

## Perencanaan dan Pendampingan Sistem Pemantauan Tanah Berbasis IoT untuk Perkebunan Tebu di Wilayah Blitar

Indra Gita Anugrah, Widyasari Puspa Permata Witra, Mega Mustikaningrum dan Rahmat Dwi Sutrisno

Universitas Muhammadiyah Gresik dan Politeknik Negeri Cilacap

[indragitaanugrah@umg.ac.id](mailto:indragitaanugrah@umg.ac.id)

### Korespondensi

Indra Gita Anugrah

#### Abstract :

*The application of Internet of Things (IoT) technology in the agricultural sector is a key strategy to improve efficiency, productivity, and sustainability, particularly in sugarcane farming. This community service program aimed to design and assist the implementation of a soil monitoring system based on IoT in sugarcane plantations in the Blitar region. The developed system functions to monitor soil moisture, temperature, and conditions in real-time, and presents the data through a simple dashboard accessible to farmers. The program involved mentoring activities, including requirement elicitation, training, and evaluation of training in the field. The results show improved digital literacy and analytical capacity among farmers in managing their land more efficiently. Other than that, the program also fostered the formation of a farmer-led management group that plays a crucial role in sustaining the system. Positive responses from farmers and interest in replication from neighboring farming groups indicate that appropriate, accessible technologies can empower rural agricultural communities. This program is expected to serve as a model for people-centered and sustainable technology-based agricultural transformation.*

**Keywords :** Digital Farming, IoT, Sugarcane Farmers and Soil Monitoring System

#### Abstrak :

Pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) dalam sektor pertanian menjadi strategi penting untuk mendorong efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan usaha tani, khususnya di komoditas tebu. Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk merancang dan mendampingi implementasi sistem pemantauan tanah berbasis IoT di perkebunan tebu di wilayah Blitar. Sistem yang dikembangkan berfungsi untuk memantau kelembaban, suhu, dan kondisi tanah secara real-time, serta menyajikan data tersebut melalui dashboard sederhana yang dapat diakses oleh petani. Kegiatan ini melibatkan proses pendampingan mulai dari identifikasi kebutuhan, pelatihan, hingga evaluasi pelatihan sistem di lapangan. Hasilnya menunjukkan peningkatan literasi digital dan kemampuan analitis petani dalam mengelola lahan secara lebih efisien. Selain itu, kegiatan ini juga mendorong terbentuknya kelompok pengelola sistem di tingkat petani yang berfungsi sebagai motor penggerak keberlanjutan. Respons positif dari petani dan potensi replikasi oleh kelompok tani lain menunjukkan bahwa teknologi sederhana yang tepat guna dapat menjadi sarana pemberdayaan masyarakat di sektor pertanian. Program ini diharapkan dapat menjadi model percontohan untuk transformasi pertanian berbasis teknologi yang merakyat dan berkelanjutan.

**Kata Kunci :** Pertanian Digital, IoT, Petani Tebu dan Sistem Pemantauan Nutrisi Tanah

#### LATAR BELAKANG

Digitalisasi di sektor pertanian menjadi elemen kunci dalam mendukung pertumbuhan ekonomi berbasis teknologi, terutama dalam menghadapi tantangan era Revolusi Industri 4.0. Istilah Revolusi Industri 4.0 mengacu pada pergeseran besar dalam cara produksi dan pelayanan dilakukan, dengan menempatkan teknologi digital sebagai motor penggerak utama. Pertanian sebagai sektor vital bagi ketahanan pangan nasional turut dituntut untuk bertransformasi, tidak hanya dalam teknik

budidaya, tetapi juga dalam manajemen data dan pengambilan keputusan yang lebih presisi (Chergui & Kechadi, 2022; Chukwuma et al., 2024; Cravero et al., 2022; Elbasi et al., 2024; Kalbhor, 2025; Nimma et al., 2025; Parihar et al., 2024; Rathore et al., 2025; Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020; S.S. et al., 2024). Oleh karena itu, inovasi berbasis teknologi informasi dan komunikasi (TIK) seperti Internet of Things (IoT) menjadi penting untuk diadopsi dalam aktivitas pertanian sehari-hari.

