

TIRTA (TEKNOLOGI IOT UNTUK IRIGASI TERKENDALI DAN AUTOMASI): SISTEM IRIGASI PINTAR BERBASIS IOT DENGAN KONTROL OTOMATIS DAN PENJADWALAN DINAMIS

Cokorda Agung Yujana¹, I Kadek Agus Wahyu Raharja^{*1}, I Made Surya Kumara², I Made Oka Wali Putra³, Kevin Gerialdi Ekel Hagata Sinuraya⁴

^{1,2,3,4}Universitas Warmadewa, Denpasar, Indonesia

*raharja.wahyu.agus.kadek@warmadewa.ac.id

Abstrak

Desa Pempatan, Kecamatan Rendang, Karangasem menghadapi permasalahan serius terkait ketersediaan air irigasi akibat kondisi topografi berbukit dan ketergantungan tinggi pada curah hujan musiman. Sistem irigasi tradisional yang masih dilakukan secara manual menyebabkan pemborosan air, biaya operasional tinggi, dan produktivitas pertanian yang tidak stabil. Program pengabdian TIRTA (Teknologi IoT untuk Irigasi Terkendali dan Automasi) ini dikembangkan untuk memberikan solusi melalui penerapan sistem irigasi otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang memungkinkan pengaturan penyiraman melalui jadwal dinamis menggunakan Telegram Bot. Teknologi ini memanfaatkan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, relay sebagai aktuator pompa, serta integrasi protokol MQTT untuk memastikan komunikasi yang ringan dan stabil. Kegiatan pengabdian ini berfokus pada pemasangan perangkat sistem irigasi IoT dan pengujian fungsionalitas alat di lapangan. Sistem terbukti dapat beroperasi sesuai rancangan dan telah digunakan oleh petani selama beberapa hari setelah instalasi dengan respons positif terhadap kemudahan pengoperasian. Namun, evaluasi mengenai dampak jangka panjang, perhitungan efisiensi hemat biaya, dan penilaian kuantitatif terhadap peningkatan produktivitas belum dilakukan dalam kegiatan ini. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sistem irigasi tetes dapat menghemat air hingga 30-60% dibandingkan metode konvensional, yang menjadi dasar harapan manfaat dari sistem ini. Sistem ini terbukti menjadi solusi tepat guna yang mudah dioperasikan dan sesuai dengan kondisi infrastruktur pedesaan.

Kata Kunci: IoT, Irigasi Otomatis, MQTT, Telegram Bot, Efisiensi Air

Abstract

Pempatan Village in Karangasem Regency faces critical challenges in irrigation water availability due to hilly topography and significant dependence on seasonal rainfall. Traditional manual irrigation practices lead to water inefficiency, high operational costs, and unstable agricultural productivity. The TIRTA program (IoT Technology for Controlled Irrigation and Automation) provides a technological solution by implementing an IoT-based automatic irrigation system with dynamic scheduling integrated through a Telegram Bot. The system is powered by an ESP32 microcontroller, relay-based pump control, and the MQTT communication protocol to ensure stable, lightweight telemetry. This community service activity focuses on installing IoT irrigation system devices and testing the equipment's functionality in the field. The system has operated according to design and has been used by farmers for several days after installation with positive responses regarding ease of operation. However, evaluation of long-term impacts, calculation of cost savings efficiency, and quantitative assessment of productivity improvements have not been conducted in this activity. Previous research indicates that drip irrigation systems

can save 30-60% of water compared to conventional methods, providing the basis for the expected benefits of this system. This appropriate, low-cost technology has proven effective and user-friendly for rural farmers.

Keywords: IoT; Smart Irrigation; MQTT; Telegram Bot; Water Efficiency

I. PENDAHULUAN

Desa Pempatan di Kecamatan Rendang, Kabupaten Karangasem, merupakan wilayah pertanian yang menghadapi tantangan serius dalam ketersediaan air irigasi akibat kondisi topografi perbukitan dan variabilitas curah hujan. Pada musim kemarau, pasokan air mengalami penurunan drastis sehingga petani sering bergantung pada penampungan air hujan dan pembelian air melalui mobil tangki. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan biaya produksi sekaligus ketidakstabilan hasil panen. Berdasarkan data pengelolaan jaringan irigasi yang dikembangkan oleh Pemerintah Provinsi Bali, wilayah ini termasuk dalam kategori yang membutuhkan peningkatan efisiensi dan tata kelola air secara berkelanjutan untuk mempertahankan produktivitas pertanian [1].

