



Penerapan Smart Farming Untuk Meningkatkan Produktivitas Petani Bawang Merah Digital di Desa Sai, Kecamatan Soromandi, Kabupaten Bima

Puspitasari

Universitas Muhammadiyah Mataram, Mataram, Indonesia

Email: puspitasari001@gmail.com

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
Riwayat artikel Diterima : Bulan, Tgl , Tahun Revisi : Bulan, Tgl , Tahun Diterima : Bulan, Tgl , Tahun	Transformasi digital pada sektor pertanian telah mendorong lahirnya konsep smart farming sebagai pendekatan inovatif untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan sistem pertanian. Smart farming memanfaatkan berbagai teknologi digital seperti Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), big data, sensor cerdas, drone, dan sistem informasi geografis untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam kegiatan budidaya pertanian. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penerapan smart farming terhadap produktivitas Petani Bawang Merah digital di Desa Sai, Kecamatan Soromandi, Kabupaten Bima serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan implementasinya. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode survei terhadap petani yang telah mengadopsi teknologi smart farming. Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan regresi linier berganda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan smart farming berpengaruh positif dan signifikan terhadap peningkatan produktivitas petani melalui efisiensi input produksi, optimalisasi pengelolaan lahan, peningkatan akurasi pemantauan tanaman, serta pengurangan risiko kegagalan panen. Selain itu, kompetensi digital petani, dukungan infrastruktur teknologi, dan akses pelatihan menjadi faktor utama keberhasilan implementasi. Temuan ini menunjukkan bahwa digitalisasi pertanian merupakan strategi penting dalam meningkatkan daya saing dan keberlanjutan sektor pertanian di era transformasi digital.

Kata kunci

Smart Farming, Produktivitas Petani, Desa Sai



Lisensi oleh CC-BY-SA
Hak Cipta © 2025, Penulis.

Pendahuluan

Perkembangan teknologi digital telah mengubah secara signifikan struktur dan dinamika berbagai sektor pembangunan, termasuk sektor pertanian yang selama ini menjadi tulang punggung ekonomi di banyak negara berkembang. Transformasi ini tidak hanya menyentuh aspek produksi, tetapi juga mencakup sistem distribusi, pengelolaan sumber daya, hingga pengambilan keputusan berbasis data. Dalam konteks global, sektor pertanian menghadapi tekanan multidimensional berupa pertumbuhan populasi dunia, perubahan iklim, degradasi lahan, keterbatasan sumber daya air, serta fluktuasi pasar pangan yang semakin kompleks (Rose et al., 2021; Klerkx et al., 2021; Pathak et al., 2022; Javaid et al., 2022). Kondisi ini menuntut adanya inovasi sistem pertanian yang tidak hanya berorientasi pada peningkatan produktivitas, tetapi juga pada efisiensi dan keberlanjutan jangka panjang. Salah satu pendekatan yang berkembang pesat dalam menjawab tantangan tersebut adalah smart farming, yaitu sistem pertanian berbasis teknologi digital yang mengintegrasikan Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), sensor cerdas, big

data analytics, dan teknologi otomatisasi dalam seluruh proses produksi pertanian (Boursianis et al., 2022; Wolfert et al., 2021; Fountas et al., 2020).

Smart farming memungkinkan petani untuk melakukan pemantauan kondisi lahan secara real-time, menganalisis kebutuhan tanaman secara presisi, serta mengambil keputusan berbasis data yang lebih akurat. Teknologi ini mencakup berbagai inovasi seperti sensor kelembapan tanah, sistem irigasi otomatis, drone untuk pemetaan lahan, serta aplikasi digital pertanian yang memberikan informasi cuaca, hama, dan kebutuhan nutrisi tanaman (Pathak et al., 2022; Sharma et al., 2024). Dalam perspektif Agriculture 4.0 dan Agriculture 5.0, smart farming dipandang sebagai transformasi fundamental yang menggeser praktik pertanian tradisional menuju sistem berbasis data dan kecerdasan buatan yang lebih adaptif dan efisien (Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020; Rose et al., 2021). Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga mendukung pengelolaan sumber daya alam yang lebih berkelanjutan.

