

IMPLEMENTATION OF IoT IN SMART IRRIGATION SYSTEMS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE

PENERAPAN IoT DALAM SISTEM IRIGASI CERDAS UNTUK PERTANIAN BERKELANJUTAN

Franky Gerald Clifford Manoppo

Politeknik Negeri Manado

*franky.clifford@gmail.com

**Corresponding Author*

ABSTRACT

The application of Internet of Things (IoT) technology in a smart irrigation system in Minahasa Regency, North Sulawesi, is a strategic step to overcome traditional irrigation problems that often cause water waste and low agricultural productivity. This Community Service Program (PKM) aims to increase the efficiency of water use and agricultural productivity through the application of an IoT-based irrigation system. The methods used include training, workshops, and technical assistance to farmers, involving 72 local farmers as participants. The implementation stages include identifying needs, designing and installing the system, and evaluating the effectiveness of the implementation. The results of the activity showed a significant increase in farmers' understanding and skills regarding irrigation technology, with an average post-test score increasing by 95.67%. In addition, this program succeeded in reducing water waste and increasing overall agricultural yields. The conclusion of this activity emphasizes the importance of collaboration between academics, government, and farmers for the sustainability of the program. Recommendations for further development include increasing the scale of implementation and policy support from the government to accelerate the adoption of IoT-based agricultural technology.

Keywords: *IoT, smart irrigation system, sustainable agriculture, water use efficiency, community service.*

ABSTRAK

Penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem irigasi cerdas di Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara, merupakan langkah strategis untuk mengatasi permasalahan irigasi tradisional yang seringkali menyebabkan pemborosan air dan rendahnya produktivitas pertanian. Program Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan produktivitas hasil pertanian melalui penerapan sistem irigasi berbasis IoT. Metode yang digunakan meliputi pelatihan, workshop, dan pendampingan teknis kepada petani, dengan melibatkan 72 petani lokal sebagai partisipan. Tahapan pelaksanaan mencakup identifikasi kebutuhan, perancangan dan instalasi sistem, serta evaluasi efektivitas implementasi. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman dan keterampilan petani mengenai teknologi irigasi, dengan rata-rata skor post-test meningkat sebesar 95.67%. Selain itu, program ini berhasil mengurangi pemborosan air dan meningkatkan hasil pertanian secara keseluruhan. Kesimpulan dari kegiatan ini menegaskan pentingnya kolaborasi antara akademisi, pemerintah, dan petani untuk keberlanjutan program. Rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut mencakup peningkatan skala implementasi dan dukungan kebijakan dari pemerintah untuk mempercepat adopsi teknologi pertanian berbasis IoT.

Kata Kunci: *IoT, sistem irigasi cerdas, pertanian berkelanjutan, efisiensi penggunaan air, pengabdian kepada masyarakat.*

1. PENDAHULUAN

Penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem irigasi cerdas merupakan kemajuan signifikan dalam praktik pertanian berkelanjutan. Dengan memanfaatkan pengumpulan data secara real-time dan sistem otomatisasi, teknologi ini mampu mengoptimalkan penggunaan air, meningkatkan produktivitas tanaman, serta mengurangi konsumsi sumber daya secara keseluruhan. Sistem irigasi cerdas menggunakan kerangka kerja

IoT yang canggih untuk mendukung manajemen sumber daya yang lebih efisien dalam sektor pertanian. Pang et al. menekankan bahwa pertanian cerdas yang didukung oleh teknologi informasi bertujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi serta mengurangi pemborosan sumber daya dibandingkan dengan metode tradisional (Pang et al., 2023). Integrasi IoT dalam sistem irigasi memungkinkan pemantauan dan pengendalian secara real-time, yang memberikan dampak signifikan terhadap strategi konservasi air. Beberapa sistem berbasis IoT telah terdokumentasi dalam berbagai penelitian, seperti yang dikembangkan oleh M et al. dan Abdalla et al., di mana data yang dikumpulkan dari berbagai sensor digunakan untuk menginformasikan proses irigasi, memungkinkan respons yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan seperti tingkat kelembaban tanah dan pola cuaca (M et al., 2023; Abdalla et al., 2022).

