

INTEGRASI TEKNOLOGI IoT UNTUK PENGENDALIAN HAMA DAN OPTIMASI VPD PADA PERTANIAN PADI BERBASIS PLTS

Nurhayati Nurhayati¹, Mohammad As'ad Rosyadi², Sari Edi Cahyaningrum³, Akbar Izulhaq⁴, Sri Abidah Suryaningsih⁵

^{1,3,4,5} Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

² Universitas Telkom Bandung, Indonesia

[1nurhayati@unesa.ac.id](mailto:nurhayati@unesa.ac.id)

Abstract

Rice plants are one of the largest sources of staple food consumed by humans, but agricultural pest attacks are often a problem that makes rice plants experience a decrease in productivity, besides climate change and increasing energy needs, which trigger the development of smart farming systems. Integration of IoT Technology for Pest Control and VPD Optimization in Solar-Based Rice Farming is one of the technological breakthroughs in agriculture to overcome the existing problems. This technology is the development of a smart farming system that can control pests and conduct microclimate monitoring to increase production and quality of crops in Jombang farmer groups. This system is integrated with the Internet of Things (IoT) and various types of sensors such as temperature, humidity, lidar, rain drop, light intensity, rainfall, air pressure, moisture, pH, wind speed, which function to collect real-time data as a basis for making decisions on pest control and optimization of plant conditions. The system is powered by solar panels combined with batteries, so it can operate independently and sustainably.

Keywords: *smart agriculture; pest control; IoT (Internet of Things); VPD optimization; sustainable agriculture*

Abstrak

Tanaman padi menjadi salah satu sumber bahan pokok yang paling besar dikonsumsi manusia, namun serangan hama pertanian sering kali menjadi masalah yang membuat tanaman padi mengalami penurunan produktivitas, selain itu perubahan iklim dan kebutuhan energi yang kian meningkat memicu pengembangan sistem pertanian pintar. Integrasi Teknologi IoT untuk Pengendalian Hama dan Optimasi VPD pada Pertanian Padi Berbasis PLTS menjadi salah satu terobosan teknologi dalam bidang pertanian untuk mengatasi permasalahan yang ada. Teknologi ini merupakan pengembangan sistem pertanian cerdas yang dapat mengendalikan hama serta melakukan pemantauan mikroklimat untuk meningkatkan produksi maupun kualitas hasil panen pada kelompok tani Jombang. Sistem ini terintegrasi dengan *Internet of Think* (IoT) serta berbagai jenis sensor seperti sensor suhu, kelembaban, lidar, rain drop, intensitas cahaya, curah hujan, tekanan udara, moisture, pH, kecepatan angin yang berfungsi untuk mengumpulkan data secara *real-time* sebagai dasar dalam pengambilan keputusan pengendalian hama serta optimasi kondisi tanaman. Sistem ini ditenagai oleh panel surya yang dikombinasikan dengan baterai, sehingga dapat beroperasi secara mandiri dan berkelanjutan.

Kata Kunci: pertanian cerdas; pengendalian hama; IoT (*Internet of Things*); pengoptimalan VPD; pertanian berkelanjutan