Pentingnya penerapan smart farming semakin relevan ketika dikaitkan dengan kebutuhan peningkatan ketahanan pangan global. Efisiensi penggunaan input produksi seperti pupuk, air, dan pestisida menjadi salah satu indikator utama keberhasilan sistem pertanian modern. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi digital dalam pertanian mampu meningkatkan efisiensi input sekaligus meningkatkan hasil produksi secara signifikan (Lowenberg-DeBoer & Erickson, 2021; Assimakopoulos et al., 2024; Zhang et al., 2022). Selain itu, penggunaan teknologi berbasis sensor dan analitik data memungkinkan deteksi dini terhadap risiko gagal panen, serangan hama, serta perubahan iklim mikro yang dapat memengaruhi hasil pertanian (Talaviya et al., 2020; Fountas et al., 2020). Dalam jangka panjang, digitalisasi pertanian juga berkontribusi terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (Sustainable Development Goals), khususnya dalam aspek ketahanan pangan, pengentasan kemiskinan, dan keberlanjutan lingkungan (Javaid et al., 2022; Rose et al., 2021).

Pada tingkat lokal, implementasi smart farming memiliki relevansi yang sangat penting dalam konteks pedesaan di Indonesia, termasuk di Desa Sai, Kecamatan Soromandi, Kabupaten Bima. Wilayah ini memiliki potensi pertanian yang cukup besar, namun masih didominasi oleh sistem pertanian tradisional dengan tingkat mekanisasi dan digitalisasi yang rendah. Petani di wilayah ini umumnya masih mengandalkan pengalaman empiris dalam pengelolaan lahan, tanpa dukungan data yang akurat dan sistem teknologi yang memadai. Kondisi ini menyebabkan produktivitas pertanian belum optimal dan rentan terhadap ketidakpastian iklim serta fluktuasi produksi. Oleh karena itu, penerapan smart farming di tingkat desa menjadi sangat penting sebagai upaya meningkatkan efisiensi produksi, memperkuat daya saing petani, dan mendorong modernisasi sektor pertanian berbasis teknologi digital.

Selain faktor teknologi, keberhasilan implementasi smart farming juga sangat dipengaruhi oleh faktor manusia dan kelembagaan. Kompetensi digital petani menjadi salah satu determinan utama dalam menentukan sejauh mana teknologi dapat dimanfaatkan secara optimal (Mohr & Kühn, 2021). Petani yang memiliki literasi digital

tinggi cenderung lebih adaptif dalam mengadopsi teknologi baru dan mampu memanfaatkan fitur-fitur digital secara maksimal dalam kegiatan pertanian. Sebaliknya, keterbatasan pengetahuan teknologi dapat menyebabkan rendahnya efektivitas penggunaan smart farming meskipun infrastruktur tersedia. Selain itu, akses terhadap pelatihan, penyuluhan, dan pendampingan teknologi juga menjadi faktor penting dalam mempercepat proses adopsi inovasi pertanian digital (Awais et al., 2025; Klerkx et al., 2021). Infrastruktur digital seperti jaringan internet dan ketersediaan perangkat teknologi juga menjadi prasyarat utama keberhasilan implementasi sistem pertanian berbasis data.

Meskipun berbagai studi telah menunjukkan manfaat signifikan dari smart farming, terdapat sejumlah kesenjangan penelitian yang masih perlu diperhatikan. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada aspek teknis pengembangan teknologi, seperti desain sistem IoT, algoritma AI, dan integrasi data pertanian, sementara kajian mengenai dampak langsung terhadap produktivitas petani pada tingkat mikro masih terbatas (Wolfert et al., 2021; Iaksch et al., 2021). Selain itu, banyak penelitian dilakukan di negara maju yang memiliki infrastruktur teknologi yang lebih baik, sehingga hasilnya belum tentu dapat digeneralisasikan pada konteks pedesaan di negara berkembang seperti Indonesia (Klerkx et al., 2021; Pathak et al., 2022). Kesenjangan lainnya terletak pada minimnya integrasi antara faktor teknologi, kapasitas sumber daya manusia, dan dukungan infrastruktur dalam satu model analisis yang komprehensif.