Selain faktor ekologis, sistem pertanian di Bali juga dipengaruhi oleh struktur sosial tradisional yaitu subak. Subak tidak hanya berfungsi sebagai sistem manajemen air, tetapi juga sebagai kearifan lokal dalam mengatur pola tanam dan pembagian sumber daya pertanian secara komunal. Implementasi teknologi baru tidak boleh mengabaikan prinsip-prinsip kolektif ini, karena dapat memengaruhi harmoni sosial dan praktik pertanian yang telah berlangsung turun-temurun [2].

Variabilitas iklim dan meningkatnya intensitas musim kering sebagaimana dilaporkan BMKG Bali menjadi indikator penting perlunya penerapan teknologi yang mampu membantu petani mengelola sumber daya air secara lebih efisien. Kondisi cuaca ekstrem menyebabkan kesulitan dalam mempertahankan jadwal penyiraman yang konsisten. Di banyak kasus, penyiraman dilakukan berdasarkan perkiraan dan kebiasaan, bukan berdasarkan kebutuhan aktual tanaman atau efisiensi penggunaan air [3].

Regulasi nasional melalui Undang-Undang Sumber Daya Air juga menekankan pentingnya pemanfaatan teknologi dalam meningkatkan efisiensi air. Peraturan tersebut memberi ruang bagi pengembangan solusi teknologi tepat guna yang dapat diimplementasikan pada skala kecil seperti lahan pertanian desa [4]. Di tengah konteks tersebut, teknologi Internet of Things (IoT) menjadi pendekatan yang sangat relevan. IoT memungkinkan otomatisasi irigasi dengan kontrol berbasis waktu dan perintah jarak jauh. Penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan mikrokontroler seperti ESP32 dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air melalui pengaturan pompa otomatis dan kemampuan penjadwalan yang tepat [5]. Integrasi IoT dengan platform komunikasi seperti Telegram memberikan keleluasaan bagi petani untuk mengatur penyiraman melalui antarmuka yang sederhana dan familier [6]. Protokol komunikasi MQTT menawarkan stabilitas komunikasi yang sesuai untuk wilayah dengan koneksi jaringan yang terbatas [7].

Sistem irigasi tetes (drip irrigation) telah terbukti sebagai metode yang sangat efisien dalam penghematan air. Penelitian menunjukkan bahwa sistem irigasi tetes dapat

menghemat air hingga 30-60% dibandingkan dengan metode irigasi konvensional seperti sprinkler atau irigasi permukaan [8][9]. Beberapa studi bahkan melaporkan penghematan hingga 70-80% dalam kondisi tertentu [10]. Sistem tetes bekerja dengan mengalirkan air langsung ke zona akar tanaman, sehingga meminimalkan kehilangan air akibat evaporasi, runoff, dan penyiraman berlebih [11].

Penelitian terkini juga menunjukkan bahwa integrasi IoT dengan sistem irigasi dapat meningkatkan efisiensi lebih lanjut. Studi oleh García et al. (2020) menyatakan bahwa sistem irigasi pintar berbasis IoT mampu mengurangi penggunaan air hingga 30% sambil mempertahankan kelembaban tanah yang optimal [12]. Sistem berbasis sensor dan automasi memungkinkan penyiraman yang lebih presisi sesuai kebutuhan tanaman real-time [13][14].