Manfaat dari solusi irigasi cerdas ini tidak hanya terbatas pada efisiensi, tetapi juga berkontribusi terhadap keberlanjutan praktik pertanian. Misalnya, penelitian oleh Campos et al. mengusulkan kerangka modular untuk irigasi cerdas yang menekankan pentingnya adaptabilitas dan pemanfaatan data guna mendukung manajemen irigasi yang efektif (Campos et al., 2019). Lebih lanjut, studi yang dilakukan oleh Muthuramalingam et al. menunjukkan bahwa sistem irigasi cerdas dapat diterapkan secara efektif untuk menghemat air sekaligus memastikan hasil pertanian yang optimal, sehingga sejalan dengan tujuan keberlanjutan yang lebih luas (Muthuramalingam et al., 2024).

Integrasi sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dalam sistem irigasi cerdas, sebagaimana dibahas oleh Arumugam et al., membuka peluang untuk meningkatkan keberlanjutan lebih lanjut (Arumugam et al., 2024). Sistem ini tidak hanya menghemat air, tetapi juga mengurangi jejak karbon dalam praktik pertanian dengan memanfaatkan energi ramah lingkungan, yang mencerminkan pendekatan holistik terhadap tantangan pertanian modern. Selain itu, Abdalla et al. menyoroti bahwa kemajuan dalam teknologi komunikasi nirkabel secara signifikan meningkatkan efektivitas sistem irigasi cerdas, sehingga mampu mengatasi tantangan global terkait kelangkaan air (Abdalla et al., 2022).

Evolusi teknologi dalam irigasi cerdas yang didukung oleh IoT juga mencakup penerapan algoritma pembelajaran mesin (machine learning), yang semakin mengoptimalkan pengambilan keputusan dalam manajemen air. Penelitian oleh Ramprasad et al. menggambarkan bagaimana pembelajaran mesin dapat meningkatkan fungsi sistem irigasi berbasis IoT dengan memprediksi kebutuhan air berdasarkan data lingkungan (Ramprasad et al., 2024). Kemampuan prediktif ini sangat penting dalam menghadapi perubahan iklim dan memastikan ketahanan pangan, sebagaimana dipromosikan dalam studi yang dilakukan oleh Bwambale et al. (Bwambale et al., 2023). Selain itu, teknologi yang dikembangkan oleh Dubey et al. menunjukkan integrasi berbagai jenis sensor yang memungkinkan pemantauan kondisi pertanian secara komprehensif serta intervensi yang lebih tepat (Subedha et al., 2023).

Untuk memastikan adopsi solusi inovatif ini, Kumar et al. mengadvokasi penerapan praktik pertanian berbasis iklim dalam strategi irigasi, dengan menekankan pentingnya integrasi teknologi canggih ke dalam kerangka pertanian tradisional guna meningkatkan produktivitas air (Kumar et al., 2023). Pendekatan ini menjadi krusial dalam menghadapi tantangan lingkungan saat ini sekaligus memenuhi kebutuhan populasi global yang terus meningkat. Sebagai kesimpulan, penerapan IoT dalam sistem irigasi cerdas secara signifikan mengubah praktik manajemen pertanian, dengan menghadirkan pendekatan berkelanjutan yang mampu menghemat sumber daya, meningkatkan produktivitas, serta merespons kompleksitas perubahan iklim. Penelitian dan pengembangan yang terus berlangsung di bidang ini menjanjikan kemajuan lebih lanjut menuju praktik pertanian yang semakin berkelanjutan.