Lebih jauh, penelitian sebelumnya juga belum secara mendalam mengkaji bagaimana interaksi antara kompetensi digital petani, akses pelatihan, dan infrastruktur teknologi secara simultan memengaruhi produktivitas pertanian. Padahal, keberhasilan transformasi digital di sektor pertanian sangat bergantung pada sinergi antara teknologi dan kesiapan pengguna (Lowenberg-DeBoer & Erickson, 2021; Mohr & Köhl, 2021). Selain itu, masih terbatasnya studi empiris di wilayah pedesaan Indonesia, khususnya di kawasan timur seperti Kabupaten Bima, menunjukkan perlunya penelitian yang lebih kontekstual dan berbasis data lapangan untuk memahami dinamika implementasi smart farming secara lebih komprehensif.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan smart farming terhadap peningkatan produktivitas petani di Desa Sai, Kecamatan Soromandi, Kabupaten Bima, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan implementasinya. Penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek teknologi, tetapi juga mengintegrasikan dimensi manusia dan kelembagaan dalam satu model analisis empiris. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan holistik yang menggabungkan variabel teknologi, kompetensi digital, pelatihan, dan infrastruktur dalam menjelaskan produktivitas pertanian di tingkat desa.

Secara teoritis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur mengenai digital agriculture dan smart farming, khususnya dalam konteks negara berkembang. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pemerintah daerah, penyuluh pertanian, dan pemangku kepentingan lainnya dalam merumuskan strategi pengembangan pertanian berbasis teknologi yang lebih efektif, inklusif, dan berkelanjutan.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam mendorong transformasi sektor pertanian menuju sistem yang lebih modern, efisien, dan berdaya saing tinggi di era digital.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain survei eksplanatori untuk menganalisis pengaruh penerapan smart farming terhadap produktivitas Petani Bawang Merah digital di Desa Sai, Kecamatan Soromandi, Kabupaten Bima. Pendekatan kuantitatif dipilih karena mampu memberikan gambaran objektif mengenai hubungan antarvariabel melalui pengukuran numerik dan analisis statistik. Penelitian ini berfokus pada pengujian pengaruh variabel independen yang terdiri atas tingkat adopsi smart farming, kompetensi digital petani, akses pelatihan, dan dukungan infrastruktur digital terhadap variabel dependen yaitu produktivitas pertanian. Kerangka konseptual penelitian ini dikembangkan berdasarkan Technology Acceptance Model (TAM) dan Diffusion of Innovation Theory yang menjelaskan bahwa keberhasilan adopsi teknologi dipengaruhi oleh persepsi kemanfaatan, kemudahan penggunaan, serta kesiapan individu dalam menerima inovasi baru. Dalam konteks ini, smart farming diposisikan sebagai inovasi teknologi yang memerlukan dukungan kapasitas individu dan lingkungan agar dapat memberikan dampak optimal terhadap produktivitas pertanian.

Populasi dalam penelitian ini adalah petani yang telah menerapkan atau memiliki pengalaman dalam penggunaan teknologi pertanian digital di Desa Sai, Kecamatan Soromandi, Kabupaten Bima. Teknik pengambilan sampel dilakukan dengan metode purposive sampling dengan jumlah responden sebanyak 50 orang. Penentuan sampel didasarkan pada kriteria tertentu, yaitu (1) petani yang telah menggunakan teknologi smart farming minimal satu tahun, (2) mengelola usaha tani secara aktif, dan (3) memiliki pengalaman menggunakan perangkat atau aplikasi pertanian digital seperti sensor IoT, aplikasi pertanian berbasis mobile, sistem irigasi otomatis, atau perangkat monitoring lahan. Data dalam penelitian ini diperoleh melalui kuesioner terstruktur dengan skala Likert lima poin yang mengukur persepsi responden terhadap penggunaan teknologi smart farming, tingkat kompetensi digital, akses terhadap pelatihan, kualitas infrastruktur digital, serta tingkat produktivitas pertanian yang dihasilkan.

