

SISTEM IRIGASI CERDAS UNTUK PERTANIAN PERKOTAAN DI DEPOK: MEMBERDAYAKAN KELOMPOK TANI D'RANGRANG

Ratih Kurniasih¹

(ratih_kurniasih@staff.gunadarma.ac.id)

Herik Sugeru²

(herik_sugeru@staff.gunadarma.ac.id)

Hilmi A'ini Nurthoyibah³

(hilmitoyibah@gmail.com)

Kalingga Kencana L. Abadi⁴

(totonokaga13@gmail.com)

Purnawarman Musa⁵

(p_musa@staff.gunadarma.ac.id)

^{1, 2, 3, 4} Program Agrotechnology, Faculty Industrial Engineering, Gunadarma of University, Indonesia

⁵ Program Electronic of Engineering, Faculty Industrial of Engineering, Gunadarma of University, Indonesia

Abstract

Purpose: Urban agriculture frequently encounters challenges related to inefficient water management due to limited water resources, climate variability, and the limited availability of farmers' time, as many members are active urban workers. These conditions necessitate the adoption of appropriate technologies to improve efficiency and support automation in irrigation management. This community service program was designed to enhance water-use efficiency through the implementation of smart irrigation technology for urban farming communities.

Design/Methodology/Approach: The community service activity was conducted under the Community Partnership Empowerment Program funded by the Directorate of Research, Technology, and Community Service (DRTPDM). The program was implemented at the D'rangrang Farmer Group in Jakarta through several stages, including technology socialization, training on the installation and operation of smart irrigation systems based on soil moisture and weather sensors, system monitoring, and evaluation of implementation outcomes.

Findings: The implementation of smart irrigation technology demonstrated a significant reduction in water consumption of up to 30% compared to conventional irrigation methods. In addition, an increase in farmers' awareness regarding the importance of precise and data-driven water management was observed, contributing to more efficient agricultural practices.

Practical Implications: *The application of sensor-based smart irrigation systems supports efficient water use, reduces manual labor demands, and enhances productivity in urban agriculture. This approach is particularly beneficial for farming communities with limited time and water resources.*

Originality/Value: *This program integrates technological innovation with community empowerment in an urban agricultural setting, offering a practical and replicable model for improving water management efficiency and supporting sustainable urban farming practices.*

Keywords: *Smart Irrigation; Urban Agriculture; Farmer Group D'rangrang; Water Use Efficiency; Sustainable Agriculture*

PENDAHULUAN

Pertanian perkotaan merupakan salah satu strategi penting dalam mendukung ketahanan pangan di wilayah metropolitan yang menghadapi tekanan alih fungsi lahan, pertumbuhan penduduk, dan keterbatasan sumber daya alam. Wilayah penyangga ibu kota, seperti Kota Depok, memiliki potensi signifikan dalam pengembangan pertanian perkotaan melalui pemanfaatan lahan sempit dan sistem budidaya intensif. Namun demikian, pengelolaan pertanian perkotaan menghadapi tantangan serius, terutama terkait efisiensi penggunaan air dan keterbatasan waktu pengelolaan lahan akibat karakteristik pelaku tani yang sebagian besar merupakan pekerja aktif di wilayah Jakarta.

Perubahan iklim yang ditandai oleh ketidakpastian curah hujan dan peningkatan suhu turut memperburuk permasalahan pengelolaan air pada sektor pertanian perkotaan. Penggunaan metode irigasi konvensional yang bersifat manual dan berbasis kebiasaan sering kali menyebabkan pemborosan air serta ketidaksesuaian antara kebutuhan tanaman dan volume air yang diberikan. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan produktivitas tanaman, mempercepat degradasi tanah, dan meningkatkan beban kerja petani. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan teknologi yang mampu mendukung efisiensi, presisi, dan otomatisasi dalam sistem irigasi pertanian perkotaan.