Salah satu inovasi teknologi yang menawarkan potensi transformasi besar adalah IoT, khususnya dalam konteks pertanian presisi. Teknologi ini memungkinkan alat dan sensor yang tertanam di lahan pertanian untuk mengumpulkan data lingkungan secara otomatis dan terus-menerus (Ahmed et al., 2024; Alahmad et al., 2023; Mansoor et al., 2025; A. Sharma et al., 2021; K. Sharma & Shivandu, 2024; Soussi et al., 2024). Pada praktiknya, teknologi IoT mampu memberikan data real-time yang sangat berguna dalam pengambilan keputusan, termasuk dalam hal pemantauan kondisi tanah. Data seperti kelembaban, suhu, dan pH tanah dapat dikumpulkan tanpa intervensi manual dan dianalisis untuk menentukan waktu terbaik dalam penyiraman atau pemupukan, yang secara langsung berdampak pada hasil panen dan efisiensi biaya produksi (Alahmad et al., 2023; Mansoor et al., 2025). Dengan bantuan IoT, petani dapat mengetahui kondisi lahannya secara akurat dan tepat waktu, sehingga langkah-langkah perawatan tanaman dapat dilakukan secara efisien dan terukur.

Meskipun demikian, ketimpangan dalam adopsi teknologi pertanian antara wilayah perkotaan dan pedesaan semakin mencolok. Wilayah pedesaan seperti Blitar, khususnya di area perkebunan tebu, penerapan teknologi canggih masih sangat terbatas (Garcia et al., 2022; Molin et al., 2024). Petani tebu di daerah ini sebagian besar masih mengandalkan metode tradisional dalam menentukan kesuburan tanah, waktu pemupukan, serta penjadwalan irigasi. Tidak adanya sistem pemantauan yang akurat menyebabkan banyak petani mengalami kerugian karena keterlambatan atau kelebihan dalam pemberian air dan pupuk. Selain itu, pengambilan keputusan berbasis intuisi atau pengalaman sering kali tidak mampu menjawab dinamika perubahan cuaca dan kondisi tanah yang fluktuatif (Ji & Cobourn, 2021).

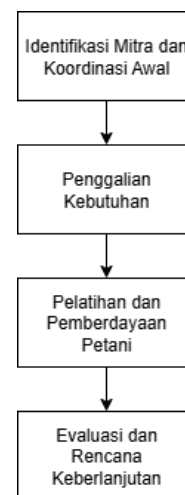
Faktor-faktor seperti keterbatasan akses terhadap teknologi (Kumar et al., 2024; Quy et al., 2022; Rajak et al., 2023), minimnya pelatihan teknis (Qazi et al., 2022; Quy et al., 2022; Rajak et al., 2023), serta rendahnya literasi digital di kalangan petani (Qazi et al., 2022; Quy et al., 2022; Rajak et al., 2023) menjadi tantangan utama dalam penerapan solusi teknologi di sektor pertanian. Oleh karena itu, perlu adanya intervensi dari institusi pendidikan tinggi dalam bentuk kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Kegiatan ini tidak hanya bertujuan untuk memperkenalkan teknologi, tetapi juga untuk membangun kesadaran kritis petani terhadap manfaat teknologi dan mendampingi mereka dalam proses adopsi teknologi secara bertahap dan berkelanjutan.

Pemberdayaan petani menjadi aspek sentral dalam inisiatif ini, dimana petani tidak diposisikan

sebagai objek penerima teknologi saja, tetapi sebagai subjek aktif yang turut andil dalam proses perancangan, pengembangan, dan evaluasi teknologi yang akan digunakan. Pendekatan ini memastikan bahwa sistem yang dibangun tidak bersifat *top-down*, melainkan berakar pada kebutuhan dan kondisi nyata yang dihadapi oleh petani. Keterlibatan petani sejak awal juga berfungsi untuk membangun rasa kepemilikan (*sense of ownership*) terhadap sistem yang dikembangkan, sehingga peluang keberlanjutan dan adopsi teknologi menjadi lebih tinggi.