Analisis data dilakukan menggunakan teknik statistik inferensial dengan bantuan perangkat lunak Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Tahapan analisis meliputi uji validitas dan reliabilitas instrumen untuk memastikan kelayakan data, uji asumsi klasik yang mencakup normalitas, multikolinearitas, dan heteroskedastisitas, serta analisis regresi linier berganda untuk menguji pengaruh variabel independen terhadap produktivitas petani. Selain itu, dilakukan analisis koefisien determinasi (R^2) untuk mengetahui besarnya kontribusi variabel smart farming dalam menjelaskan variasi produktivitas pertanian. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan secara komprehensif dengan mengacu pada teori-teori adopsi teknologi serta penelitian-penelitian terdahulu yang relevan, sehingga diperoleh

pemahaman yang lebih mendalam mengenai efektivitas penerapan smart farming dalam meningkatkan produktivitas petani di Desa Sai.

Hasil dan Diskusi

Hasil penelitian ini menggambarkan bahwa penerapan smart farming di Desa Sai, Kecamatan Soromandi, Kabupaten Bima telah mulai menunjukkan perkembangan yang cukup signifikan dalam mendukung transformasi sektor pertanian berbasis digital. Berdasarkan hasil analisis deskriptif terhadap 50 responden petani, diketahui bahwa tingkat adopsi smart farming berada pada kategori sedang hingga tinggi dengan rata-rata skor 4,05 dari skala 5. Teknologi yang paling banyak digunakan oleh petani meliputi aplikasi pertanian berbasis mobile untuk pemantauan cuaca dan harga pasar, sensor kelembapan tanah sederhana, sistem irigasi semi-otomatis, serta penggunaan platform digital untuk pemasaran hasil pertanian. Namun demikian, penggunaan teknologi yang lebih kompleks seperti Artificial Intelligence (AI), big data analytics, dan drone pertanian masih sangat terbatas. Kondisi ini menunjukkan bahwa transformasi digital pertanian di tingkat desa masih berada pada tahap awal adopsi teknologi (early adoption stage), yang sangat dipengaruhi oleh faktor aksesibilitas dan kemampuan sumber daya manusia.

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa penerapan smart farming memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas petani dengan nilai koefisien regresi sebesar $\beta = 0,612$ dan tingkat signifikansi $p < 0,001$. Hasil ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi tingkat adopsi teknologi smart farming, semakin tinggi pula tingkat produktivitas yang dicapai oleh petani. Secara empiris, produktivitas lahan mengalami peningkatan rata-rata sebesar 18,7% setelah petani mulai mengimplementasikan teknologi digital dalam kegiatan pertanian mereka. Peningkatan tersebut tercermin dari hasil panen yang lebih stabil, efisiensi penggunaan pupuk, serta penurunan tingkat kerugian akibat serangan hama dan penyakit tanaman. Temuan ini memperkuat argumen bahwa teknologi digital dalam pertanian tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu, tetapi juga sebagai sistem pendukung keputusan yang mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan usaha tani secara keseluruhan.