Teknologi irigasi cerdas berbasis sensor kelembaban tanah dan data cuaca telah banyak dikaji sebagai solusi dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air pada sektor pertanian. Sistem ini bekerja dengan mendeteksi kondisi aktual tanah dan lingkungan, kemudian mengatur waktu serta volume penyiraman secara otomatis sesuai kebutuhan tanaman (Mayuree et al., 2019). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan irigasi cerdas mampu meningkatkan produktivitas tanaman sekaligus mengurangi konsumsi air secara signifikan dibandingkan metode irigasi tradisional (Ahmed et al., 2023; Touil et al., 2022).

Meskipun demikian, sebagian besar penerapan teknologi irigasi cerdas masih berfokus pada wilayah pedesaan dengan skala lahan besar, sementara implementasi pada pertanian perkotaan skala kecil, khususnya dalam konteks kelompok tani, masih relatif terbatas (Nayak et al., 2021). Kegiatan pengabdian masyarakat sebelumnya umumnya masih menitikberatkan pada pelatihan dasar pengelolaan air tanpa integrasi teknologi berbasis Internet of Things (IoT) sebagai sistem pendukung keputusan yang presisi (Lee, 2022).

Dalam kegiatan pertanian perkotaan yang dilaksanakan oleh Kelompok Tani D'rangrang di Kota Depok, komoditas utama yang dibudidayakan adalah tanaman jagung. Tanaman jagung memiliki kebutuhan air yang berbeda pada setiap fase pertumbuhan, sehingga pengelolaan irigasi yang tidak tepat dapat berdampak langsung pada penurunan hasil panen. Secara agronomis, jagung memerlukan kelembaban tanah yang relatif tinggi pada fase perkecambahan dan pembungaan, serta kelembaban yang lebih stabil

pada fase vegetatif hingga pematangan. Rentang kebutuhan kelembaban tanah optimal tanaman jagung pada setiap fase pertumbuhan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Kelembaban Tanah Optimal Tanaman Jagung pada Setiap Fase Pertumbuhan

Fase Pertumbuhan	Kelembaban Tanah Optimal
Perkecambahan	70% – 80%
Vegetatif (pertumbuhan daun dan batang)	60% – 70%
Pembungaan	70% – 80%
Pengisian biji	70% – 80%
Pematangan	60% – 70%

Sumber: FAO (*Food and Agriculture Organization*) (2021)

Perbedaan kebutuhan kelembaban tanah tersebut menunjukkan bahwa pemberian air secara seragam tanpa mempertimbangkan fase pertumbuhan tanaman berpotensi menyebabkan inefisiensi penggunaan air dan menurunkan kualitas pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, sistem irigasi yang mampu menjaga kelembaban tanah dalam rentang optimal secara otomatis menjadi kebutuhan mendesak dalam pengelolaan pertanian perkotaan yang berkelanjutan.

Berdasarkan kondisi tersebut, program pengabdian kepada masyarakat melalui skema Pemberdayaan Kemitraan Masyarakat (PKM) dilaksanakan dengan tujuan memberikan pelatihan dan pendampingan penerapan teknologi irigasi cerdas berbasis sensor kelembaban tanah dan cuaca pada Kelompok Tani D’rangrang. Kegiatan ini tidak hanya diarahkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan produktivitas tanaman, tetapi juga untuk membangun kapasitas petani dalam pemanfaatan teknologi IoT yang adaptif terhadap keterbatasan lahan dan waktu pengelolaan di wilayah perkotaan. Dengan demikian, kegiatan ini diharapkan dapat menjadi model penerapan teknologi pertanian cerdas yang aplikatif, berkelanjutan, dan dapat direplikasi pada kelompok tani perkotaan di wilayah lain.