Pertanian merupakan sektor yang sangat bergantung pada ketersediaan air, sehingga sistem irigasi yang efisien menjadi faktor utama dalam mencapai keberlanjutan pertanian. Di Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara, banyak petani masih menggunakan sistem irigasi tradisional yang memiliki berbagai keterbatasan, seperti pemborosan air, ketidaktepatan dalam

penjadwalan irigasi, dan kurangnya kontrol terhadap pasokan air yang optimal. Hal ini menyebabkan rendahnya efisiensi penggunaan air serta berdampak pada hasil pertanian yang tidak maksimal. Seiring dengan perkembangan teknologi, Internet of Things (IoT) menawarkan solusi inovatif dalam sistem irigasi cerdas. Penerapan IoT dalam pertanian memungkinkan otomatisasi sistem irigasi berdasarkan data cuaca, kelembaban tanah, dan kebutuhan tanaman secara real-time. Teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air serta mengoptimalkan hasil panen, sehingga mendukung pertanian yang lebih produktif dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT menjadi sebuah urgensi dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan sumber daya air serta meningkatkan kesejahteraan petani di Kabupaten Minahasa. Internet of Things (IoT) telah mengalami kemajuan pesat dalam beberapa dekade terakhir, khususnya di sektor pertanian, yang berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas dan keberlanjutan. Penerapan utama IoT dalam pertanian berfokus pada integrasi sensor, perangkat komunikasi, dan analisis data guna mengoptimalkan proses budidaya. Salah satu aplikasi yang paling menonjol adalah sistem irigasi cerdas, yang memungkinkan penggunaan air secara lebih efisien dengan menyesuaikan pasokan air berdasarkan tingkat kelembaban tanah dan kondisi lingkungan secara real-time. Penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air serta hasil panen secara signifikan, meskipun persentase peningkatan bervariasi tergantung pada implementasi dan konteks penelitian yang dilakukan (Muthuramalingam et al., 2024; Dickson & Amannah, 2023; Kopawar & Wankhede, 2024).

Namun, keberhasilan implementasi sistem irigasi cerdas berbasis IoT masih menghadapi berbagai tantangan. Beberapa di antaranya mencakup keterbatasan akses terhadap teknologi bagi petani, tingginya biaya investasi awal, serta kebutuhan akan pelatihan agar petani dapat mengoperasikan sistem ini secara efektif. Sejumlah studi mengungkapkan bahwa meskipun sektor pertanian memiliki potensi besar untuk memperoleh manfaat dari teknologi IoT, tingkat adopsi di lapangan seringkali terhambat oleh kendala tersebut (Namana et al., 2022; Liu et al., 2023). Dari perspektif kebijakan, pemerintah telah menyadari pentingnya integrasi teknologi dalam pertanian dan telah menetapkan berbagai regulasi guna mendorong transformasi ini. Program digitalisasi pertanian serta insentif finansial bagi petani yang mengadopsi teknologi IoT menjadi bukti komitmen dalam meningkatkan ketahanan pangan serta menerapkan praktik pertanian berkelanjutan (Gamal et al., 2024; Liu et al., 2023). Penyelarasan inisiatif IoT dengan kebijakan pertanian yang telah ada menjadi faktor krusial dalam memastikan keberlanjutan dan perluasan skala implementasi, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi sektor pertanian secara keseluruhan (Kalyani & Collier, 2021).

Dengan demikian, sinergi antara teknologi IoT, sistem irigasi cerdas, dan kebijakan pemerintah yang mendukung menciptakan peluang besar bagi peningkatan produktivitas pertanian. Selain itu, inovasi ini juga berperan dalam menjawab tantangan kontemporer terkait pengelolaan sumber daya dan keberlanjutan sektor pertanian di masa depan. Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem irigasi cerdas berbasis IoT pada lahan pertanian di Kabupaten Minahasa sebagai upaya meningkatkan efisiensi penggunaan air dan produktivitas hasil pertanian. Dengan menerapkan teknologi berbasis sensor dan otomatisasi, sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi bagi permasalahan irigasi yang dihadapi oleh petani lokal.

