

Penerapan Sistem Penyiraman Otomatisasi Dalam Manajemen Pembibitan Tembakau Di Desa Galis

Laili Romadona ^{1)*} , Siti fathiar rohmah ²⁾ 

¹⁾ ²⁾ Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾ lailiromadona985@gmail.com, ²⁾ fathiarsiti@gmail.com

Abstrak

Pembibitan tembakau merupakan tahap krusial dalam budidaya tembakau karena menentukan kualitas dan produktivitas tanaman pada fase berikutnya. Di Desa Galis, proses pembibitan masih dilakukan secara konvensional, ditandai dengan penyiraman manual, pemantauan lingkungan yang tidak terukur, serta penggunaan air dan tenaga kerja yang kurang efisien. Perkembangan Internet of Things (IoT) menawarkan pendekatan baru dalam pengelolaan pertanian melalui otomatisasi dan pemantauan berbasis data lingkungan. Penelitian ini bertujuan menerapkan dan mengevaluasi sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dalam manajemen pembibitan tembakau untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan waktu kerja petani. Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun dan uji coba lapangan dengan pendekatan studi kuantitatif dan kualitatif. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler yang terintegrasi dengan sensor kelembapan tanah, sensor suhu dan kelembapan udara, sensor hujan, modul penjadwalan waktu, serta notifikasi berbasis aplikasi Telegram. Pengujian dilakukan melalui pengamatan kinerja sistem, pengukuran waktu respons, serta perbandingan penggunaan air dan waktu kerja sebelum dan sesudah penerapan sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dan responsif. Penyiraman dapat berlangsung otomatis sesuai kondisi kelembapan tanah dan dihentikan saat hujan terdeteksi. Sistem berhasil mengurangi penggunaan air sekitar 35% dan menurunkan waktu kerja manual petani sekitar 45%. Waktu tunda pengiriman notifikasi berada pada kisaran 2–5 detik, sehingga masih efektif untuk pemantauan real-time. Sistem penyiraman otomatis berbasis IoT terbukti efektif meningkatkan efisiensi dan kemudahan manajemen pembibitan tembakau. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan sistem pada skala lahan yang lebih luas serta menambahkan integrasi analitik berbasis data historis.

Kata Kunci: Internet of Things, Penyiraman Otomatis, Pembibitan Tembakau, Smart Agriculture, Efisiensi Air

Article history: Received 5 April 2025, first decision 22 April 2025, accepted 22 August 2025, available online 28 October 2025

I. PENDAHULUAN

Tembakau merupakan salah satu komoditas pertanian strategis di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan berperan penting dalam menopang kesejahteraan masyarakat pedesaan, khususnya di wilayah Pulau Madura. Di Kabupaten Pamekasan, tembakau tidak hanya menjadi sumber pendapatan utama petani, tetapi juga bagian dari sistem sosial-ekonomi yang telah berlangsung secara turun-temurun[1]. Keberhasilan budidaya tembakau sangat ditentukan oleh kualitas proses pembibitan, karena bibit yang sehat dan seragam akan berpengaruh langsung terhadap produktivitas serta mutu hasil panen pada tahap selanjutnya. Oleh sebab itu, manajemen pembibitan merupakan tahapan krusial yang memerlukan perhatian dan pengelolaan yang tepat. Desa Galis dikenal sebagai salah satu sentra pembibitan tembakau di Kabupaten Pamekasan[2], [3]. Namun, berdasarkan kondisi lapangan, proses pembibitan tembakau di wilayah ini masih didominasi oleh metode konvensional. Penyiraman dilakukan secara manual, pengukuran kondisi lingkungan bergantung pada perkiraan visual, serta belum adanya sistem pemantauan yang terukur dan berkelanjutan[4], [5]. Praktik tersebut menyebabkan berbagai permasalahan, seperti penggunaan air yang kurang efisien, tingginya beban kerja petani, serta meningkatnya risiko kegagalan bibit akibat ketidaksesuaian kondisi lingkungan. Ketergantungan pada pengalaman subjektif petani tanpa dukungan data yang akurat membuat proses pembibitan rentan terhadap perubahan cuaca yang semakin sulit diprediksi[6], [7]. Salah satu tantangan utama dalam pembibitan tembakau adalah pengelolaan kelembapan tanah yang optimal. Kelembapan yang terlalu rendah dapat menyebabkan bibit mengalami stres air dan layu, sedangkan kelembapan berlebih berpotensi menimbulkan pembusukan akar dan serangan penyakit[8]. Selain itu, faktor cuaca seperti hujan yang datang secara tiba-tiba sering kali tidak dapat diantisipasi oleh petani, sehingga penyiraman tetap dilakukan meskipun kondisi tanah sebenarnya sudah jenuh air. Kondisi ini menunjukkan bahwa manajemen pembibitan tembakau memerlukan sistem yang mampu menyesuaikan tindakan penyiraman berdasarkan kondisi lingkungan secara aktual, bukan semata-mata berdasarkan kebiasaan atau perkiraan[9], [10].

