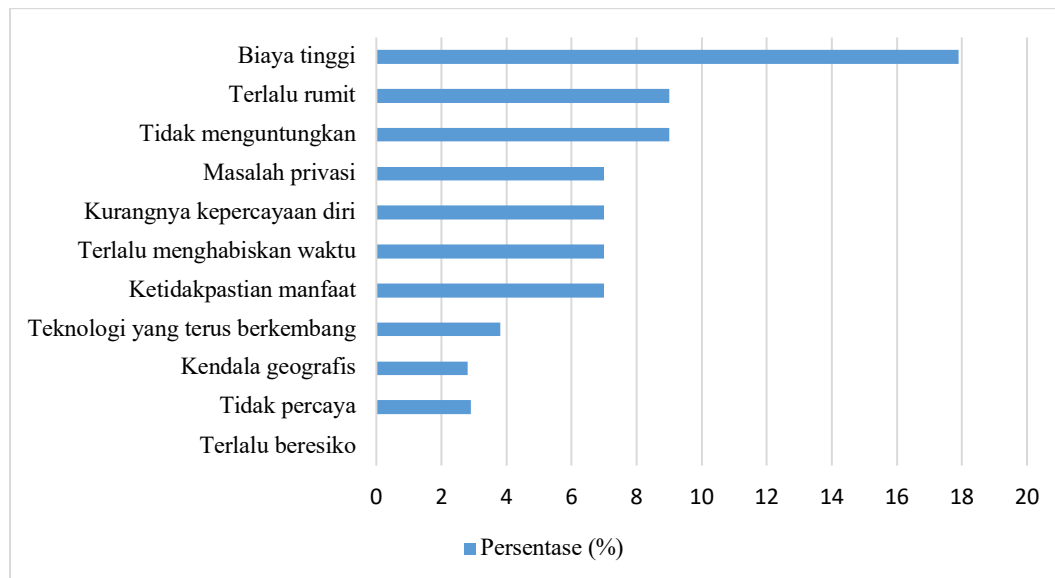
**Aspek lingkungan.** Penerapan pertanian presisi memberikan kontribusi penting terhadap keberlanjutan lingkungan melalui pemanfaatan sumber daya yang lebih efisien dan pengurangan dampak ekologis. Teknologi seperti irigasi presisi, sensor tanah, dan penerapan nutrisi otomatis memungkinkan alokasi air, pupuk, dan input lain secara tepat sesuai kebutuhan tanaman, sehingga meminimalkan pemborosan dan menurunkan dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, keputusan berbasis data memungkinkan deteksi penyakit dan hama secara lebih cepat, memastikan intervensi yang tepat waktu, serta meningkatkan produktivitas tanaman. Praktik manajemen seperti penanaman langsung, penanaman tepat waktu, dan pengendalian gulma yang tepat berkontribusi pada efisiensi penggunaan sumber daya dan peningkatan hasil (Roy & Medhekar, 2025).

Dampak lingkungan jangka panjang dari penerapan pertanian presisi mencakup pengurangan penggunaan bahan kimia, mitigasi degradasi tanah, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan

perlindungan keanekaragaman hayati. Selain itu, teknologi presisi mendukung adaptasi terhadap perubahan iklim, memungkinkan petani mengantisipasi fluktuasi iklim dan mengurangi risiko produksi.

Dengan mengintegrasikan teknologi presisi, petani dapat memperoleh manfaat ekonomi melalui efisiensi input dan peningkatan profitabilitas, serta memperkuat kapasitas sosial, mengurangi kesenjangan akses, dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Dengan demikian, pertanian presisi berperan sebagai strategi utama untuk mewujudkan sistem pertanian yang produktif, inklusif, dan berkelanjutan

**RQ3:** Apa saja hambatan yang dirasakan petani dalam mengadopsi teknologi presisi?



Gambar 3. Faktor sosial, ekonomi dan ekologis yang menghambat petani mengadopsi teknologi presisi

Sumber: (Pandeya *et al.*, 2025)