Submitted: 2025-09-02

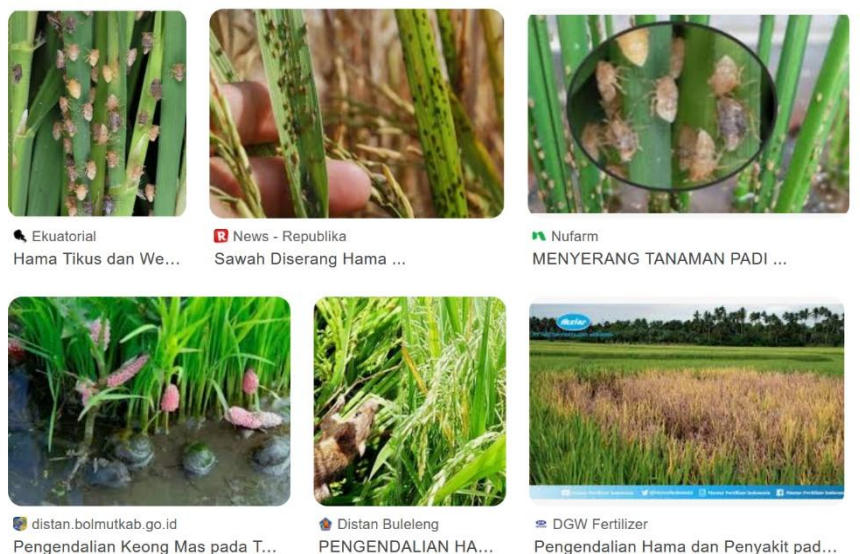
Revised: 2025-09-15

Accepted: 2025-09-22

Pendahuluan

Pertanian padi merupakan salah satu sektor utama dalam ketahanan pangan global, berkontribusi terhadap sekitar 21% dari total kalori yang dikonsumsi manusia di seluruh dunia (Mohidem et al., 2022). Namun, produktivitas pertanian padi menghadapi berbagai tantangan teknis yang kompleks, termasuk serangan hama, perubahan iklim, serta kebutuhan energi yang signifikan untuk mendukung sistem pertanian modern. Serangan hama seperti wereng coklat dan tikus dapat menyebabkan kehilangan hasil panen sebesar 30-50% (John et al., 2023) sementara perubahan pola iklim yang semakin ekstrem dapat berkontribusi pada penurunan produksi hingga 10-25% akibat gangguan siklus pertumbuhan dan peningkatan kejadian cuaca ekstrem (Peng et al., 2009).

Serangan hama masih menjadi kendala utama dalam produksi padi, dengan populasi wereng coklat yang meningkat secara signifikan dalam sistem pertanian yang kurang dikelola dengan baik (Listihani et al., 2022). Strategi pengendalian hama berbasis konvensional seperti penggunaan insektisida kimia sering kali kurang efektif dalam jangka panjang dan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan serta ketahanan ekosistem pertanian (Sánchez-Bayo, 2021). Selain itu, perubahan iklim global semakin memperburuk kondisi pertanian melalui peningkatan suhu, fluktuasi kelembaban, dan perubahan pola curah hujan, yang secara langsung berdampak pada defisit tekanan uap (*Vapor Pressure Deficit*/VPD) dan keseimbangan air tanaman (López et al., 2021) (Li et al., 2023)(Mgendi, 2024).



Gambar 1. Serangan Hama pertanian

Salah satu kendala utama yang sering dihadapi kelompok tani Jombang ini adalah serangan hama yang dapat menyebabkan kerugian besar, baik dari segi jumlah produksi maupun kualitas hasil panen. Beberapa hama utama yang sering menyerang tanaman padi meliputi: 1) Wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens*), yang menyerang batang padi dan menyebabkan tanaman layu hingga gagal panen; 2) Tikus sawah (*Rattus argentiventer*), yang merusak tanaman dengan memakan batang dan bulir padi; 3) Penggerek batang padi (*Scirpophaga incertulas*), yang menyebabkan batang padi patah dan mengurangi hasil produksi; 4) Burung pemakan padi, yang sering menyerang saat fase pematangan bulir dan mengurangi hasil panen. Upaya pengendalian hama yang dilakukan oleh petani saat ini masih didominasi oleh penggunaan pestisida kimia. Namun, penggunaan pestisida secara berlebihan dapat menimbulkan resistensi hama, mencemari lingkungan, serta berdampak negatif pada kesehatan manusia. Oleh karena itu, kelompok tani memerlukan teknologi inovatif yang lebih efektif dan ramah lingkungan untuk pengendalian hama secara berkelanjutan.

Selain permasalahan hama, kelompok tani juga menghadapi tantangan akibat perubahan iklim yang menyebabkan kondisi cuaca semakin tidak menentu. Beberapa dampak perubahan cuaca yang sering terjadi meliputi: 1) Perubahan pola curah hujan, yang dapat menyebabkan kekeringan saat musim tanam atau banjir saat musim panen; 2) Fluktuasi suhu ekstrem, yang memengaruhi pertumbuhan tanaman dan meningkatkan risiko serangan penyakit; 3) Kelembaban udara yang tidak stabil, yang dapat berdampak pada tingkat penguapan dan keseimbangan air dalam tanah. Ketidakpastian cuaca ini mengakibatkan kesulitan dalam menentukan waktu tanam, pemupukan, dan sistem irigasi yang optimal, sehingga berujung pada penurunan hasil panen dan pendapatan

petani. Oleh karena itu, kelompok tani membutuhkan sistem pemantauan cuaca berbasis teknologi yang dapat memberikan informasi akurat dan prediksi kondisi lingkungan secara real-time.

Permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT) sebagai solusi berbasis data yang lebih akurat dan efisien dalam pemantauan serta pengendalian faktor lingkungan dan hama. Sistem berbasis IoT memungkinkan akuisisi data secara real-time terhadap berbagai parameter lingkungan pertanian, sementara algoritma DL dapat menganalisis pola data ini untuk memberikan wawasan prediktif dan rekomendasi berbasis kecerdasan buatan (Garg et al., 2020) (Indukuri & Ruddaraju, 2024). Misalnya, *Convolutional Neural Networks* (CNN) dapat diterapkan untuk mendeteksi serangan hama berdasarkan citra kamera (Wang et al., 2023) sementara *Recurrent Neural Networks* (RNN) dapat digunakan untuk memprediksi perubahan iklim mikro dan mengoptimalkan pengelolaan VPD dalam lahan pertanian (Cletus & John, 2024)

Sistem pertanian berbasis IoT dan DL memungkinkan peningkatan efisiensi dalam pengelolaan sumber daya dan mitigasi risiko serangan hama. Implementasi sensor cerdas yang mengukur parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban udara, curah hujan, dan intensitas cahaya dapat membantu petani dalam menentukan strategi optimal untuk irigasi, pemupukan, serta penyemprotan pestisida berbasis kebutuhan aktual tanaman. Selain itu, perangkat pengendali hama seperti perangkat ultrasonik dan lampu perangkat otomatis dapat dikombinasikan dengan sensor Lidar dan kamera berbasis YOLO untuk mendeteksi keberadaan hama secara akurat dan mengaktifkan tindakan pencegahan secara otomatis.

Keberlanjutan energi merupakan aspek krusial dalam implementasi teknologi pertanian presisi. Untuk memastikan operasional sistem IoT dan perangkat pengendali hama tetap berjalan secara mandiri, sistem energi berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi solusi utama dalam menyediakan sumber daya listrik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. PLTS memanfaatkan panel surya untuk menangkap energi matahari, yang kemudian disimpan dalam baterai *lithium-ion* guna memastikan pasokan energi stabil bagi perangkat IoT dan sensor yang terintegrasi dalam sistem pertanian pintar (Pérez et al., 2024). Dengan penerapan teknologi manajemen daya cerdas, sistem ini dapat mengoptimalkan konsumsi energi berdasarkan kebutuhan operasional perangkat serta kondisi cuaca.

Penelitian pengabdian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pertanian cerdas berbasis IoT dan DL yang mendukung pengendalian hama, pemantauan iklim mikro, serta optimasi VPD dalam pertanian padi. Dengan integrasi energi mandiri berbasis PLTS, sistem ini diharapkan mampu beroperasi secara efisien dan berkelanjutan tanpa ketergantungan pada sumber energi konvensional. Data yang dikumpulkan melalui sistem IoT akan dianalisis menggunakan algoritma DL untuk memberikan rekomendasi yang akurat dan tepat waktu kepada petani, sehingga dapat meningkatkan produktivitas, efisiensi sumber daya, dan keberlanjutan lingkungan dalam pertanian padi.

Metode

Penelitian ini akan merancang sebuah sistem pertanian pintar berbasis IoT untuk pengendalian hama dan pemantauan iklim mikro, sehingga dapat meningkatkan produksi maupun kualitas hasil panen pada kelompok tani Jombang. Metode pelaksanaan kegiatan ini disusun secara sistematis agar dapat mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Kegiatan akan dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:



Gambar 2. Tahapan Pelaksanaan Program PKM

Dalam pelaksanaan program terdapat beberapa tahap. Tahap awal adalah studi pendahuluan dilakukan dengan mensurvei lokasi yang akan dilakukan pengabdian serta penelitian, lokasi yang dipilih adalah kelompok para kelompok tani yang berada di Kota Jombang, Jawa Timur. Setelah menentukan lokasi dilanjutkan dengan menganalisis permasalahan yang ada. Tahapan selanjutnya adalah tahapan persiapan serta perancangan, pada tahapan ini dilakukann identifikasi terhadap masalah yang sudah diperoleh dari kelompok tani terkait pertanian berkelanjutan. Selanjutnya dilakukan penyusunan desain dari sistem pertanian berbasis IoT dan AI untuk pemantauan mikroklimat serta pengendalian hama. Setelah desain selesai, dilakukan pengadaan alat dan bahan yang diperlukan, seperti sensor suhu, kelembaban, lidar, rain drop, intensitas cahaya, curah hujan, tekanan udara, moisture, pH, kecepatan angin, kamera Yolo, perangkat ultrasonik, lampu UV light trap, dan panel surya.

Tahap selanjutnya adalah pelaksanaan program yaitu dengan mengimplementasikan alat yang sudah dirancang sebelumnya dimulai dengan instalasi perangkat IoT dan AI pada lahan pertanian sasaran. Kemudian, dilakukan pemrograman sistem untuk pemantauan mikroklimat dan pengendalian hama berbasis AI. Setelah sistem terpasang, dilakukan uji coba fungsionalitas. Untuk mengukur tingkat keberhasilan program ini, maka diadakan evaluasi atau penilaian secara kontinyu meliputi:

- a. Keberhasilan perancangan sistem pertanian cerdas pengendalian hama dan pemantauan mikroklimat untuk meningkatkan produksi maupun kualitas hasil panen pada kelompok tani Jombang
- b. Efektivitas sistem pengendalian hama dan pemantauan mikroklimat untuk meningkatkan produksi maupun kualitas hasil panen pada kelompok tani jombang
- c. Kemampuan sistem dalam pengendalian hama dan pemantauan mikroklimat dalam mengambil keputusan mitigasi pengendalian hama dan tantangan akibat perubahan iklim

Tabel 1. Metode Pelaksanaan PKM

No	Uraian permasalahan	Solusi	Metode
<i>Aspek Kelompok Tani</i>			
1	Petani menghadapi tantangan seperti serangan hama, perubahan cuaca, dan ketergantungan pada pestisida kimia yang berdampak pada lingkungan. Pendapatan yang tidak stabil akibat gagal panen serta keterbatasan akses terhadap teknologi modern semakin menghambat produktivitas dan keberlanjutan usaha tani.	Implementasi sistem pertanian pintar berbasis IoT dan AI untuk pengendalian hama dan pemantauan mikroklimat	- <i>implementasi perangkat otomatis berbasis sensor dan kamera AI untuk mendeteksi hama</i> - <i>Pemanfaatan AI untuk menganalisis data mikroklimat dan memberikan rekomendasi tindakan.</i>
<i>Aspek Kerjasama</i>			
2	Dukungan regulasi dan kebijakan dalam implementasi teknologi pertanian.	Melakukan pelatihan dan kerjasama dengan Kelompok tani Jombang	<i>Melakukan pelatihan dan kerjasama dengan Kelompok tani Jombang</i>

1. Tahap Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan referensi dari jurnal, artikel ilmiah, buku teks, dan sumber online terpercaya yang berkaitan dengan IoT, AI, sensor suhu, kelembaban, lidar, rain drop, intensitas cahaya, curah hujan, tekanan udara, moisture, pH, kecepatan angin, kamera Yolo, perangkat ultrasonik, lampu UV light trap, panel surya serta implementasinya di bidang pertanian. Tujuan dilakukan studi literatur adalah membangun dasar teori yang kuat untuk mendukung perancangan dan pengembangan alat.

2. Tahap Persiapan Program

Tahap ini meliputi perancangan desain sistem smart agriculture berbasis IoT, AI, dan energi terbarukan yang dilanjutkan dengan penentuan jenis sensor serta server yang akan digunakan dalam proses perancangan alat tersebut. Hal utama yang dilakukan dalam tahap ini yakni merancang perangkat, baik perangkat lunak maupun perangkat keras secara terintegrasi dan sesuai dengan kebutuhan sistem.