Dengan latar belakang permasalahan tersebut, program Pengabdian kepada Masyarakat TIRTA dirancang untuk mengembangkan sistem irigasi otomatis berbasis IoT dengan kontrol dan penjadwalan dinamis yang dapat membantu petani menghadapi tantangan keterbatasan air. Tujuan utama kegiatan ini adalah memasang dan menguji coba sistem irigasi IoT di lahan petani Desa Pempatan, memberikan pelatihan dasar kepada petani dalam pengoperasian sistem, serta mengamati respons awal pengguna terhadap teknologi ini. Sistem ini tidak hanya mengotomatiskan penyiraman, tetapi juga memungkinkan pengelolaan waktu dan durasi penyiraman secara fleksibel melalui aplikasi Telegram yang familiar bagi petani [15].

II. METODE PELAKSANAAN

Metode pelaksanaan kegiatan pengabdian ini dirancang secara komprehensif untuk memastikan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis IoT dapat diimplementasikan secara efektif di lahan petani. Metode dijalankan melalui pendekatan desain rekayasa (engineering design process) yang mencakup tahap perancangan, pembuatan, pengujian, instalasi, dan pendampingan pengguna di lapangan. Kegiatan ini difokuskan pada aspek pemasangan perangkat dan pengujian fungsionalitas sistem, bukan pada evaluasi dampak jangka panjang atau perhitungan ekonomi.

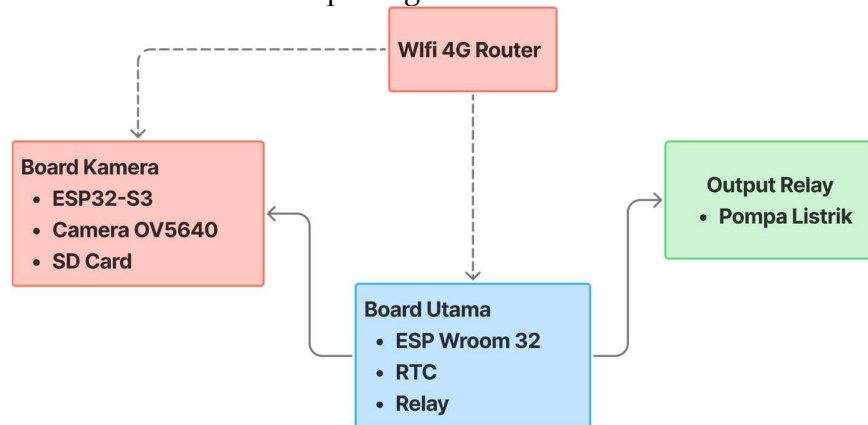
1. Perancangan Sistem dan Desain Hardware

Tahap awal pelaksanaan melibatkan analisis kebutuhan di lapangan dan identifikasi spesifikasi teknis yang diperlukan untuk mendukung proses irigasi otomatis. Mikrokontroler ESP32 dipilih sebagai pusat kendali karena memiliki konektivitas Wi-Fi bawaan, prosesor dual-core, serta kemampuan multitasking yang stabil untuk menjalankan sistem real-time.

Komponen pendukung lainnya meliputi RTC DS3231 untuk menjaga akurasi waktu meskipun jaringan internet tidak stabil, relay 10A sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan pompa air, serta power supply 12V yang aman untuk digunakan di lingkungan pertanian. Semua komponen tersebut dirangkai dalam sebuah casing kedap air (IP65) agar terlindung dari hujan, kelembapan, dan paparan debu.

Perancangan hardware difokuskan pada aspek keamanan, ketahanan, dan kemudahan perawatan. Rangkaian dilengkapi sekering pengaman serta konektor

yang dapat dilepas untuk mempermudah perbaikan. Setiap komponen diuji dalam simulasi laboratorium sebelum dipasang di lokasi.



Gambar 1 Desain Rangkaian Hardware Sistem Irigasi IoT

2. Perancangan Software dan Integrasi Telegram Bot

Perangkat lunak sistem dirancang untuk mendukung dua fungsi inti yaitu pengendalian otomatis melalui jadwal penyiraman dan pengendalian manual melalui perintah Telegram Bot. Firmware dikembangkan menggunakan bahasa C++ pada platform Arduino Framework. Struktur utama program mencakup inisialisasi modul (Wi-Fi, RTC, relay), loop pemantauan pesan Telegram menggunakan teknik long polling, serta mekanisme eksekusi penyiraman berdasarkan waktu RTC. Sistem dirancang untuk tetap beroperasi meskipun jaringan internet terputus melalui fallback mode.