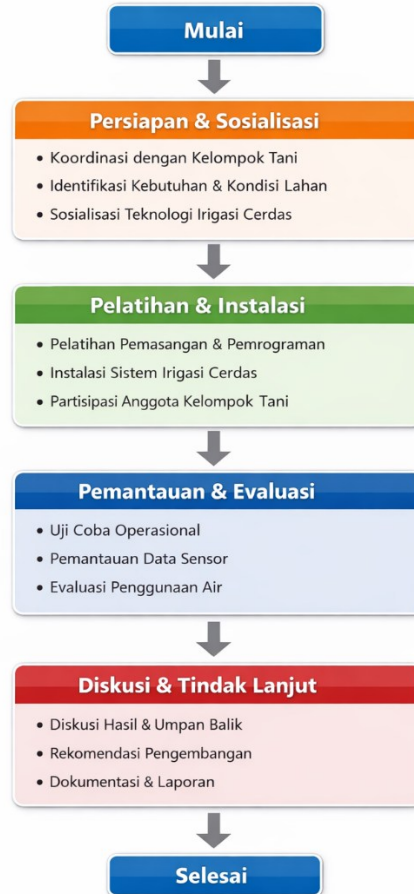
METODE

Pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dirancang dan dilaksanakan secara sistematis melalui beberapa tahapan terintegrasi, meliputi tahap persiapan, pelatihan, instalasi sistem, pemantauan, serta evaluasi dan tindak lanjut. Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan kolaboratif-partisipatif, di mana anggota Kelompok Tani D’rangrang dilibatkan secara aktif pada setiap tahapan kegiatan. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan proses alih teknologi irigasi cerdas dapat berlangsung secara efektif, berkelanjutan, dan sesuai dengan kebutuhan serta kapasitas mitra. Melalui pendekatan tersebut, kegiatan pengabdian tidak hanya berfokus pada implementasi teknologi, tetapi juga diarahkan pada penguatan kapasitas kelompok tani dalam pengelolaan sistem irigasi secara mandiri. Kegiatan pengabdian dilaksanakan bersama mitra, yaitu Kelompok Tani D’rangrang yang berlokasi di kawasan Grand Depok City (GDC), Kelurahan Sukmajaya, Kota Depok, Provinsi Jawa Barat. Secara umum, metode pelaksanaan kegiatan dibagi ke dalam dua komponen utama, yaitu penyediaan alat dan bahan, serta tahapan pelaksanaan kegiatan pengabdian.

Alat dan Bahan

Kegiatan pengabdian ini memanfaatkan teknologi berbasis Internet of Things (IoT) dalam pengembangan sistem irigasi cerdas. Alat dan bahan utama yang digunakan meliputi sensor kelembaban tanah (soil moisture sensor) yang berfungsi untuk mengukur tingkat kelembaban tanah secara real-time, serta sensor suhu dan kelembaban lingkungan menggunakan modul DHT11 untuk memantau kondisi iklim mikro lahan pertanian. Sistem dikendalikan menggunakan mikrokontroler NodeMCU yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan data sensor dan pengendali pompa air.

Distribusi air dilakukan menggunakan pompa air otomatis merek Sanyo dengan tekanan kerja 3–10 bar, yang dihubungkan dengan jaringan pipa PVC dan selang air sebagai media penyalur air ke lahan pertanian. Sebagai sumber energi, sistem didukung oleh panel surya berkapasitas 160 Wp yang dilengkapi dengan baterai penyimpanan berkapasitas 12 V 100 Ah, sehingga memungkinkan operasional sistem secara berkelanjutan dan ramah lingkungan. Selain itu, digunakan kabel koneksi serta perangkat keras pendukung lainnya untuk integrasi sistem secara menyeluruh. Sistem ini juga terhubung dengan aplikasi berbasis web atau mobile yang memungkinkan pemantauan data sensor dan pengendalian irigasi secara jarak jauh.



Gambar 1. Tahap Pelaksanaan Kegiatan

Tahapan Pelaksanaan Kegiatan

Tahap pertama adalah tahap persiapan dan sosialisasi. Pada tahap ini dilakukan koordinasi awal dengan Kelompok Tani D'rangrang untuk mengidentifikasi kebutuhan, kondisi lahan, serta pola pengelolaan air yang selama ini diterapkan. Sosialisasi teknologi irigasi cerdas dilakukan melalui kegiatan pemaparan singkat yang menjelaskan latar belakang, manfaat, prinsip kerja, serta tujuan penerapan sistem irigasi berbasis sensor dan IoT dalam mendukung efisiensi penggunaan air pada pertanian perkotaan.