Kegiatan pengabdian ini dirancang sebagai bentuk transfer ilmu pengetahuan dan teknologi kepada mitra tebu di Blitar. Tujuannya adalah membangun sistem pemantauan tanah berbasis IoT, sehingga solusi yang dibangun benar-benar sesuai dengan kebutuhan pengguna akhir, yaitu petani. Dengan demikian, kegiatan ini diharapkan mampu menjadi contoh praktik baik (*best practice*) pemberdayaan masyarakat berbasis teknologi di sektor pertanian, serta menjadi landasan untuk pengembangan kolaborasi berkelanjutan antara akademisi dan komunitas petani dalam rangka mewujudkan pertanian modern yang inklusif dan adaptif terhadap perubahan zaman.

## METODE PELAKSANAAN



**Gambar 1.** Metode Pelaksanaan Kegiatan Pengabdian

Kegiatan pengabdian ini dilaksanakan dengan pendekatan partisipatif berbasis kolaborasi antara tim akademisi dan masyarakat petani. Tujuan utamanya adalah untuk membangun sistem pemantauan tanah berbasis IoT yang sesuai dengan kebutuhan petani dan dapat dioperasikan secara mandiri. Kegiatan pengabdian berbasis penggalian kebutuhan seperti yang dilakukan pada lingkungan SMK (Anugrah & Witra, 2024), menunjukkan bahwa

keterlibatan pengguna sejak awal menjadi faktor penting dalam membangun sistem informasi yang efektif dan berkelanjutan (W. P. P. Witra & Anugrah, 2024).

Tahapan metode pelaksanaan terdiri dari empat langkah utama, yaitu (1) identifikasi mitra koordinasi awal, (2) penggalian kebutuhan, (3) pelatihan dan pemberdayaan awal petani, serta (4) evaluasi dan rencana keberlanjutan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

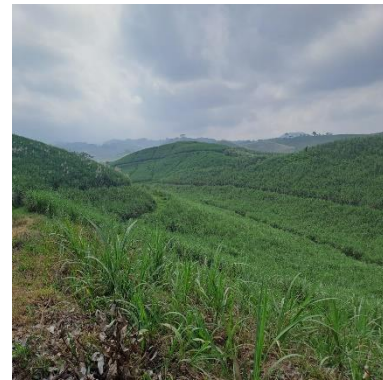
### Identifikasi Mitra dan Koordinasi Awal

Tahapan awal yang dilakukan adalah pemetaan lokasi dan identifikasi perusahaan tebu yang berpotensi untuk menjadi mitra kegiatan. Dalam konteks ini, dipilih salah satu perusahaan tebu di wilayah Blitar yang memiliki komoditas utama tebu dan bersedia untuk bekerja sama dalam kegiatan pengabdian. Proses identifikasi mitra juga dilakukan dengan mempertimbangkan ketersediaan lahan uji coba, kesediaan petani untuk terlibat aktif, serta potensi keberlanjutan program setelah kegiatan pengabdian selesai. Setelah mitra ditentukan, dilakukan koordinasi awal dengan perwakilan mitra guna menjelaskan tujuan kegiatan, ruang lingkup, manfaat, serta peran aktif petani dalam setiap tahap kegiatan. Koordinasi ini penting untuk membangun kepercayaan dan kesepahaman antara pihak akademisi dan petani.