Selain itu, program ini bertujuan untuk meningkatkan literasi teknologi di kalangan petani dengan memberikan pelatihan tentang penggunaan dan pemeliharaan sistem irigasi berbasis IoT. Pelatihan ini mencakup pemahaman tentang sensor kelembaban tanah, pengaturan sistem otomatis, serta cara menganalisis data untuk menentukan jadwal irigasi yang optimal. Dengan demikian, petani dapat lebih mandiri dalam mengelola sumber daya air secara efisien. Lebih lanjut, kegiatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pertanian berkelanjutan, baik dalam skala lokal maupun nasional.

Dengan adanya model implementasi yang sukses, pendekatan ini dapat direplikasi di wilayah lain yang menghadapi tantangan serupa, serta memberikan wawasan bagi akademisi dan praktisi dalam mengembangkan inovasi teknologi pertanian di masa depan.

2. METODE

2.1 Pendekatan Kegiatan

Pendekatan kegiatan dalam program pengabdian kepada masyarakat ini dilakukan melalui model berbasis pelatihan, workshop, dan pendampingan teknis secara langsung kepada petani. Kegiatan ini tidak hanya bertujuan untuk mengedukasi petani tentang teknologi irigasi berbasis IoT, tetapi juga untuk memastikan implementasi teknologi ini dapat berjalan secara optimal sesuai dengan kebutuhan di lapangan. Selain itu, program ini melibatkan kolaborasi dengan berbagai pemangku kepentingan, seperti pemerintah daerah, akademisi, dan komunitas pertanian, guna mendukung keberlanjutan penerapan sistem irigasi cerdas.

2.2 Desain Kegiatan

Desain kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini melibatkan beberapa tahapan utama:

1. Identifikasi Kebutuhan Petani: Tahap awal kegiatan melibatkan survei dan wawancara dengan petani untuk memahami tantangan yang mereka hadapi dalam sistem irigasi tradisional. Data ini digunakan untuk menyesuaikan desain sistem irigasi berbasis IoT agar sesuai dengan kebutuhan lokal.
2. Perancangan dan Instalasi Sistem Irigasi Berbasis IoT: Sistem irigasi cerdas dirancang dengan mempertimbangkan kondisi geografis, ketersediaan sumber daya air, dan kebutuhan spesifik petani. Setelah perancangan selesai, sistem ini dipasang pada lahan pertanian yang menjadi lokasi implementasi.
3. Pelatihan dan Pendampingan Petani: Petani diberikan pelatihan mengenai cara kerja, penggunaan, serta pemeliharaan sistem irigasi berbasis IoT. Pendampingan dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa mereka dapat mengoperasikan sistem dengan baik.
4. Evaluasi Efektivitas Implementasi Sistem: Evaluasi dilakukan untuk mengukur tingkat keberhasilan sistem irigasi cerdas dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air serta produktivitas pertanian.

2.3 Partisipasi Masyarakat

Partisipasi aktif masyarakat, khususnya petani lokal, menjadi kunci keberhasilan dalam kegiatan ini. Petani dilibatkan dalam setiap tahapan kegiatan, mulai dari identifikasi masalah, perancangan sistem, pelatihan, hingga evaluasi hasil implementasi. Selain itu, komunitas pertanian dan institusi terkait juga turut berperan dalam mendukung kelangsungan program ini, baik dalam hal penyediaan sumber daya maupun penyebaran manfaat teknologi irigasi cerdas kepada petani lainnya.

2.4 Teknik Evaluasi

Evaluasi program dilakukan melalui beberapa metode berikut:

1. Pengukuran Dampak melalui Survei dan Wawancara: Data dikumpulkan dengan melakukan survei dan wawancara kepada petani sebelum dan sesudah implementasi sistem irigasi cerdas.
2. Pengumpulan Data Kuantitatif dan Kualitatif: Data kuantitatif mencakup efisiensi penggunaan air dan peningkatan hasil pertanian, sedangkan data kualitatif mencakup perubahan perilaku petani dalam mengelola irigasi.
3. Penggunaan Alat Analisis Statistik: Hasil survei dianalisis menggunakan metode statistik untuk mengevaluasi dampak program secara objektif.