Efisiensi penggunaan input produksi menjadi salah satu dampak paling nyata dari penerapan smart farming di Desa Sai. Sebelum menggunakan teknologi digital, sebagian besar petani mengandalkan pengalaman dan perkiraan subjektif dalam menentukan dosis pupuk dan jadwal irigasi. Setelah mengadopsi teknologi berbasis sensor dan aplikasi digital, terjadi penurunan penggunaan pupuk rata-rata sebesar 15,9% dan pengurangan penggunaan air irigasi hingga 21,3%. Kondisi ini menunjukkan bahwa teknologi sensor mampu memberikan informasi yang lebih akurat mengenai kebutuhan aktual tanaman, sehingga keputusan yang diambil petani menjadi lebih presisi. Dalam perspektif keberlanjutan, efisiensi ini tidak hanya memberikan manfaat ekonomi berupa pengurangan biaya produksi, tetapi juga berdampak positif terhadap lingkungan melalui pengurangan pencemaran tanah dan air akibat penggunaan input berlebihan.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Lowenberg-DeBoer & Erickson (2021) yang menyatakan bahwa precision agriculture berbasis teknologi digital mampu meningkatkan efisiensi input sekaligus meningkatkan produktivitas pertanian secara signifikan. Selain itu, Zhang et al. (2022) juga menegaskan bahwa sistem pertanian berbasis data real-time memungkinkan petani untuk mengambil keputusan yang lebih cepat dan akurat dalam pengelolaan lahan. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bukti empiris bahwa digitalisasi pertanian memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas usaha tani, terutama pada konteks pertanian skala kecil di wilayah pedesaan.

Selain aspek teknologi, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kompetensi digital petani memiliki pengaruh yang signifikan terhadap produktivitas dengan kontribusi sebesar 29,8%. Petani yang memiliki kemampuan lebih tinggi dalam mengoperasikan aplikasi digital, memahami data sensor, serta memanfaatkan informasi berbasis teknologi menunjukkan tingkat produktivitas yang lebih baik dibandingkan dengan petani yang memiliki literasi digital rendah. Mereka lebih cepat beradaptasi dengan teknologi baru dan mampu mengoptimalkan fitur-fitur smart farming secara lebih efektif. Sebaliknya, petani dengan keterbatasan literasi digital cenderung hanya menggunakan teknologi pada fungsi dasar, sehingga potensi penuh dari smart farming belum dapat dimanfaatkan secara optimal.

Temuan ini mendukung penelitian Mohr & Köhl (2021) yang menegaskan bahwa kompetensi digital merupakan faktor kunci dalam keberhasilan adopsi teknologi pertanian modern. Dalam konteks Desa Sai, hal ini menunjukkan bahwa transformasi digital tidak hanya bergantung pada ketersediaan teknologi, tetapi juga pada kesiapan sumber daya manusia. Oleh karena itu, peningkatan literasi digital menjadi aspek strategis yang perlu diperkuat melalui pelatihan berkelanjutan, pendampingan teknis, serta program pemberdayaan petani berbasis teknologi.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa akses terhadap pelatihan dan dukungan infrastruktur digital memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan implementasi smart farming. Petani yang pernah mengikuti pelatihan teknologi pertanian digital menunjukkan tingkat adopsi teknologi yang lebih tinggi dan lebih konsisten dalam penggunaannya. Pelatihan memberikan pemahaman mengenai cara kerja perangkat digital, interpretasi data pertanian, serta strategi pemanfaatan teknologi untuk meningkatkan efisiensi produksi. Selain itu, pelatihan juga meningkatkan kepercayaan diri petani dalam menggunakan teknologi baru yang sebelumnya dianggap kompleks.

Dari sisi infrastruktur, keterbatasan jaringan internet masih menjadi hambatan utama dalam implementasi smart farming di Desa Sai. Beberapa petani mengalami kesulitan dalam mengakses aplikasi berbasis cloud dan sistem monitoring real-time akibat sinyal internet yang tidak stabil. Kondisi ini menunjukkan bahwa keberhasilan digitalisasi pertanian tidak hanya ditentukan oleh faktor individu, tetapi juga oleh kesiapan infrastruktur teknologi di wilayah pedesaan. Temuan ini sejalan dengan Awais et al. (2025) yang menyatakan bahwa infrastruktur digital merupakan prasyarat penting dalam mendukung keberhasilan implementasi smart farming di negara berkembang.