Hasil yang didapatkan dari tahapan Identifikasi Mitra dan Koordinasi Awal, adalah sebagai berikut: Tim pengabdian berhasil menjalin kemitraan strategis dengan perusahaan tebu “PT. Tjandi Sewu Baru” di Blitar yang memiliki 38 anggota aktif dan lahan tebu seluas  $\pm 20$  hektar. Kemitraan ini terbangun atas dasar kesamaan visi, yaitu peningkatan produktivitas dan efisiensi pengelolaan lahan. Koordinasi awal berlangsung efektif dan membangun kepercayaan antara tim akademisi dan petani. Hasil diskusi menunjukkan bahwa petani mengalami kebingungan dalam menentukan waktu pemupukan dan penyiraman yang tepat. Proses identifikasi mitra juga menghasilkan kesepakatan informal yang memperkuat komitmen bersama untuk menjalankan program secara berkelanjutan. Selain itu, proses awal ini juga memungkinkan identifikasi isu struktural yang sering tidak terungkap, seperti ketergantungan petani pada informasi dari tengkulak atau distributor pupuk, yang dapat memengaruhi independensi petani dalam pengambilan keputusan.



**Gambar 2.** Tim Pengabdian dengan Mitra



**Gambar 3.** Lahan Tebu di PT. Tjandi Sewu Baru

Koordinasi awal juga dimanfaatkan sebagai sarana awal untuk melakukan pemetaan sosial dan teknologi, yakni dengan menilai kesiapan sumber daya manusia serta ketersediaan perangkat digital yang dimiliki petani. Tim menemukan bahwa 75% petani memiliki ponsel berbasis Android, namun sebagian besar belum pernah menggunakan aplikasi dashboard berbasis web. Temuan ini menjadi bahan pertimbangan dalam merancang sistem yang ringan, tidak memerlukan instalasi aplikasi berat, dan mudah diakses melalui browser biasa.

### Penggalian Kebutuhan

Dalam kegiatan ini, tim melakukan observasi langsung ke lahan petani, wawancara mendalam, dan diskusi untuk menggali informasi mengenai kebiasaan, tantangan, kebutuhan, dan harapan petani terhadap teknologi pemantauan tanah. Kurangnya keterlibatan pengguna dapat menyebabkan pengembangan sistem yang tidak sesuai kebutuhan (Anugrah, Witra, Nuha, et al., 2024).

Hasil yang didapatkan adalah tim berhasil mengidentifikasi kebutuhan utama petani melalui observasi langsung ke lahan, wawancara semi-terstruktur dengan 2 pemilik perusahaan, serta 2 staf lapangan yang bekerja untuk keliling lahan tebu. Kebutuhan yang muncul secara umum adalah kesederhanaan antarmuka yang memungkinkan petani dari berbagai jenjang usia dan latar belakang

pendidikan untuk dapat memahami informasi yang disajikan.

Selain itu, kebutuhan lain yang terungkap adalah pemilik perusahaan menghendaki sistem yang tidak hanya menyampaikan data mentah, tetapi juga memberi interpretasi sederhana seperti "tanah kering – perlu penyiraman" atau "pH rendah – perlu pengapuran". Masukan tersebut menunjukkan adanya harapan tinggi terhadap sistem sebagai alat bantu pengambilan keputusan yang praktis.

### Pelatihan dan Pemberdayaan Petani

Salah satu aspek penting dalam kegiatan ini adalah memberikan pelatihan kepada petani mengenai cara kerja sistem yang dikembangkan. Pelatihan kepada petani tidak dilakukan secara frontal atau langsung menyampaikan keseluruhan konsep teknis dari sistem IoT yang akan diterapkan. Sebaliknya, pendekatan yang digunakan bersifat konstruktivis dan progresif, di mana petani diberikan "spoiler kecil" tentang sistem yang akan dikembangkan. Strategi ini bertujuan untuk membangkitkan rasa ingin tahu, memperkenalkan konsep secara bertahap, dan menstimulasi diskusi kritis dari petani berdasarkan pengalaman mereka di lapangan.

Tim pengabdian memperlihatkan cuplikan antarmuka dashboard sederhana. Potongan-potongan informasi ini memicu banyak pertanyaan dari petani dan membuka ruang diskusi mengenai kondisi aktual lahan mereka. Melalui percakapan ini, tim pengabdian secara perlahan memperkenalkan konsep sistem pemantauan tanah berbasis data, sambil tetap menjaga agar petani merasa terlibat dalam merumuskan arah dan fitur sistem.