Penerapan teknologi presisi menghadapi sejumlah hambatan struktural yang memengaruhi tingkat adopsi, terutama pada kelompok petani skala kecil di negara berkembang (Nafar *et al.*, 2025). Dari 17 artikel yang memenuhi kriteria inklusi, 10 studi secara eksplisit mengidentifikasi tingginya biaya investasi awal sebagai hambatan utama, menjadikannya tema yang paling dominan dalam analisis. Investasi tersebut mencakup pengadaan sensor tanah, *drone* pemantau tanaman, sistem pemetaan berbasis GIS, serta perangkat lunak analitik. Beban biaya ini menjadi kendala ketika tidak tersedia skema dukungan pemerintah, seperti subsidi, insentif atau fasilitas kredit yang mudah diakses (Puppala *et al.*, 2023). Roy & Medhekar (2025) dan Petrovic *et al.*, (2025) mendukung temuan bahwa tingginya kebutuhan modal, keterbatasan akses kredit, dan persepsi risiko finansial menjadi faktor yang secara substansial menunda keputusan adopsi teknologi presisi.

Selain kendala ekonomi, keterbatasan kapasitas teknis dan literasi digital juga menjadi hambatan yang menonjol. Banyak petani belum memiliki kemampuan untuk mengoperasikan perangkat digital, mengelola data yang dihasilkan, atau mengambil keputusan berbasis analitik (Acharya *et al.*, 2023). Rendahnya literasi digital tidak hanya menghambat proses adopsi, tetapi juga menimbulkan ketergantungan pada pihak eksternal seperti teknisi atau penyuluh. Berdasarkan temuan Kalfas *et al.*, (2024), tingkat pengetahuan dan pendidikan petani menyumbang 44,6% variabilitas yang

memengaruhi keputusan adopsi, sehingga aspek kompetensi manusia menjadi prasyarat penting dalam keberhasilan implementasi teknologi presisi.

Infrastruktur pendukung yang belum memadai turut menjadi hambatan signifikan. Kualitas jaringan telekomunikasi, ketersediaan akses internet, kestabilan pasokan listrik, serta biaya perangkat konektivitas masih menjadi tantangan terutama di wilayah pedesaan. Faktor infrastruktur ini tercatat menyumbang 17,9% pengaruh terhadap rendahnya adopsi (Kalfas *et al.*, 2024). Ketiadaan infrastruktur yang memadai menyebabkan berbagai perangkat presisi tidak dapat berfungsi secara optimal, terutama teknologi yang bergantung pada transmisi data *real-time*.

Selain itu, isu kelembagaan dan sosial seperti ketidakjelasan regulasi kepemilikan data pertanian, kekhawatiran terhadap privasi, dan keraguan petani terhadap penyalahgunaan data turut memperlambat proses adopsi. Persoalan ini semakin relevan seiring meningkatnya digitalisasi sektor pertanian. Pada tingkat komunitas, ketimpangan akses teknologi antar kelompok sosial, termasuk perempuan dan kelompok terpinggirkan, juga memperbesar kesenjangan adopsi dan menuntut kebijakan intervensi yang lebih inklusif.

Literatur secara konsisten menunjukkan bahwa pertanian presisi memberikan manfaat agronomis dan ekonomi yang substansial, termasuk peningkatan efisiensi penggunaan input, optimasi pengelolaan lahan, serta peningkatan produktivitas dan profitabilitas. Oleh karena itu, strategi untuk mengatasi hambatan adopsi meliputi peningkatan literasi digital melalui pelatihan teknis, pengembangan skema pembiayaan inovatif, pemberian subsidi perangkat teknologi, serta penguatan infrastruktur telekomunikasi pedesaan. Finco *et al.*, (2023) menekankan bahwa ketersediaan pelatihan berkualitas merupakan prasyarat utama bagi petani untuk memahami karakteristik dan operasional teknologi presisi, sekaligus meningkatkan kesiapan dan kepercayaan dalam mengadopsinya.