* Laili Romadona

Perkembangan teknologi informasi, khususnya Internet of Things (IoT), menawarkan pendekatan baru dalam pengelolaan pertanian yang lebih presisi dan adaptif. IoT memungkinkan integrasi antara sensor lingkungan, perangkat pengendali, dan jaringan komunikasi sehingga proses pemantauan dan pengambilan keputusan dapat dilakukan secara otomatis dan real-time[11], [12]. Dalam konteks pertanian modern, penerapan IoT menjadi bagian dari konsep smart agriculture yang menekankan efisiensi sumber daya, pengurangan intervensi manual, serta peningkatan produktivitas berbasis data[13]. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis sensor mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan membantu petani dalam menjaga kondisi optimal tanaman. Meskipun demikian, penerapan teknologi IoT dalam pembibitan tembakau, khususnya di wilayah pedesaan seperti Desa Galis, masih sangat terbatas. Sebagian besar inovasi teknologi pertanian masih berfokus pada komoditas hortikultura atau tanaman pangan, sementara pembibitan tembakau belum banyak mendapat perhatian dalam konteks otomatisasi berbasis IoT[14], [15]. Selain itu, solusi yang ada sering kali bersifat parsial, misalnya hanya mengandalkan sensor kelembapan tanah tanpa mempertimbangkan faktor hujan atau penjadwalan waktu. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan akan sistem yang lebih komprehensif dan kontekstual, yang dirancang sesuai dengan karakteristik pembibitan tembakau dan kondisi lapangan di Desa Galis[16], [17].

Penelitian ini berangkat dari kebutuhan tersebut dengan menerapkan sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things dalam manajemen pembibitan tembakau di Desa Galis[18]. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan berbagai sensor lingkungan, seperti sensor kelembapan tanah, sensor suhu dan kelembapan udara, serta sensor hujan, yang dikombinasikan dengan modul waktu untuk penjadwalan penyiraman. Integrasi ini memungkinkan sistem mengambil keputusan penyiraman secara adaptif, yaitu menyiram ketika tanah berada di bawah ambang kelembapan tertentu, menghentikan penyiraman saat hujan terdeteksi, serta menjalankan penyiraman terjadwal untuk menjaga stabilitas kelembapan media tanam[19], [20]. Selain aspek otomatisasi penyiraman, sistem ini juga dilengkapi dengan mekanisme notifikasi berbasis aplikasi Telegram. Fitur ini memberikan nilai tambah berupa transparansi dan kemudahan pemantauan bagi petani, karena informasi kondisi lahan dan status penyiraman dapat diakses secara real-time melalui perangkat bergerak. Dengan demikian, peran petani tidak sepenuhnya digantikan oleh teknologi, melainkan diperkuat melalui dukungan data yang akurat dan mudah diakses[21].

Secara konseptual, penerapan sistem penyiraman otomatis ini diharapkan mampu menjawab permasalahan utama pembibitan tembakau di Desa Galis, yaitu efisiensi penggunaan air, pengurangan beban kerja manual, serta peningkatan kualitas bibit[22]. Dari sisi praktis, sistem ini memberikan solusi yang aplikatif dan sesuai dengan kondisi petani di lapangan. Sementara dari sisi akademik, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan penerapan IoT dalam bidang pertanian, khususnya pada tahap pembibitan tembakau yang masih relatif jarang dikaji. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan sistem serupa pada komoditas pertanian lainnya serta mendukung transformasi pertanian menuju sistem yang lebih cerdas dan berkelanjutan[23], [24].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Perkembangan teknologi informasi telah mendorong transformasi di berbagai sektor, termasuk pertanian. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam pertanian modern adalah pemanfaatan Internet of Things (IoT) untuk mendukung pengelolaan lingkungan tanam secara otomatis dan berbasis data. IoT memungkinkan integrasi antara perangkat fisik, sensor, aktuator, dan jaringan komunikasi sehingga sistem mampu melakukan pemantauan, pengambilan keputusan, dan eksekusi tindakan secara mandiri[25]. Dalam konteks pertanian, penerapan IoT berkontribusi pada peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya, pengurangan ketergantungan pada tenaga kerja manual, serta peningkatan produktivitas dan kualitas hasil tanaman. Pada sistem pertanian berbasis IoT, mikrokontroler berperan sebagai pusat kendali yang mengoordinasikan seluruh komponen sistem. Mikrokontroler yang dilengkapi konektivitas nirkabel memungkinkan pengolahan data sensor sekaligus pengiriman informasi secara real-time ke pengguna[26], [27]. Karakteristik tersebut menjadikan mikrokontroler sebagai elemen utama dalam sistem otomasi pertanian, khususnya pada aplikasi monitoring dan kontrol jarak jauh. Kemampuan multitasking, konsumsi daya yang relatif rendah, serta dukungan terhadap berbagai protokol komunikasi menjadi faktor penting dalam pemilihan mikrokontroler untuk sistem pertanian cerdas[28], [29].