Tahap kedua adalah tahap pelatihan dan instalasi sistem. Pada tahap ini, anggota kelompok tani diberikan pelatihan yang mencakup pengenalan komponen perangkat keras dan fungsinya, teknik pemasangan sensor kelembaban tanah dan sensor cuaca, pemrograman dasar mikrokontroler untuk integrasi sensor dan pompa air, serta penggunaan aplikasi web atau mobile untuk pemantauan dan pengendalian sistem. Setelah pelatihan, dilakukan instalasi sistem irigasi cerdas secara langsung di lahan pertanian Kelompok Tani D'rangrang. Proses instalasi dilaksanakan secara partisipatif untuk memastikan pemahaman teknis dan kemampuan pemeliharaan sistem oleh anggota kelompok tani.

Tahap ketiga adalah tahap pemantauan dan evaluasi. Setelah sistem terpasang, dilakukan uji coba operasional selama dua minggu untuk memastikan kinerja dan stabilitas sistem. Pemantauan dilakukan melalui pengamatan data sensor kelembaban tanah dan lingkungan, serta evaluasi terhadap volume dan frekuensi penggunaan air. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa penerapan sistem irigasi cerdas mampu menurunkan konsumsi air hingga sekitar 30% dibandingkan dengan metode irigasi konvensional, tanpa mengganggu pertumbuhan tanaman.

Tahap keempat adalah tahap diskusi dan tindak lanjut. Pada tahap ini dilakukan diskusi evaluatif bersama anggota kelompok tani untuk membahas hasil implementasi, kendala teknis yang ditemui, serta potensi pengembangan sistem ke depannya. Rekomendasi teknis diberikan untuk optimalisasi sistem, termasuk kemungkinan replikasi teknologi irigasi cerdas pada lahan lain dengan karakteristik serupa. Seluruh rangkaian kegiatan didokumentasikan sebagai bahan pelaporan dan publikasi kegiatan pengabdian kepada masyarakat.

Kegiatan pelatihan dan diskusi evaluasi dilaksanakan pada tanggal 22 Desember 2024 di lahan pertanian perkotaan Kelompok Tani D'rangrang yang berlokasi di Kelurahan Tirtajaya, Kecamatan Sukmajaya, Kota Depok. Kegiatan tersebut dihadiri oleh Ketua Pembina Kelompok Tani D'rangrang, Bapak Abdul Gofur, serta 17 anggota kelompok tani aktif. Sebagian besar anggota kelompok tani merupakan pekerja di wilayah Jakarta yang mengelola lahan pertanian sebagai upaya pelestarian lingkungan sekaligus peningkatan ketahanan pangan di kawasan perkotaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat menghasilkan implementasi sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things (IoT) yang berfungsi dengan baik pada lahan pertanian Kelompok Tani D'rangrang. Implementasi tersebut mencakup pemasangan perangkat sensor, sistem pengendali otomatis, serta pemanfaatan energi terbarukan. Evaluasi kinerja sistem dilakukan melalui pengamatan terhadap beberapa parameter utama yang berkaitan dengan pengelolaan air, efisiensi kerja, dan pengaturan jadwal pengairan, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Pengukuran Sistem Irigasi Cerdas

Parameter	Sebelum Sistem (Manual)	Sesudah Sistem (Otomatis)
Kelembaban tanah	Tidak terukur	35–45%
Efisiensi penggunaan air	Tidak terukur	±30% lebih hemat
Tekanan air	Tidak terukur	3–8 bar
Produktivitas kerja	Waktu lebih lama	Waktu lebih efisien
Jadwal pengairan	Tidak teratur	Teratur berbasis sensor

Sumber: hasil kegiatan tim (2025)

Berdasarkan data pada Tabel 2, kondisi pengairan sebelum penerapan sistem irigasi cerdas menunjukkan keterbatasan dalam pengukuran dan pengendalian kelembaban tanah. Penyiraman dilakukan secara manual tanpa dasar data kuantitatif, sehingga tingkat kelembaban tanah tidak dapat dipastikan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan ketidakseimbangan air, baik berupa kekurangan maupun kelebihan air, yang berdampak pada pertumbuhan tanaman. Setelah penerapan sistem irigasi otomatis, kelembaban tanah dapat dipantau secara real-time dan terjaga pada kisaran 35–45%. Meskipun nilai tersebut masih berada di bawah kisaran ideal tanaman jagung pada fase tertentu, hasil ini menunjukkan adanya peningkatan kontrol terhadap kondisi tanah dan menjadi dasar pengembangan pengaturan kelembaban yang lebih presisi pada tahap lanjutan.