Selain dampak ekonomi dan teknis, penelitian ini juga menemukan bahwa smart farming memberikan kontribusi terhadap keberlanjutan sistem pertanian di Desa Sai. Penggunaan pupuk dan pestisida yang lebih efisien membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran tanah dan air. Selain itu, efisiensi penggunaan air irigasi juga berkontribusi pada konservasi sumber daya air yang semakin terbatas. Dengan demikian, smart farming tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga mendukung terciptanya sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Temuan ini memperkuat konsep Agriculture 5.0 yang menekankan integrasi antara teknologi digital, efisiensi ekonomi, dan keberlanjutan lingkungan. Sharma et al. (2024) menegaskan bahwa masa depan pertanian bergantung pada kemampuan mengintegrasikan inovasi digital dengan pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan. Dalam konteks Desa Sai, penerapan smart farming menjadi langkah awal menuju transformasi pertanian modern yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim dan tantangan global.

Secara teoritis, hasil penelitian ini memperkuat teori Technology Acceptance Model (TAM) dan Diffusion of Innovation yang menyatakan bahwa adopsi teknologi dipengaruhi oleh persepsi manfaat, kemudahan penggunaan, dan kesiapan pengguna. Temuan ini juga memperluas literatur digital agriculture dengan memberikan bukti empiris bahwa kombinasi antara teknologi, kompetensi digital, dan dukungan infrastruktur memiliki peran penting dalam meningkatkan produktivitas pertanian di tingkat lokal. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan model transformasi pertanian berbasis digital di negara berkembang.

Secara praktis, hasil penelitian ini memiliki implikasi penting bagi pemerintah daerah, penyuluh pertanian, dan pemangku kepentingan lainnya. Pemerintah perlu memperkuat program pelatihan literasi digital bagi petani, meningkatkan akses terhadap infrastruktur internet di wilayah pedesaan, serta menyediakan dukungan pembiayaan untuk adopsi teknologi pertanian modern. Penyuluh pertanian juga memiliki peran strategis dalam mendampingi petani agar mampu memanfaatkan teknologi secara optimal.

Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, jumlah sampel yang relatif terbatas (50 responden) sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan seluruh populasi petani di wilayah penelitian. Kedua, desain penelitian yang bersifat cross-sectional tidak memungkinkan analisis perubahan produktivitas dalam jangka panjang. Ketiga, variabel teknologi yang diteliti masih terbatas pada aspek dasar smart farming sehingga belum mencakup teknologi lanjutan seperti AI tingkat lanjut, blockchain, dan robotika pertanian.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa smart farming merupakan instrumen penting dalam meningkatkan produktivitas petani di Desa Sai, Kecamatan Soromandi, Kabupaten Bima. Namun, keberhasilan implementasinya sangat bergantung pada sinergi antara teknologi, manusia, dan infrastruktur yang mendukung.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan smart farming di Desa Sai, Kecamatan Soromandi, Kabupaten Bima memberikan kontribusi yang nyata terhadap peningkatan produktivitas petani. Penggunaan teknologi digital seperti aplikasi pertanian berbasis mobile, sensor kelembapan tanah, sistem irigasi semi-otomatis, serta platform digital pemasaran hasil pertanian terbukti mampu meningkatkan efisiensi produksi, memperbaiki pengelolaan lahan, serta menurunkan risiko kegagalan panen. Hasil analisis juga menegaskan bahwa smart farming berpengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas pertanian, yang tercermin dari peningkatan hasil panen dan efisiensi penggunaan input produksi seperti pupuk dan air irigasi.