Persiapan program dilakukan dengan melakukan observasi kepada komunitas tani yang terdapat di Kabupaten Jombang, Jawa Timur terkait hal apa saja yang menjadi permasalahan dalam sistem pertanian mereka. Saat permasalahan didapatkan tahapan selanjutnya melakukan persiapan program dengan menentukan jenis sensor serta permasalahan apa saja yang bisa diatasi dengan menggunakan sensor tersebut.



Gambar 3. Analisa situasi mitra

3. Tahap Pelaksanaan Program

Pada tahap pelaksanaan program dilakukan perakitan dan pembuatan box control untuk sensor yang telah dibuat. Pada tahap ini dimulai dari pembuatan rangka untuk tiang alat, tiang dibuat dari bahan alumunium tebal yang selanjutnya dipasangkan control panel untuk penempatan sensor serta server yang rentan jika terkena air hujan. Selain itu 2 buah panel surya diletakkan di atas tiang sebagai sumber energi Listrik dalam menjalankan segala sensor yang ada.

Tahapan selanjutnya Adalah dengan memasang sensor penunjang seperti DHT22, Sensor RS485, Anemometer , Pluviometer, Sensor BH1750, BMP280, Sensor TDS dan EC, Sensor MQ-02, serta sensor lidar pada tiang. Pada tahapan ini juga dilakukan uji coba sensor yang telah dipasang dalam kontrol panel sebelum di letakkan di lahan pertanian milik komunitas tani. Uji coba tersebut dilakukan demi mempermudah dalam perbaikan jika ditemukan masalah.



Gambar 4. Proses pengerjaan alat

4. Tahap Evaluasi

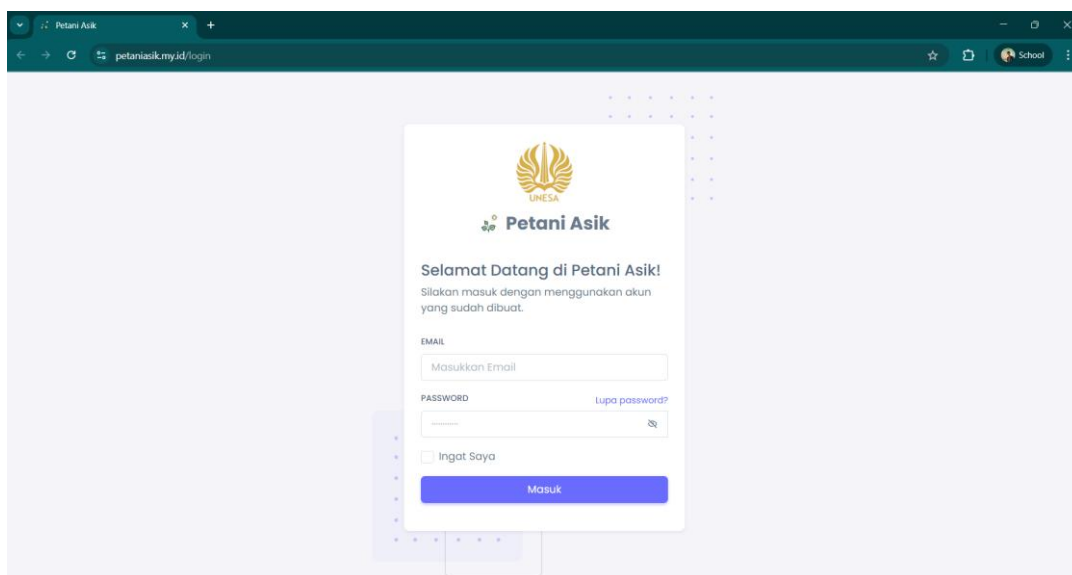
Pada tahap ini meliputi, pengujian dan validasi fungsi alat dan sistem IoT, pengumpulan feedback dari kelompok tani Jombang, analisis keberhasilan dan kekurangan alat, penyusunan laporan akhir kegiatan PKM. Tujuannya adalah memastikan bahwa alat benar-benar efektif untuk digunakan dalam pengendalian hama dan meningkatkan produktivitas pertanian serta mendokumentasikan hasilnya.