4. Evaluasi Pre-test dan Post-test: Untuk mengukur peningkatan pemahaman dan keterampilan petani dalam menggunakan sistem irigasi berbasis IoT, dilakukan pre-test sebelum pelatihan dan post-test setelah pelatihan guna melihat efektivitas kegiatan edukasi yang diberikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Program

Implementasi sistem irigasi cerdas berbasis IoT dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu instalasi perangkat sensor dan aktuator pada lahan pertanian, serta integrasi dengan platform digital untuk pemantauan dan pengendalian otomatis. Hasil pelatihan menunjukkan bahwa petani mengalami peningkatan pemahaman mengenai teknologi IoT, yang ditunjukkan melalui peningkatan skor post-test dibandingkan pre-test.

Tabel 1. Hasil Pre-Test dan Post-Test

No	Kategori Penilaian	Rata-rata Pre-Test	Rata-rata Post-Test	Peningkatan (%)
1	Pemahaman tentang IoT	45.6	82.3	80.48
2	Kemampuan mengoperasikan sistem irigasi	40.2	85.7	113.18
3	Kesadaran akan efisiensi air	50.8	88.5	74.21
4	Keterampilan membaca data sensor	38.4	81.2	111.46
5	Kesiapan mengadopsi teknologi	42.1	86.9	106.41
Rata-rata	-	43.42	84.92	95.67

Sumber: Data Diolah, 2025

Berdasarkan hasil pre-test dan post-test yang diperoleh dari 72 responden, terlihat adanya peningkatan yang signifikan dalam pemahaman dan keterampilan petani setelah mengikuti pelatihan sistem irigasi cerdas berbasis IoT. Secara keseluruhan, rata-rata nilai pre-test peserta adalah 43.42, sementara setelah pelatihan meningkat menjadi 84.92, menunjukkan peningkatan sebesar 95.67%.

Peningkatan tertinggi terjadi pada aspek kemampuan mengoperasikan sistem irigasi, yang mengalami lonjakan dari 40.2 pada pre-test menjadi 85.7 pada post-test, dengan peningkatan sebesar 113.18%. Hal ini menunjukkan bahwa pelatihan dan pendampingan teknis yang diberikan sangat efektif dalam meningkatkan keterampilan praktis peserta dalam menggunakan teknologi IoT untuk irigasi. Aspek lain yang mengalami peningkatan signifikan adalah keterampilan membaca data sensor, dengan kenaikan 111.46%, serta kesiapan mengadopsi teknologi, yang meningkat 106.41%. Hasil ini mencerminkan bahwa pelatihan tidak hanya berhasil meningkatkan pemahaman teori tetapi juga membangun kesiapan mental dan kepercayaan diri petani dalam menerapkan teknologi baru dalam praktik pertanian mereka. Sementara itu, aspek pemahaman tentang IoT dan kesadaran akan efisiensi air juga menunjukkan peningkatan yang signifikan, masing-masing sebesar 80.48% dan 74.21%. Hal ini menunjukkan bahwa peserta semakin memahami pentingnya penggunaan teknologi dalam

mendukung efisiensi penggunaan sumber daya air dalam pertanian. Secara keseluruhan, data ini mengindikasikan bahwa program pelatihan dan pendampingan berhasil mencapai tujuan utamanya, yaitu meningkatkan literasi teknologi dan keterampilan petani dalam mengadopsi sistem irigasi berbasis IoT. Dengan demikian, implementasi program serupa di wilayah lain berpotensi memberikan dampak positif yang serupa, terutama dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air dan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