**Gambar 4.** Pelatihan Non Frontal kepada Petani

Hasil yang didapatkan adalah sesi pelatihan yang menghasilkan peningkatan signifikan dalam literasi digital dan teknis petani. Dari 5 peserta, hanya 1 orang yang pada awalnya mengetahui fungsi sensor kelembaban tanah. Setelah pelatihan, seluruh peserta mampu menjelaskan alur kerja sistem IoT secara sederhana.

Metode ini terbukti efektif dalam membangun rasa kepemilikan terhadap teknologi, karena petani merasa bahwa sistem yang sedang dibangun merupakan hasil dari kontribusi pemikiran mereka sendiri, bukan semata-mata produk jadi dari tim pengembang. Dengan demikian, pelatihan tidak hanya bersifat informatif, tetapi juga transformatif, karena mengedukasi sambil memberdayakan.

Sebagaimana praktik pemberdayaan digital pada sektor pendidikan, sosialisasi dan pelatihan yang sistematis sangat penting untuk memastikan keberlanjutan penggunaan teknologi oleh masyarakat sasaran (Anugrah & Witra, 2023). Adanya transformasi digital bukan hanya persoalan teknis, tetapi juga menjadi strategi pemberdayaan ekonomi yang berkelanjutan di masyarakat (Anugrah, Witra, Mustikaningrum, et al., 2024; Anugrah & Witra, 2023; W. P. P. W. Witra & Anugrah, 2023).

### Evaluasi dan Rencana Keberlanjutan

Tahap akhir adalah evaluasi dampak kegiatan dan penyusunan rencana keberlanjutan. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan metode kualitatif, yakni wawancara mendalam. Rencana keberlanjutan disusun dengan melibatkan mitra sebagai pengelola sistem. Diharapkan, dengan adanya pelatihan, mitra dapat mereplikasi sistem ke lahan lain secara mandiri. Selain itu, pendekatan kolaboratif ini membuka peluang terjadinya transfer teknologi yang berkelanjutan.



**Gambar 5.** Observasi Lahan untuk Persiapan Penerapan Sistem

Hasil yang didapatkan adalah evaluasi akhir dilakukan dengan wawancara. Hasil wawancara terhadap mitra menunjukkan bahwa mitra menyatakan kesediaannya untuk terus berkolaborasi untuk berpartisipasi aktif untuk

mengembangkan sistem pertanian digital yang berkelanjutan dengan menyewakan lahannya untuk kebutuhan pengembangan sistem pertanian modern.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini membuktikan bahwa penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam pengelolaan lahan pertanian, khususnya pada perkebunan tebu di wilayah Blitar, sangat mungkin dilakukan dan dapat memberikan dampak nyata yang signifikan. Dari tahapan identifikasi mitra hingga evaluasi keberlanjutan, keterlibatan aktif perusahaan menjadi kunci keberhasilan program ini. Identifikasi kebutuhan yang dilakukan melalui observasi dan diskusi kelompok memungkinkan sistem dibangun dari bawah ke atas (bottom-up), bukan dari pendekatan top-down. Hal ini membuat sistem yang dikembangkan menjadi lebih relevan dan aplikatif di lapangan.

Keberhasilan kegiatan ini ditandai dengan berbagai capaian, antara lain meningkatnya literasi digital petani, terbentuknya tim pengelola teknologi dari kalangan petani itu sendiri, serta adanya perubahan perilaku pertanian yang lebih berbasis data dan efisiensi. Indikasi dampak ekonomi juga mulai terlihat dari penghematan biaya air dan pupuk, serta peningkatan kualitas keputusan agronomis yang didukung oleh data sensor yang akurat.

Namun, kegiatan ini juga menghadapi sejumlah tantangan yang perlu dicermati. Masih terdapat keterbatasan dalam cakupan wilayah jangkauan sinyal dan keterampilan teknis sebagian kecil petani. Selain itu, keberlanjutan sistem sangat bergantung pada komitmen kelompok dan dukungan eksternal seperti dari pemerintah daerah dan institusi pendidikan tinggi. Diperlukan pula dokumentasi yang lebih sistematis terkait hasil panen dan input-output usaha tani untuk dapat menghitung Return on Investment (ROI) dari sistem secara kuantitatif.