Setelah sistem terpasang, dilakukan uji coba fungsionalitas serta evaluasi awal terhadap kinerja perangkat guna memastikan efektivitasnya sebelum digunakan secara luas. Kegiatan pelatihan dan pendampingan dilakukan agar mitra lebih memahami pengoperasian maupun perawatan peralatan yang diberikan. Pelatihan dan pendampingan petani dimulai dengan sosialisasi penggunaan teknologi berbasis IoT dan AI, diikuti simulasi untuk memahami cara kerja sistem. Selanjutnya, dilakukan pendampingan intensif di lapangan guna memastikan petani dapat mengimplementasikan teknologi tersebut secara optimal. Hasil evaluasi menjadi bahan bagi tim pelaksana untuk membuat inovasi atau menerapkan rancangan bangun di mitra lainnya yang memiliki permasalahan yang sama.

Hasil dan Pembahasan

Sistem ini dilengkapi dengan berbagai sensor untuk pengumpulan data lingkungan dan kondisi pertanian, Sistem ini juga dilengkapi dengan pengusir hama ultrasonik yang beroperasi pada rentang frekuensi 20–65 kHz, yang aktif secara otomatis ketika sistem mendeteksi keberadaan hama seperti tikus, wereng, burung, atau belalang. Sebagai pelengkap, sistem juga mengaktifkan lampu perangkap ultraviolet (UV Trap) yang dikombinasikan dengan feromon sintetis, guna menarik dan menjebak serangga hama nokturnal.

Sistem monitoring dan kontrol berbasis web dibangun menggunakan mini server Raspberry Pi yang terhubung ke jaringan internet melalui modul GSM dan dikonfigurasi dengan Cloudflare untuk mendukung akses jarak jauh. Pengguna (petani) dapat memantau kondisi lahan secara real-time



Gambar 5. Dashboard web petaniasik

Setelah melakukan login sesuai kredensial yang tersedia, pengguna akan diarahkan ke dashboard yang menampilkan berbagai parameter lingkungan, seperti suhu dan kelembapan udara, kecepatan angin, curah hujan, intensitas cahaya, nilai pH dan kelembapan tanah, suhu tanah, konsentrasi NPK, tekanan udara, nilai VPD, serta kualitas feromon perangkap. Selain itu, sistem menampilkan hasil prediksi CNN dalam bentuk klasifikasi visual kesehatan tanaman

berdasarkan gambar terkini. Dashboard juga menyediakan rekomendasi tindakan agronomis kepada petani berdasarkan hasil prediksi sistem, serta menampilkan grafik prediksi tren mikroklimat dan nilai VPD untuk periode hingga 14 hari ke depan. Tersedia pula fitur histori sensor yang mencatat dan menyajikan perubahan parameter lingkungan setiap 15 menit, sehingga pengguna dapat melakukan evaluasi berbasis data historis.



Gambar 6. Pelatihan dan serah terima

Demi menunjang keberhasilan program, dilakukannya sosialisasi serta pelatihan pada kelompok tani Jombang dalam proses penggunaan alat, dalam pelatihan ini kelompok tani melakukan uji coba alat serta bagaimana implementasi alat di lahan pertanian mereka, selain itu para kelompok tani juga diajarkan dalam pemanfaatan IoT dalam monitoring hama. Setelah semua dirasa cukup, kegiatan dilanjutkan dengan serah terima dari Ketua Pelaksana kepada kelompok tani Jombang, diharapkan alat yang sudah dirancang dapat bermanfaat bagi petani serta hasil tani yang didapat.



Gambar 7. Implementasi dan pemasangan alat

Pada implementasi alat yang ditampilkan pada gambar 7, mitra dalam hal ini kelompok Tani Jombang. Dari implementasi, mitra telah mampu menggunakan alat untuk pengendalian hama berbasis teknologi AI dan IoT serta pemantauan mikroklimat dengan baik sesuai dengan skenario

yang telah di buat. Pada alat yang dibuat dapat membantu para kelompok tani dalam membasmi hama serta meningkatkan produktivitas yang ada. Kegiatan ini memberikan dampak yang sangat positif bagi para kelompok tani, kedepan diharapkan terdapat dukungan dari berbagai instansi seperti kementerian pertanian agar pengembangan alat dapat dimanfaatkan oleh petani secara luas.