Telegram Bot digunakan sebagai antarmuka pengguna karena ringan, mudah diakses, dan sudah dikenal oleh sebagian besar petani. Bot memiliki beberapa perintah utama seperti /jadwal, /durasi, /irigasi, dan /status.

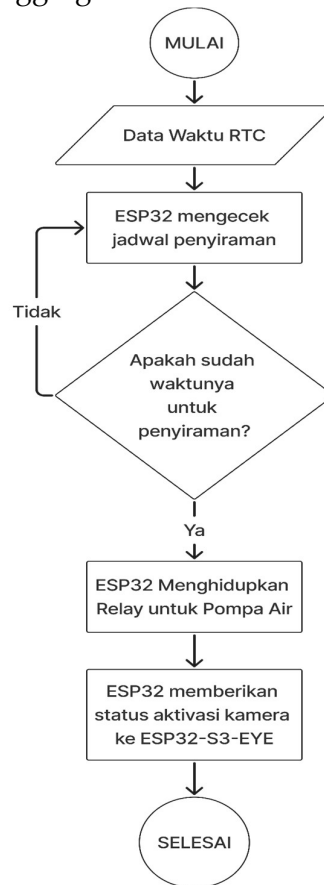


Gambar 2 Arsitektur Software Sistem Irigasi IoT

3. Flowchart Kerja Sistem

Flowchart digunakan untuk menggambarkan logika kerja sistem mulai dari inisialisasi hingga proses penyiraman otomatis. Alur proses dimulai dari inisialisasi perangkat, koneksi Wi-Fi, pembacaan perintah Telegram, penyimpanan jadwal,

pembandingan waktu RTC dengan jadwal, pengaktifan relay, dan kembali ke mode pemantauan. Flowchart ini memastikan sistem bekerja secara deterministik dan dapat ditelusuri ketika dilakukan debugging.



Gambar 3 Flowchart Operasional Sistem Irigasi IoT

4. Instalasi Perangkat di Lapangan

Setelah sistem diuji di laboratorium, perangkat dipasang di lahan pertanian desa mitra. Instalasi meliputi pemasangan pompa air, jaringan irigasi tetes, serta penempatan controller dalam kotak pelindung. Tahap ini juga melibatkan pelatihan langsung kepada petani mengenai cara kerja dan pemeliharaan perangkat. Proses instalasi dilakukan dengan melibatkan petani secara aktif agar mereka memahami komponen-komponen sistem dan dapat melakukan perawatan dasar secara mandiri



Gambar 4 Instalasi Perangkat Kontrol di Lahan Pertanian

5. Pelatihan Pengguna dan Pendampingan

Pelatihan diberikan kepada petani secara demonstratif di lahan percobaan. Materi meliputi cara mengatur jadwal penyiraman melalui Telegram, memahami durasi penyiraman, mengevaluasi sistem melalui perintah /status, serta cara menangani gangguan umum seperti Wi-Fi terputus. Pendampingan dilakukan selama minggu pertama setelah instalasi untuk memastikan petani dapat mengoperasikan sistem dengan baik. Tim pengabdian memberikan nomor kontak yang dapat dihubungi jika terjadi kendala teknis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pelaksanaan kegiatan mulai dari pembuatan sistem hingga pengujian fungsional perangkat di lapangan. Perlu ditekankan bahwa kegiatan ini berfokus pada aspek pemasangan dan pengujian teknis, sehingga evaluasi dampak jangka panjang seperti perhitungan hemat biaya operasional dan penilaian kuantitatif terhadap produktivitas belum dilakukan pada tahap ini.