Dengan mempertimbangkan berbagai capaian dan pembelajaran dari kegiatan ini, dapat disimpulkan bahwa integrasi teknologi digital dalam pertanian bukan hanya soal penerapan alat, tetapi juga menyangkut proses transformasi sosial yang mendalam. Oleh karena itu, keberhasilan pengembangan sistem pemantauan tanah berbasis IoT ini hendaknya tidak berhenti pada aspek teknologi, tetapi terus dikembangkan dalam ekosistem yang mendukung pembelajaran, inovasi, dan keberlanjutan di tingkat akar rumput. Program serupa sangat layak untuk direplikasi secara nasional sebagai bagian dari strategi transformasi pertanian Indonesia berbasis digital.

### REFERENSI

- Ahmed, S., Marwat, S. N. K., Brahim, G. Ben, Khan, W. U., Khan, S., Al-Fuqaha, A., & Koziel, S. (2024). IoT based intelligent pest management system for precision agriculture. *Scientific Reports*, *14*(1), 31917. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83012-3>.
- Alahmad, T., Neményi, M., & Nyéki, A. (2023). Applying IoT Sensors and Big Data to Improve Precision Crop Production: A Review. *Agronomy*, *13*(10), 2603. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102603>.
- Anugrah, I. G., & Witra, W. P. P. (2023). SOSIALISASI DIGITAL MARKETING SEBAGAI MEDIA INFORMASI PEMASARAN ONLINE DI SMK PAWYATAN DAHA 3 KEDIRI. *DedikasiMU: Journal of Community Service*, *5*(4), 487–496.
- Anugrah, I. G., Witra, W. P. P., Mustikaningrum, M., Rosyid, H., Mahendra, A. M., Romadhoni, A. M., & Muhadhim, A. (2024). IMPLEMENTASI EKONOMI SIRKULAR BERBASIS DIGITALISASI NERACA SAMPAH MENUJU GKMS (GRESIK KAWASAN MERDEKA SAMPAH). *Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Nusantara (JPPNu)*, *6*(2), 267–279.
- Anugrah, I. G., Witra, W. P. P., Nuha, S. U., Wibowo, N. S., & Utomo, D. T. (2024). RAD-UCD Implementation in Project Management Information System. *Journal of Development Research*, *8*(2), Process. <https://doi.org/10.28926/jdr.v8i2.398>.
- Chergui, N., & Kechadi, M. T. (2022). Data analytics for crop management: a big data view. *Journal of Big Data*, *9*(1), 123. <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00668-2>.
- Chukwuma, U., Gebremedhin, K. G., & Uyeh, D. D. (2024). Imagining AI-driven decision making for managing farming in developing and emerging economies. *Computers and Electronics in Agriculture*, *221*, 108946. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108946>.
- Cravero, A., Pardo, S., Sepúlveda, S., & Muñoz, L. (2022). Challenges to Use Machine Learning in Agricultural Big Data: A Systematic Literature Review. *Agronomy*, *12*(3), 748. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030748>.