Kesimpulan

Pengembangan sistem *smart agriculture* berbasis IoT, AI, dan energi terbarukan ini mampu menjadi solusi yang efektif dalam menghadapi berbagai jenis tantangan pertanian padi seperti hama, perubahan iklim, dan kebutuhan energi. Hasil yang diharapkan adalah terjadinya peningkatan produktivitas hasil pertanian, efisiensi penggunaan sumber daya, dan pengurangan dampak lingkungan melalui pengurangan bahan kimia. Kolaborasi antara petani dan akademisi universitas dalam penerapan sistem ini berpotensi menciptakan ekosistem pertanian yang lebih berkelanjutan, dan ramah lingkungan dibidang pertanian. Diharapkan teknologi dalam pertanian terus berkembang demi menjaga stabilitas serta kualitas pangan.

Daftar Pustaka

- Cletus, F., & John, A. E. (2024). Comparative Analysis Of Machine Learning Models For Greenhouse Microclimate Prediction. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(1), 162–175. <https://doi.org/10.47709/brilliance.v4i1.3783>
- Garg, D., Khan, S., & Alam, M. (2020). Integrative Use of IoT and Deep Learning for Agricultural Applications. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 605(November 2019), 521–531. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30577-2_46
- Indukuri, H., & Ruddaraju, M. (2024). Deep Learning-based Crop Recommendation System with IoT Integration for Agricultural Optimization. *African Journal of Biological Science*, 6(9), 3885–3901. <https://doi.org/10.33472/AFJBS.6.9.2024.3885-3901>
- John, M. A., Bankole, I., Ajayi-Moses, O., Ijila, T., Jeje, T., & Lalit, P. (2023). Relevance of Advanced Plant Disease Detection Techniques in Disease and Pest Management for Ensuring Food Security and Their Implication: A Review. *American Journal of Plant Sciences*, 14(11), 1260–1295. <https://doi.org/10.4236/ajps.2023.1411086>
- Li, F., Xiao, J., Chen, J., Ballantyne, A., Jin, K., Li, B., Abraha, M., & John, R. (2023). Global water use efficiency saturation due to increased vapor pressure deficit. *Science*, 381(6658), 672–677. <https://doi.org/10.1126/science.adf5041>
- Listihani, L., Ariati, P. E. P., Yuniti, I. G. A. D., & Selangga, D. G. W. (2022). The brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) attack and its genetic diversity on rice in Bali, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(9), 4696–4704. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230936>
- López, J., Way, D. A., & Sadok, W. (2021). Systemic effects of rising atmospheric vapor pressure deficit on plant physiology and productivity. *Global Change Biology*, 27(9), 1704–1720. <https://doi.org/10.1111/gcb.15548>
- Mgendi, G. (2024). Unlocking the potential of precision agriculture for sustainable farming. *Discover Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00078-3>
- Mohidem, N. A., Hashim, N., Shamsudin, R., & Man, H. C. (2022). Rice for Food Security: Revisiting Its Production, Diversity, Rice Milling Process and Nutrient Content. *Agriculture (Switzerland)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/agriculture12060741>
- Peng, S., Tang, Q., & Zou, Y. (2009). Current status and challenges of rice production in China. *Plant Production Science*, 12(1), 3–8. <https://doi.org/10.1626/pps.12.3>

- Pérez, M. Á. G., Guerrero-González, A., Rodríguez, F. J. C., Leon, I. M. M., & Abrisqueta, F. A. L. (2024). Precision Agriculture 4.0: Implementation of IoT, AI, and Sensor Networks for Tomato Crop Prediction. *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 6(2), 172–181. <https://doi.org/10.12928/biste.v6i2.10954>
- Sánchez-Bayo. (2021). Indirect Effect of Pesticides on Insects and Other Arthropods. *Toxics*, 9(177), 22.
- Wang, X., Zhang, S., Wang, X., & Xu, C. (2023). Crop pest detection by three-scale convolutional neural network with attention. *PLoS ONE*, 18(6 JUNE), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276456>