1. Hasil Pembuatan dan Pengujian Hardware

Pembuatan modul hardware berhasil dilakukan sesuai spesifikasi. ESP32 bekerja stabil dalam pengujian laboratorium dengan tingkat keberhasilan koneksi Wi-Fi yang baik. RTC menunjukkan akurasi tinggi dengan penyimpangan kurang dari 1 menit per hari. Relay mampu beroperasi dalam 100 siklus on/off tanpa mengalami kerusakan. Pengujian dilakukan untuk memastikan setiap komponen berfungsi sebelum dipasang di lapangan.

Tabel 1 Hasil Uji Hardware Sistem IoT

Komponen	Parameter	Hasil	Status
ESP32	Stabilitas Wi-Fi	100%	Sangat baik
RTC DS3231	Akurasi waktu	<1 menit/hari	Baik
Relay 10A	Siklus on/off	100 siklus	Baik

2. Hasil Implementasi Lapangan

Setelah prototipe diuji di laboratorium, perangkat dipasang di lahan petani dan berhasil menjalankan penyiraman otomatis sesuai jadwal. Pipa irigasi tetes mendistribusikan air secara merata ke area tanam. Sistem telah digunakan oleh petani selama beberapa hari setelah instalasi dan berfungsi dengan baik bahkan ketika terjadi gangguan jaringan internet sesaat, berkat penggunaan RTC sebagai pengatur waktu utama.

Petani melaporkan bahwa mereka dapat mengoperasikan sistem melalui Telegram dengan mudah tanpa perlu memahami teknologi yang rumit. Respons awal pengguna sangat positif, terutama terkait kemudahan dalam mengatur jadwal penyiraman dari jarak jauh. Namun, perlu ditekankan bahwa evaluasi ini bersifat kualitatif dan berdasarkan pengamatan jangka pendek. Penilaian kuantitatif terhadap dampak sistem seperti pengurangan biaya operasional, penghematan air dalam satuan volume, atau peningkatan produktivitas tanaman belum dilakukan dalam kegiatan pengabdian ini.



Gambar 5 Pemasangan Pompa dan Jaringan Pipa Tetes

3. Integrasi Bot Telegram

Sebagai pengganti aplikasi khusus, sistem ini dilengkapi dengan Bot Telegram yang berfungsi sebagai antarmuka komunikasi. Melalui bot ini, petani dapat memberikan perintah sederhana yang telah dijelaskan dalam pelatihan. Perintah-perintah tersebut antara lain:

- /mulai → Memulai interaksi dengan sistem,
- /jadwal <HH:MM,HH:MM,...> → Mengatur jadwal penyiraman,
- /durasi <detik> → Mengatur durasi penyiraman,
- /waktu <DD-MM-YYYY HH:MM> → Menyetel waktu RTC,
- /irigasi → Memicu penyiraman secara langsung,
- /status → Melihat status jadwal, durasi, dan waktu.

Fitur ini mempermudah petani dalam mengoperasikan alat tanpa perlu memahami aplikasi yang rumit, cukup dengan perintah teks melalui smartphone. Setelah instalasi, sistem telah digunakan oleh petani selama beberapa hari pertama.

Berdasarkan observasi dan wawancara singkat, petani memberikan tanggapan positif terkait kemudahan pengoperasian. Mereka menyatakan bahwa penggunaan Telegram sangat membantu karena aplikasi tersebut sudah familiar dan tidak memerlukan instalasi aplikasi baru. Petani juga mengapresiasi fitur penjadwalan otomatis yang membebaskan mereka dari rutinitas penyiraman manual setiap hari, terutama di pagi hari. Namun, tanggapan ini masih bersifat awal dan kualitatif. Evaluasi lebih mendalam mengenai kepuasan pengguna, tantangan operasional dalam jangka panjang, serta dampak terhadap hasil panen memerlukan waktu pengamatan yang lebih lama dan akan menjadi fokus kegiatan lanjutan.



Gambar 6 Antarmuka Telegram Bot untuk Kontrol Irigasi

IV. SIMPULAN DAN SARAN

1. Simpulan

Program TIRTA berhasil mengembangkan, memasang, dan menguji coba sistem irigasi otomatis berbasis IoT di lahan pertanian Desa Pempatan. Sistem telah terbukti dapat beroperasi sesuai rancangan, dengan perangkat keras yang stabil dan perangkat lunak yang berfungsi dengan baik. Petani telah menggunakan sistem ini selama beberapa hari setelah instalasi dan memberikan respons positif terhadap kemudahan pengoperasian melalui Telegram Bot.