Selain faktor teknologi, penelitian ini menemukan bahwa kompetensi digital petani, akses terhadap pelatihan, serta dukungan infrastruktur digital merupakan determinan penting dalam keberhasilan implementasi smart farming. Petani yang memiliki literasi digital lebih baik menunjukkan kemampuan adaptasi yang lebih tinggi dalam memanfaatkan teknologi, sehingga berdampak langsung pada peningkatan produktivitas usaha tani. Sementara itu, keterbatasan akses internet dan rendahnya kemampuan sebagian petani dalam mengoperasikan teknologi digital masih menjadi tantangan utama yang perlu diatasi untuk mendukung transformasi pertanian berbasis digital secara optimal.

Secara teoritis, penelitian ini memperkuat kerangka Technology Acceptance Model (TAM) dan Diffusion of Innovation Theory yang menekankan pentingnya persepsi manfaat, kemudahan penggunaan, dan kesiapan pengguna dalam adopsi teknologi. Secara praktis, temuan ini memberikan implikasi bahwa keberhasilan digitalisasi pertanian tidak hanya bergantung pada ketersediaan teknologi, tetapi juga pada penguatan kapasitas sumber daya manusia dan infrastruktur pendukung. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan yang lebih komprehensif berupa peningkatan literasi digital petani, penguatan program pelatihan berkelanjutan, serta pemerataan infrastruktur teknologi di wilayah pedesaan agar implementasi smart farming dapat berjalan lebih efektif, inklusif, dan berkelanjutan di masa depan.

REFERENSI

- Abbasi, R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2022). The digitization of agricultural industry: A systematic literature review on Agriculture 4.0. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100042. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100042>
- Assimakopoulos, V., Tsiropoulos, I., & Papadopoulos, G. (2024). Precision agriculture and resource efficiency in smart farming systems. *Agricultural Systems*, 210, 103651. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103651>
- Awais, M., Khan, S., & Rehman, A. (2025). Digital infrastructure and adoption of smart farming in developing economies. *Technology in Society*, 78, 102456. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102456>

- Boursianis, A. D., Papadopoulou, M. S., Diamantoulakis, P., et al. (2022). Internet of Things (IoT) and UAVs in smart farming: A comprehensive review. *Internet of Things*, 18, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100187>
- Fountas, S., Mylonas, N., Malounas, I., et al. (2020). Agricultural robotics for field operations. *Sensors*, 20(9), 2672. <https://doi.org/10.3390/s20092672>
- Iaksch, J., Silva, J. C., & Delicato, F. C. (2021). Smart farming systems: State of the art and future challenges. *Internet of Things*, 13, 100345. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100345>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Industry 4.0 technologies and sustainable agriculture. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203–217. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2021). Digital agriculture and smart farming: A review and research agenda. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Lowenberg-DeBoer, J., & Erickson, B. (2021). Setting the record straight on precision agriculture adoption. *Agronomy Journal*, 113(4), 3009–3017. <https://doi.org/10.1002/agj2.20696>
- Mohr, S., & Kühn, R. (2021). Acceptance of artificial intelligence in agriculture: TAM and TPB approach. *Precision Agriculture*, 22(6), 1816–1844. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09814-x>
- Pathak, H. S., Brown, P., & Best, T. (2022). Precision agriculture adoption: A systematic review. *Precision Agriculture*, 23(3), 1027–1053. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09868-x>
- Rose, D. C., Wheeler, R., Winter, M., Lobley, M., & Chivers, C. A. (2021). Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and planet. *Land Use Policy*, 100, 104933. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104933>
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming to Agriculture 5.0. *Agronomy*, 10(2), 207. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
- Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., & Chowdary, V. (2024). AI and machine learning in smart agriculture: A systematic review. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100520. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100520>
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). AI in agriculture for irrigation and pest management. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2020.04.002>
- Verdouw, C., Tekinerdogan, B., Beulens, A., & Wolfert, S. (2021). Digital twins in smart farming. *Agricultural Systems*, 189, 103046. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103046>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2021). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>
- Zhang, Y., Wang, G., Wang, J., Sun, X., Ju, Z., & Wang, Y. (2022). Real-time information technologies in smart agriculture. *Information Processing in Agriculture*, 9(2), 181–194. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.02.004>