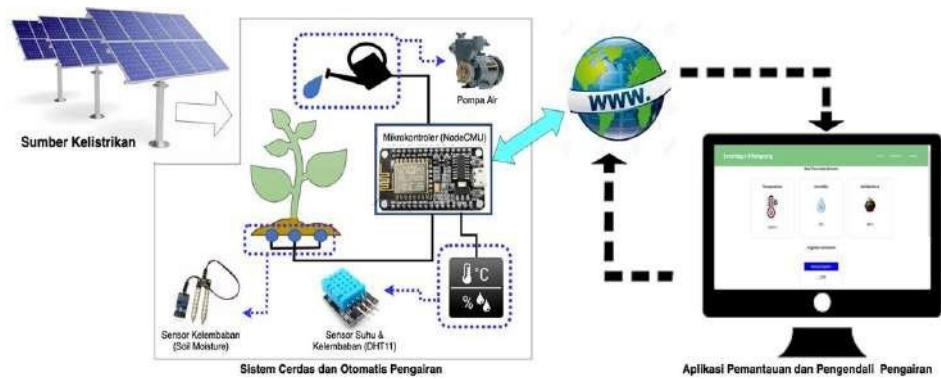


Gambar 2. Dokumentasi Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat

Efisiensi penggunaan air mengalami peningkatan yang signifikan setelah sistem irigasi cerdas dioperasikan. Pada metode manual, penggunaan air cenderung tidak terkendali karena tidak mempertimbangkan kondisi aktual tanah, sehingga berpotensi menimbulkan pemborosan. Setelah sistem otomatis diterapkan, pompa air hanya diaktifkan ketika kelembaban tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Mekanisme ini menghasilkan penghematan penggunaan air hingga sekitar 30%, yang menunjukkan bahwa sistem irigasi cerdas mampu mendukung pengelolaan air secara lebih efisien dan berkelanjutan.

Distribusi air pada metode manual sebelumnya dilakukan tanpa pengaturan tekanan yang terukur, sehingga aliran air tidak merata dan sulit dipantau. Setelah penerapan sistem irigasi otomatis, pompa air bekerja pada tekanan 3–8 bar, yang memungkinkan distribusi air lebih merata ke seluruh

area lahan pertanian. Pengendalian tekanan ini berkontribusi terhadap peningkatan kualitas pengairan dan mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih seragam.



Gambar 3. Arsitektur Sistem Irigasi Cerdas



Gambar 4. Tampilan Aplikasi Pemantau untuk Sistem Irigasi Cerdas berbasis Websites

Dari aspek produktivitas tenaga kerja, penyiraman manual memerlukan waktu dan tenaga yang relatif besar. Kondisi ini menjadi kendala utama pada pertanian perkotaan yang dikelola oleh tenaga kerja dengan keterbatasan waktu. Penerapan sistem irigasi otomatis mampu mengurangi beban kerja fisik dan waktu yang sebelumnya dialokasikan untuk penyiraman. Efisiensi tersebut memungkinkan alokasi waktu ke aktivitas pertanian lain yang bersifat produktif, sehingga pengelolaan lahan menjadi lebih efektif. Ketidakteraturan jadwal pengairan pada metode manual sebelumnya dipengaruhi oleh faktor kesibukan dan ketergantungan pada kehadiran tenaga kerja. Kondisi ini berpotensi menimbulkan stres air pada tanaman. Setelah sistem irigasi cerdas diterapkan, pengairan dapat dilakukan secara konsisten dan tepat waktu berdasarkan kondisi kelembaban tanah yang terpantau oleh sensor. Pengaturan ini meminimalkan risiko tanaman mengalami kekurangan air maupun kelebihan air.