- Elbasi, E., Mostafa, N., Zaki, C., AlArnaout, Z., Topcu, A. E., & Saker, L. (2024). Optimizing Agricultural Data Analysis Techniques through AI-Powered Decision-Making Processes. *Applied Sciences*, *14*(17), 8018. <https://doi.org/10.3390/app14178018>.
- Garcia, A. P., Umezu, C. K., Polania, E. C. M., Dias Neto, A. F., Rossetto, R., & Albiero, D. (2022). Sensor-Based Technologies in Sugarcane Agriculture. *Sugar Tech*, *24*(3), 679–698. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01115-5>.
- Ji, X., & Cobourn, K. M. (2021). Weather Fluctuations, Expectation Formation, and Short-Run Behavioral Responses to Climate Change. *Environmental and Resource Economics*, *78*(1), 77–119. <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00525-x>.
- Kalbhor, A. (2025). AI and Machine Learning in Precision Agriculture: The Future of Agricultural Precision Agriculture. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, *13*(2), 648–654. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.66920>.
- Kumar, V., Sharma, K. V., Kedam, N., Patel, A., Kate, T. R., & Rathnayake, U. (2024). A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies. *Smart Agricultural Technology*, *8*, 100487. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100487>.
- Mansoor, S., Iqbal, S., Popescu, S. M., Kim, S. L., Chung, Y. S., & Baek, J.-H. (2025). Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: trends, challenges and future prospectives. *Frontiers in Plant Science*, *16*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>.
- Molin, J. P., Wei, M. C. F., & da Silva, E. R. O. (2024). Challenges of Digital Solutions in Sugarcane Crop Production: A Review. *AgriEngineering*, *6*(2), 925–946. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020053>.
- Nimma, D., Dhanke, J. A., Murthy, G. S. N., Khandekar, S. D., Hymavathi, J., Jangir, P., & Singh, M. (2025). Optimization of Crop Yields in Sustainable Agriculture: Application of Big Data Analytics and Artificial Intelligence. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, *8*(2), 375–386. <https://doi.org/10.1007/s41976-024-00189-x>.
- Parihar, P., Tiwary, S., Behuria, P. R., & Sood, Y. (2024). AI-based Techniques for Comprehensive Crop Nutrition Assessment: A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*, *36*(10), 448–459. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i105096>.
- Qazi, S., Khawaja, B. A., & Farooq, Q. U. (2022). IoT-Equipped and AI-Enabled Next Generation Smart Agriculture: A Critical Review, Current Challenges and Future Trends. *IEEE Access*, *10*, 21219–21235. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3152544>.
- Quy, V. K., Hau, N. Van, Anh, D. Van, Quy, N. M., Ban, N. T., Lanza, S., Randazzo, G., & Muzirafuti, A. (2022). IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges. *Applied Sciences*, *12*(7), 3396. <https://doi.org/10.3390/app12073396>.
- Rajak, P., Ganguly, A., Adhikary, S., & Bhattacharya, S. (2023). Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*, 100776. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100776>.
- Rathore, R., Said, A. G., Jangra, P., Murari, H., Bansal, S., & Singh, H. (2025). Machine Learning in Agriculture and Crop Management: A Comprehensive Review. *2025 IEEE International Conference on Interdisciplinary Approaches in Technology and Management for Social Innovation (IATMSI)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IATMSI64286.2025.10984557>.
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. *Agronomy*, *10*(2), 207. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>.
- Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., & Chowdary, V. (2021). Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, *9*, 4843–4873. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048415>.
- Sharma, K., & Shivandu, S. K. (2024). Integrating artificial intelligence and Internet of Things (IoT) for enhanced crop monitoring and management in precision agriculture. *Sensors International*, *5*, 100292. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100292>.
- Soussi, A., Zero, E., Sacile, R., Trincherro, D., & Fossa, M. (2024). Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. *Sensors*, *24*(8), 2647. <https://doi.org/10.3390/s24082647>.

- 
- S.S., V. C., S., A. H., & Albaaji, G. F. (2024). Precision farming for sustainability: An agricultural intelligence model. *Computers and Electronics in Agriculture*, 226, 109386. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109386>
- Witra, W. P. P., & Anugrah, I. G. (2024). Pendampingan Penggalan Kebutuhan Sistem Informasi Pengelolaan Produk dan Jual Beli Pada Kantin SMK Semen Gresik. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Lingkungan (JPML)*, 3(1), 12. <https://doi.org/10.30587/jpml.v3i1.8058>
- Witra, W. P. P. W., & Anugrah, I. G. (2023). PERENCANAAN STRATEGI PENERAPAN PLATFORM DIGITAL PADA SMK PAWYATAN 3 DHAHA KEDIRI. *Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Nusantara (JPPNu)*, 5(1), 97–109.