Berdasarkan sintesis literatur secara keseluruhan, keberhasilan implementasi pertanian presisi memerlukan pendekatan multidimensi yang mencakup penguatan ekonomi, peningkatan kapasitas teknis dan sosial petani, penyediaan infrastruktur digital yang memadai, serta pengembangan kerangka regulasi yang melindungi hak dan data petani. Intervensi yang terintegrasi, inklusif, dan berbasis bukti menjadi kunci dalam mempercepat transformasi digital sektor pertanian sekaligus memastikan adopsi teknologi yang berkelanjutan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kajian ini menunjukkan bahwa teknologi presisi seperti *remote sensing*, GIS, serta *yield monitoring and mapping* telah banyak dilaporkan dalam literatur yang ditinjau dan berkontribusi terhadap keberlanjutan usaha tani dari aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan melalui peningkatan efisiensi input, penguatan kesejahteraan petani, serta pengelolaan sumber daya alam yang lebih ramah lingkungan. Namun, analisis tematik terhadap 17 artikel terpilih menunjukkan bahwa hambatan yang paling sering dilaporkan adalah tingginya biaya investasi awal yang muncul pada mayoritas studi, diikuti oleh keterbatasan literasi digital dan infrastruktur pendukung.

Berdasarkan distribusi tema dalam literatur yang dianalisis, dimensi ekonomi (khususnya peningkatan efisiensi input dan produktivitas) merupakan aspek yang paling dominan dibahas, sementara dimensi sosial dan lingkungan relatif kurang dieksplorasi secara mendalam. Proporsi pembahasan antardimensi tersebut mengindikasikan adanya ketidakseimbangan fokus kajian yang

menunjukkan manfaat ekonomi memperoleh perhatian lebih besar dibandingkan implikasi sosial dan ekologisnya. Temuan tersebut menegaskan bahwa keberlanjutan pertanian presisi tidak hanya ditentukan oleh kemajuan teknologi, namun harus didukung oleh kesiapan sosial petani, kapasitas sumber daya manusia, serta tata kelola institusional yang mampu menjembatani transformasi digital secara inklusif. Dengan demikian, pengembangan pertanian presisi perlu dipahami sebagai proses multidimensional yang mengintegrasikan inovasi teknologi dengan penguatan kapasitas dan ekosistem kelembagaan.

Saran kebijakan dan riset di masa yang akan datang perlu difokuskan pada pengembangan skema pembiayaan adaptif bagi petani kecil (misalnya model sewa alat atau pembiayaan kolektif), program peningkatan kapasitas berbasis kebutuhan operasional di tingkat lahan, serta penguatan konektivitas digital pedesaan sebagai prasyarat sistemik adopsi. Selain itu, karena literatur masih didominasi oleh pembahasan dimensi ekonomi dibandingkan dengan sosial dan lingkungan, penelitian selanjutnya perlu memperluas analisis pada dampak sosial jangka panjang, inklusi kelompok rentan, serta pengukuran kuantitatif dampak ekologis agar pengembangan pertanian presisi tidak hanya efisien secara ekonomi, tetapi juga inklusif dan berkelanjutan secara menyeluruh.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu peneliti saat pelaksanaan penelitian dalam pengambilan data.

### PERNYATAAN KONTRIBUSI

Dalam artikel ini, Yunita Alfina Puspita Sari berperan sebagai kontributor utama dan kontributor korespondensi, Dinda Amalia Gumay sebagai kontributor anggota.

### DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, B. K., Timalisina, A. K., Joshi, B., & Magar, B. T. (2023). IoT based distributed framework for agricultural decision support system. In *2023 7th International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC)* (pp. 83-93). IEEE.
- Ahmad, S. (2025). Information and communication technologies in sustainable crop protection: advancing towards sustainable agriculture. *Proceedings of the Indian National Science Academy 2025*, 1–11. <https://doi.org/10.1007/S43538-025-00443-W>
- Badan Pusat Statistik. (2023). Hasil Pencacahan Lengkap Sensus Pertanian 2023.
- Dukat, D., Wahyuni, I., & Prihtyantoro, W. (2025). The Role of Precision Agriculture Technologies in Enhancing Sustainable Farming Practices Among Smallholder Farmers. *The Journal of Academic Science*, 2(6), 1666-1677.
- Fatchurrachman, Rudiyanto, Soh, N. C., Shah, R. M., Giap, S. G. E., Setiawan, B. I., & Minasny, B. (2023). Automated near-real-time mapping and monitoring of rice growth extent and stages in Selangor Malaysia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31, 100993. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2023.100993>
- Finco, A., Bentivoglio, D., Belletti, M., Chiaraluce, G., Fiorentini, M., Ledda, L., & Orsini, R. (2023). Does Precision Technologies Adoption Contribute to the Economic and Agri-Environmental Sustainability of Mediterranean Wheat Production? An Italian Case Study. *Agronomy 2023, Vol. 13, Page 1818, 13(7)*, 1818. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13071818>
- Due, K. G., Baitu, G. P., Jokonya, O., Banwart, S., & Korsten, L. (2025). Digitalization of precision

- fertilization in East Africa: adoption, benefits and losses. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1497577.
- Gelaye, Y., & Luo, H. (2024). Optimizing Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Production: Genetic Insights, Climate Adaptation, and Efficient Management Practices: Systematic Review. *Plants* 2024, Vol. 13, Page 2988, 13(21), 2988. <https://doi.org/10.3390/PLANTS13212988>
- ISPA. (2021). *Precision Agriculture Definition: International Society of Precision Agriculture*. <https://www.ispag.org/resources/definition>
- Kalfas, D., Kalogiannidis, S., Papaevangelou, O., Melfou, K., & Chatzitheodoridis, F. (2024). Integration of Technology in Agricultural Practices towards Agricultural Sustainability: A Case Study of Greece. *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 2664, 16(7), 2664. <https://doi.org/10.3390/SU16072664>
- Kementerian Pertanian. (2025). Retrieved November 10, 2025, <https://www.pertanian.go.id/?show=news&act=view&id=7267>
- Kumar, S., & Sharma. (2025). Harnessing Big Data for Precision Agriculture: Improving Crop Yields and Resource Management. *2025 International Conference on Automation and Computation (AUTOCOM)*, 1196–1201.
- Latino, M., Corallo, A., Menegoli, M., & Nuzzo, B. (2021). Agriculture 4.0 as enabler of sustainable agri-food: A proposed taxonomy. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(10), 3678–3696.
- Lawasi, M., A. (2023). Peluang dan Tantangan Indonesia dalam Menghadapi Megatrend Dunia Tahun. *Seminar Nasional HMP UNS*.
- Mamabolo, E., Mashala, M. J., Mugari, E., Mogale, T. E., Mathebula, N., Mabitsela, K., & Ayisi, K. K. (2025). Application of precision agriculture technologies for crop protection and soil health. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101270. <https://doi.org/10.1016/J.ATECH.2025.101270>
- Mani, P. K., Mandal, A., Biswas, S., Sarkar, B., Mitran, T., & Meena, R. S. (2021). Remote Sensing and Geographic Information System: A Tool for Precision Farming. *Geospatial Technologies for Crops and Soils*, 49–111. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6864-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6864-0_2)
- Mešić, A., Jurić, M., Donsì, F., Maslov Bandić, L., & Jurić, S. (2024). Advancing climate resilience: technological innovations in plant-based, alternative and sustainable food production systems. *Discover Sustainability*, 5(1), 423.
- Mgendi, G. (2024). Unlocking the potential of precision agriculture for sustainable farming. *Discover Agriculture*, 2(1), 87.
- Mishra, S., Deena, J. S., K., S., & Thoutam, N., R., R. (2024). Exploring The Potential Of Precision Agriculture Technologies To Enhance Resource Use Efficiency And Sustainability In Smallholder Farming Systems. *Journal of Environmental Protection and Ecology*.
- Mizik, T. (2023). How can precision farming work on a small scale? A systematic literature review. *Precision agriculture*, 24(1), 384-406.
- Nafar, N., Fatemi, M., & Rezaei-Moghaddam, K. (2025). Smart drone in sustainable agriculture: Evaluating four predictive models for technology adoption in Iran. *Smart Agricultural Technology*, 101363.
- Olajide, A. I., Bamiro, O. M., Adeyonu, A. G., & Faronbi, O. A. (2024). Technological innovations and Potential Adaptation Strategies for Agriculture in developing countries; A Case study of Nigeria. *IEEE International Conference on Emerging and Sustainable Technologies for Power and ICT in a Developing Society, NIGERCON, 2024*. <https://doi.org/10.1109/NIGERCON62786.2024.10927284>
- Padhiary, M., Saikia, P., Roy, P., Hussain, N., & Kumar, K. (2025). A review on advancing agricultural