Secara keseluruhan, hasil kegiatan menunjukkan bahwa penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT memberikan dampak positif terhadap efisiensi penggunaan air, keteraturan pengairan, serta efisiensi tenaga dan waktu kerja. Integrasi teknologi sensor, otomatisasi pompa, dan pemanfaatan energi terbarukan menjadikan sistem ini relevan untuk diterapkan pada pertanian perkotaan dengan keterbatasan sumber daya dan waktu pengelolaan. Selain itu, sistem yang diimplementasikan memiliki potensi keberlanjutan karena

dapat dikembangkan lebih lanjut melalui penyesuaian ambang kelembaban tanah sesuai kebutuhan tanaman dan perluasan cakupan area irigasi.

Peningkatan efisiensi penggunaan air telah dibahas melalui temuan penghematan konsumsi air hingga $\pm 30\%$ yang dihasilkan dari aktivasi pompa berbasis ambang kelembaban tanah hasil pembacaan sensor soil moisture. Aspek monitoring real-time telah diuraikan melalui penjelasan mengenai pemanfaatan sensor DHT11 dan soil moisture yang terhubung dengan aplikasi pemantauan berbasis IoT untuk pengambilan keputusan irigasi secara presisi. Keteraturan pengairan telah dijelaskan melalui perbandingan kondisi sebelum dan sesudah penerapan sistem otomatis, di mana jadwal penyiraman menjadi konsisten dan berbasis kondisi aktual tanah. Efisiensi waktu dan tenaga telah dimaknai melalui pengurangan beban kerja manual serta optimalisasi alokasi waktu kerja pada aktivitas pertanian lain yang lebih produktif. Pemanfaatan energi terbarukan telah tercermin melalui integrasi panel surya 160 Wp dan baterai 12V/100AH sebagai sumber energi mandiri yang mendukung keberlanjutan sistem tanpa ketergantungan pada listrik konvensional.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pelaksanaan dan pembahasan kegiatan pengabdian kepada masyarakat, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things (IoT) pada lahan pertanian Kelompok Tani D'rangrang telah berjalan dengan baik dan mencapai tujuan yang direncanakan. Implementasi sistem ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air secara signifikan, yang ditunjukkan oleh penghematan konsumsi air hingga sekitar 30% dibandingkan metode irigasi manual. Pengairan yang sebelumnya tidak teratur dan tidak terukur telah bertransformasi menjadi lebih presisi melalui pemantauan kelembaban tanah dan kondisi lingkungan secara real-time.

Penerapan teknologi irigasi cerdas juga memberikan dampak positif terhadap efektivitas pengelolaan lahan pertanian perkotaan. Sistem otomatis berbasis sensor kelembaban tanah dan cuaca mampu menjaga kondisi tanah mendekati kisaran optimal bagi pertumbuhan tanaman, sehingga mendukung kesehatan tanaman dan stabilitas produksi. Selain itu, efisiensi waktu dan tenaga kerja meningkat secara nyata, mengingat proses penyiraman tidak lagi bergantung pada kehadiran fisik dan ketersediaan waktu anggota kelompok tani yang memiliki aktivitas utama di luar sektor pertanian.

Pemanfaatan sumber energi terbarukan melalui panel surya dan baterai penyimpanan menunjukkan bahwa sistem irigasi cerdas yang diterapkan bersifat ramah lingkungan dan berkelanjutan. Integrasi teknologi ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional, tetapi juga memperkuat kemandirian kelompok tani dalam pengelolaan sistem irigasi.

Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian ini menunjukkan bahwa pendekatan pelatihan, pendampingan, dan penerapan teknologi irigasi cerdas berbasis IoT efektif dalam meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan pertanian perkotaan. Model penerapan yang telah dilakukan berpotensi untuk direplikasi dan dikembangkan di wilayah perkotaan lain sebagai upaya mendukung ketahanan pangan dan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPDM) atas pendanaan melalui program Pengabdian kepada Masyarakat dengan skema Pemberdayaan Kemitraan Masyarakat (PKM) yang mendukung terlaksananya kegiatan ini. Kami juga

menyampaikan apresiasi kepada pimpinan Universitas Gunadarma atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama proses perencanaan dan pelaksanaan program ini.