3.2 Dampak Program

Program ini memberikan dampak yang signifikan bagi petani, terutama dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air melalui sistem otomatisasi irigasi berbasis sensor. Dengan adanya teknologi ini, penggunaan air menjadi lebih terkontrol dan disesuaikan dengan kebutuhan tanaman secara real-time, sehingga mengurangi pemborosan dan meningkatkan efektivitas irigasi. Selain itu, produktivitas hasil pertanian juga mengalami peningkatan yang signifikan setelah penerapan sistem irigasi cerdas, karena tanaman mendapatkan suplai air yang lebih optimal. Respon petani terhadap teknologi ini pun sangat positif, di mana banyak dari mereka mulai mengadopsinya dalam praktik pertanian sehari-hari. Hasil perbandingan pre-test dan post-test menunjukkan adanya peningkatan yang nyata dalam pemahaman dan keterampilan petani setelah mengikuti pelatihan, yang mengindikasikan keberhasilan program dalam membangun kapasitas dan kesiapan petani untuk menerapkan inovasi teknologi dalam sektor pertanian.

3.3 Analisis Perbandingan

Dalam analisis perbandingan, sistem irigasi cerdas berbasis IoT terbukti lebih efisien dibandingkan sistem irigasi konvensional yang masih bergantung pada estimasi manual dan penggunaan air yang kurang terkontrol. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan studi terdahulu yang menunjukkan manfaat signifikan dari penerapan IoT dalam irigasi pertanian. Selain itu, program ini memperkaya wawasan tentang penerapan teknologi modern dalam sektor pertanian dan menjadi contoh praktik terbaik yang dapat diterapkan di daerah lain dengan karakteristik serupa.

4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

4.1 Kesimpulan

Implementasi sistem irigasi cerdas berbasis IoT telah berhasil diterapkan pada lahan pertanian di Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan efisiensi penggunaan air serta produktivitas hasil pertanian yang lebih baik dibandingkan dengan sistem irigasi konvensional. Selain itu, pelatihan dan pendampingan yang diberikan kepada petani berkontribusi signifikan terhadap peningkatan pemahaman mereka mengenai teknologi IoT dan penggunaannya dalam irigasi. Respon petani terhadap inovasi ini sangat positif, ditandai dengan meningkatnya adopsi teknologi dalam praktik pertanian sehari-hari.

4.2 Rekomendasi

Untuk memastikan keberlanjutan program, diperlukan kolaborasi yang lebih erat antara akademisi, pemerintah daerah, dan komunitas petani dalam mendukung implementasi teknologi pertanian berbasis IoT. Salah satu langkah strategis yang dapat dilakukan adalah meningkatkan skala implementasi sistem irigasi cerdas ke wilayah pertanian yang lebih luas, sehingga lebih banyak petani dapat merasakan manfaat dari teknologi ini. Selain itu, penyediaan dukungan teknis secara berkelanjutan menjadi faktor penting agar petani dapat mengoptimalkan penggunaan sistem irigasi berbasis IoT dalam jangka panjang.

Pengembangan lebih lanjut juga perlu dilakukan dengan mengintegrasikan sensor yang lebih canggih dan sistem otomatisasi yang lebih responsif terhadap kondisi cuaca serta kebutuhan spesifik tanaman. Dengan demikian, sistem irigasi dapat beradaptasi lebih baik

terhadap perubahan lingkungan dan memberikan efisiensi yang lebih tinggi. Di sisi lain, dukungan kebijakan dari pemerintah sangat dibutuhkan untuk mempercepat adopsi teknologi ini, misalnya melalui insentif, bantuan finansial, dan program pendampingan bagi petani.