Penerapan mikrokontroler ESP32 dan integrasi Telegram Bot terbukti efektif dalam memberikan fleksibilitas dan kemudahan pengoperasian bagi petani yang tidak terbiasa dengan teknologi kompleks. Sistem irigasi tetes yang digunakan memiliki potensi untuk menghemat air hingga 30-60% berdasarkan literatur yang ada, meskipun pengukuran langsung belum dilakukan dalam kegiatan ini.

Perlu ditekankan bahwa kegiatan pengabdian ini berfokus pada aspek pemasangan dan pengujian fungsional perangkat. Evaluasi dampak jangka panjang

seperti perhitungan kuantitatif penghematan biaya operasional, pengukuran volume air yang dihemat, serta penilaian terhadap peningkatan produktivitas tanaman belum dilakukan pada tahap ini dan memerlukan penelitian lanjutan dengan periode observasi yang lebih panjang.

2. Saran

Ke depan, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor kelembapan tanah untuk penyiraman yang lebih adaptif berdasarkan kondisi real-time, dashboard monitoring online untuk visualisasi data historis, serta sistem backup daya menggunakan panel surya agar lebih tangguh terhadap pemadaman listrik. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengukur secara kuantitatif dampak sistem terhadap penghematan air, pengurangan biaya operasional, dan peningkatan produktivitas tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pemerintah Provinsi Bali, "Peta dan Data Pengelolaan Jaringan Irigasi Daerah," 2023.
- [2] I. G. Pitana, *Subak: Sistem Sosial, Ekonomi, dan Budaya Pertanian Bali*, Udayana University Press, 2010.
- [3] BMKG, "Buletin Iklim dan Pemantauan Kekeringan Wilayah Bali," BMKG Bali, 2023.
- [4] Pemerintah Republik Indonesia, "Undang-Undang No. 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air," 2019.
- [5] A. Raharja *et al.*, "Smart Irigasi Berbasis Arduino sebagai Kontrol Air Subak untuk Mempertahankan Ketahanan Pangan," *Jurnal Spektrum*, vol. 5, no. 2, 2018.
- [6] J. Muangprathub *et al.*, "IoT and Agriculture Data Analysis for Smart Farm," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 156, pp. 467-474, 2019.
- [7] OASIS, "MQTT Version 3.1.1," 2014. [Online]. Available: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/mqtt-v3.1.1.html>
- [8] A. García-Parra *et al.*, "IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture," *Sensors*, vol. 20, no. 4, p. 1042, 2020.
- [9] S. M. Al-Fagih *et al.*, "Smart Agriculture Using IoT for Automated Irrigation, Water and Energy Efficiency," *Scientific Reports*, vol. 12, 2025.
- [10] MIT News, "Watering the World: Design Cuts Costs and Energy for Drip Irrigation," 2017. [Online]. Available: <https://news.mit.edu/2017/design-cuts-costs-energy-drip-irrigation-0420>
- [11] Wikipedia, "Drip Irrigation," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Drip_irrigation [Accessed: Dec. 28, 2024].

- [12] M. A. Kamienski *et al.*, "EEWMP: An IoT-Based Energy-Efficient Water Management Platform for Smart Irrigation," *Scientific Programming*, vol. 2021, Article ID 5536884, 2021.
- [13] N. A. Rahman *et al.*, "IoT Sensing for Advanced Irrigation Management: A Systematic Review of Trends, Challenges, and Future Prospects," *Sensors*, vol. 25, no. 7, p. 2291, 2025.
- [14] S. Ali *et al.*, "Intelligent and Automatic Irrigation System Based on Internet of Things Using Fuzzy Control Technology," *Scientific Reports*, vol. 15, 2025.
- [15] FAO, *Irrigation Water Management: Principles and Practices*, Food and Agriculture Organization, 2020.