Selain itu, kami berterima kasih kepada Kelompok Tani D'rangrang, mitra kami, atas partisipasi aktif dan kerjasama yang sangat baik, serta kepada seluruh tim pelaksana yang telah bekerja keras dalam menyukseskan kegiatan ini. Semoga hasil kegiatan ini memberikan manfaat nyata bagi mitra dan masyarakat luas.

REFERENSI

- Ahmed, Z., Gui, D., Murtaza, G., Yunfei, L., & Ali, S. (2023). An Overview of Smart Irrigation Management for Improving Water Productivity under Climate Change in Drylands. *Agronomy*, 13(8), 2113. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082113>
- Athawale, D., Jain, K., Meher, V., Waghamare, S., & Pandey, K. (2024). IoT Based Smart Irrigation System. *Interantional Journal Of Scientific Research In Engineering And Management*, 08(04), 1–5. <https://doi.org/10.55041/IJSREM31307>
- Fernandez S, G., K, V., V, K., S, V., K, S., D, S., & R, P. (2020). Smart soil monitoring and water conservation using irrigation on technology. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 19(1), 99. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v19.i1.pp99-107>
- García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Lloret, J., & Lorenz, P. (2020). IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture. *Sensors*, 20(4), 1042. <https://doi.org/10.3390/s20041042>
- Lee, J. (2022). Evaluation of Automatic Irrigation System for Rice Cultivation and Sustainable Agriculture Water Management. *Sustainability*, 14(17), 11044. <https://doi.org/10.3390/su141711044>
- Li, H., Mei, X., Wang, J., Huang, F., Hao, W., & Li, B. (2021). Drip fertigation significantly increased crop yield, water productivity and nitrogen use efficiency with respect to traditional irrigation and fertilization practices: A meta-analysis in China. *Agricultural Water Management*, 244, 106534. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106534>
- Mayuree, M., Aishwarya, P., & Bagubali, A. (2019). Automatic Plant Watering System. *2019 International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN)*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/ViTECoN.2019.8899452>
- Nayak, R. C., Roul, M. K., & Sarangi, S. K. (2021). Innovative Methods to Enhance Irrigation in Rural Areas for Cultivation Purpose. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 102(4), 1045–1051. <https://doi.org/10.1007/s40030-021-00569-2>
- Pradeep, S., Vyshnavi, G., Tejaswini, M., Vaishnavi, P., & Indhu, Y. (2023). Iot Based Remote Operated Smart Irrigation Systemfor Enhancing The Crop Yield. *2023 IEEE 5th International Conference on Cybernetics, Cognition and Machine Learning Applications (ICCCMLA)*, 287–291. <https://doi.org/10.1109/ICCCMLA58983.2023.10346865>

- Rathore, T., Gupta, D. K., & Kumar, N. (2023). Smart Irrigation system using IoT. *2023 Third International Conference on Secure Cyber Computing and Communication (ICSCCC)*, 605–610. <https://doi.org/10.1109/ICSCCC58608.2023.10176528>
- Sánchez Millán, F., Ortiz, F. J., Mestre Ortuño, T. C., Frutos, A., & Martínez, V. (2023). Development of Smart Irrigation Equipment for Soilless Crops Based on the Current Most Representative Water-Demand Sensors. *Sensors*, *23*(6), 3177. <https://doi.org/10.3390/s23063177>
- Singh, D., Biswal, A. K., Samanta, D., Singh, V., Kadry, S., Khan, A., & Nam, Y. (2023). Smart high- yield tomato cultivation: Precision irrigation system using the Internet of Things. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1239594. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1239594>
- Touil, S., Richa, A., Fizir, M., Argente García, J. E., & Skarmeta Gómez, A. F. (2022). A review on smart irrigation management strategies and their effect on water savings and crop yield. *Irrigation and Drainage*, *71*(5), 1396–1416. <https://doi.org/10.1002/ird.2735>