efficiency through geographic information systems, remote sensing, and automated systems. *Cureus Journal of Engineering*.

- Pandeya, S., Gyawali, B. R., & Upadhaya, S. (2025). Factors Influencing Precision Agriculture Technology Adoption Among Small-Scale Farmers in Kentucky and Their Implications for Policy and Practice. *Agriculture 2025*, Vol. 15, Page 177, 15(2), 177. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE15020177>
- Patria, I. (2025). Transformasi Pertanian Presisi Berbasis Digital di Indonesia: Tinjauan Sistematis Peluang dan Tantangan. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 4(6), 1462-1477.
- Peña-Holguín, R. R., Vaca-Coronel, C. A., Farías-Lema, R. M., Zapatier-Castro, S. V., & Valenzuela-Cobos, J. D. (2025). Smart agriculture in Ecuador: Adoption of IoT technologies by farmers in Guayas to improve agricultural yields. *Agriculture*, 15(15), 1679.
- Petrovic, B., Kononets, Y., & Csambalik, L. (2025). Adoption of drone, sensor, and robotic technologies in organic farming systems of Visegrad countries. *Heliyon*, 11(1).
- Puppala, H., Peddinti, P. R. T., Tamvada, J. P., Ahuja, J., & Kim, B. (2023). Barriers to the adoption of new technologies in rural areas: The case of unmanned aerial vehicles for precision agriculture in India. *Technology in Society*, 74, 102335. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2023.102335>
- Roy, M., & Medhekar, A. (2025). Transforming smart farming for sustainability through agri-tech Innovations: Insights from the Australian agricultural landscape. *Farming System*, 3(4), 100165. <https://doi.org/10.1016/J.FARSYS.2025.100165>
- Saha, P., Kumar, V., & Kathuria, S. (2023). Precision agriculture using internet of things and wireless sensor networks. *2023 International Conference on Disruptive Technologies (ICDT)*, 519–522.
- Santoso, A. B., Ulina, E. S., Batubara, S. F., Chairuman, N., Sudarmaji, Indrasari, S. D., Pustika, A. B., Sutrisna, N., Surdianto, Y., Rahmini, Aryati, V., Manurung, E. D., Purba, H. F. P., Senoaji, W., Kotta, N. R. E., Parhusip, D., Widiastuty, Mugiasih, A., & Lumban Tobing, J. M. (2024). Are Indonesian rice farmers ready to adopt precision agricultural technologies? *Precision Agriculture 2024 25:4*, 25(4), 2113–2139. <https://doi.org/10.1007/S11119-024-10156-7>
- Sharma, A., Prakash, A., Bhambota, S., & Kumar, S. (2024). Investigations of precision agriculture technologies with application to developing countries. *Environment, Development and Sustainability 2024 27:7*, 27(7), 15135–15171. <https://doi.org/10.1007/S10668-024-04572-Y>
- Sirotujanah, R., Aros D. A., & Prasetyo, T., F. (2025). Systematic Literature Review lot Untuk Pertanian Presisi Dan Kesehatan Tanah. *Seminar Teknologi Majalengka (Stima)*.
- Wulandari, E. & Kurniati E. (2025). Karakteristik Pertanian Di Indonesia: Antara Tradisi, Tantangan Struktural, Dan Peluang Transformasi. *Jurnal Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, 2(1), 57–72.
- Zaman, Q. U. (2023). Precision agriculture technology: a pathway toward sustainable agriculture. *Precision Agriculture: Evolution, Insights and Emerging Trends*, 1–17. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18953-1.00013-1>