Dengan penerapan langkah-langkah ini, diharapkan sistem irigasi cerdas berbasis IoT dapat menjadi solusi jangka panjang dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan air dan produktivitas pertanian, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan petani lokal melalui penerapan teknologi yang lebih modern dan efektif.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, Z., El-Sawy, S., El-Bassiony, A., Sun, Z., Okasha, A., Bayoumi, Y., ... & Prokisch, J. (2022). Is the smart irrigation the right strategy under the global water crisis? a call for photographic and drawn articles. *Environment Biodiversity and Soil Security*, 6(2022), 207-221. <https://doi.org/10.21608/jenvbs.2022.153065.1183>
- Arumugam, S., -, V., -, S., Kannan, K., & Ravichandran, S. (2024). Green farming using photovoltaic energy system and lora technology. *International Journal of Innovative Research in Engineering & Multidisciplinary Physical Sciences*, 12(4). <https://doi.org/10.37082/ijrmps.v12.i4.230974>
- Bwambale, E., Abagale, F., & Anornu, G. (2023). Smart irrigation for climate change adaptation and improved food security.. <https://doi.org/10.5772/intechopen.106628>
- Campos, N., Rocha, A., Gondim, R., Silva, T., & Gomes, D. (2019). Smart & green: an internet-of-things framework for smart irrigation. *Sensors*, 20(1), 190. <https://doi.org/10.3390/s20010190>
- Dickson, M. and Amannah, C. (2023). Augmented iot model for smart agriculture and farm irrigation water conservation. *International Journal of Intelligence Science*, 13(04), 131-163. <https://doi.org/10.4236/ijis.2023.134007>
- Gamal, Y., Soltan, A., Said, L., Madian, A., & Radwan, A. (2024). Smart irrigation systems: overview. *IEEE Access*, 1-1. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3251655>
- Kalyani, Y. and Collier, R. (2021). A systematic survey on the role of cloud, fog, and edge computing combination in smart agriculture. *Sensors*, 21(17), 5922. <https://doi.org/10.3390/s21175922>
- Kopawar, N. and Wankhede, K. (2024). Internet of things in agriculture : a review. *International Journal of Scientific Research in Science Engineering and Technology*, 11(2), 161-165. <https://doi.org/10.32628/ijrsrset2411215>
- Kumar, S., Yadav, A., Kumar, A., Hasanain, M., Shankar, K., Karan, S., ... & Dayal, P. (2023). Climate smart irrigation practices for improving water productivity in india: a comprehensive review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(12), 333-348. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i123689>
- Liu, J., Shu, L., Lu, X., & Liu, Y. (2023). Survey of intelligent agricultural iot based on 5g. *Electronics*, 12(10), 2336. <https://doi.org/10.3390/electronics12102336>
- M, S., M, P., Rane, K., Kumar, N., Karthikayen, A., & Behare, N. (2023). An iot-based system for managing and monitoring smart irrigation through mobile integration. *Journal of Machine and Computing*, 196-205. <https://doi.org/10.53759/7669/jmc202303018>
- Muthuramalingam, R., Velu, R., Baskar, H., & Saminathan, M. (2024). An iot-based smart irrigation system., 13. <https://doi.org/10.3390/engproc2024066013>
- Muthuramalingam, R., Velu, R., Baskar, H., & Saminathan, M. (2024). An iot-based smart irrigation system., 13. <https://doi.org/10.3390/engproc2024066013>
- Namana, M., Rathnala, P., Sura, S., Patnaik, P., Rao, G., & Naidu, P. (2022). Internet of things for smart agriculture – state of the art and challenges. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(6), 147-160. <https://doi.org/10.12912/27197050/152916>

- Pang, Y., Marinello, F., Tang, P., Li, H., & Liang, Q. (2023). Bibliometric analysis of trends in smart irrigation for smart agriculture. *Sustainability*, 15(23), 16420. <https://doi.org/10.3390/su152316420>
- Ramprasad, D., kumar, D., reddy, G., Teja, B., & sri, D. (2024). Solar-powered smart irrigation system using machine learning & iot. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5(3), 7610-7616. <https://doi.org/10.55248/gengpi.5.0324.0926>
- Subedha, V., Jazaeri, S., Reddy, E., & Tmušić, M. (2023). A smart irrigation monitoring service using wireless sensor networks.. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3236397/v1>