Salah satu aspek krusial dalam pembibitan tanaman adalah pengelolaan kelembapan tanah. Kelembapan tanah yang berada di luar rentang optimal dapat berdampak langsung pada pertumbuhan bibit. Sensor kelembapan tanah digunakan untuk mengukur kandungan air pada media tanam dan menjadi dasar pengambilan keputusan penyiraman. Dengan memanfaatkan data dari sensor ini, sistem irigasi otomatis dapat menyalurkan air hanya ketika tanaman benar-benar membutuhkan, sehingga mencegah pemborosan air dan risiko kelebihan penyiraman[30]. Pendekatan ini jauh lebih efisien dibandingkan penyiraman manual yang bersifat subjektif dan sulit dikontrol volumenya. Selain kelembapan tanah, kondisi iklim di sekitar area pembibitan juga berpengaruh terhadap keberhasilan

pertumbuhan bibit[31]. Suhu dan kelembapan udara yang terlalu tinggi dapat memicu perkembangan patogen, sedangkan kondisi yang terlalu kering dapat menghambat pertumbuhan tanaman muda. Sensor suhu dan kelembapan udara berfungsi untuk memantau parameter tersebut secara kontinu. Informasi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan evaluasi kondisi lingkungan serta pendukung dalam penentuan strategi penyiraman dan pengelolaan lahan. Integrasi sensor lingkungan ini merupakan karakteristik utama dalam sistem pertanian presisi berbasis IoT[32], [33].

Faktor cuaca, khususnya hujan, menjadi tantangan tersendiri dalam manajemen pembibitan. Penyiraman yang tetap dilakukan saat hujan berpotensi menyebabkan media tanam menjadi terlalu basah dan merusak bibit. Sensor hujan digunakan untuk mendeteksi keberadaan air hujan secara langsung dan berfungsi sebagai mekanisme pengaman dalam sistem irigasi otomatis. Ketika hujan terdeteksi, sistem dapat secara otomatis menghentikan penyiraman sehingga risiko kelebihan air dapat diminimalkan. Integrasi sensor hujan dengan sensor kelembapan tanah menciptakan sistem pengambilan keputusan yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan[34], [35]. Selain berbasis kondisi lingkungan, sistem irigasi otomatis juga dapat dikombinasikan dengan pengaturan waktu. Modul pencatat waktu digunakan untuk menjaga konsistensi jadwal penyiraman, misalnya pada pagi dan sore hari. Penjadwalan berbasis waktu membantu menjaga stabilitas kelembapan media tanam, terutama pada kondisi cuaca panas yang dapat meningkatkan laju penguapan. Kombinasi antara kendali berbasis sensor dan kendali berbasis waktu menghasilkan sistem penyiraman yang lebih fleksibel dan andal. Dalam sistem otomatisasi, aktuator seperti relay dan pompa air berfungsi sebagai penghubung antara keputusan logis dan aksi fisik di lapangan[36]. Relay memungkinkan mikrokontroler mengendalikan perangkat berdaya lebih besar dengan aman, sementara pompa air bertugas menyalurkan air sesuai perintah sistem. Integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan aktuator membentuk sebuah siklus kendali tertutup yang mampu bekerja secara mandiri dalam jangka waktu lama.

Sebagai pelengkap, sistem IoT modern umumnya dilengkapi dengan mekanisme notifikasi berbasis jaringan internet[37]. Pengiriman informasi melalui aplikasi pesan instan memungkinkan pengguna memantau kondisi sistem secara real-time tanpa harus berada di lokasi. Pendekatan ini meningkatkan transparansi, rasa aman, dan kemudahan pengawasan, sekaligus memperkuat peran pengguna dalam pengelolaan sistem otomatis. Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor kelembapan tanah, sensor lingkungan, sensor hujan, pengaturan waktu, serta notifikasi real-time merupakan pendekatan yang relevan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas manajemen pembibitan tembakau[38], [39]. Pendekatan ini selaras dengan konsep pertanian cerdas yang menekankan pengelolaan berbasis data dan otomatisasi adaptif terhadap kondisi lapangan.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan rancang bangun dan implementasi sistem dengan tujuan menerapkan sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dalam manajemen pembibitan tembakau di Desa Galis. Metode penelitian dirancang untuk menghasilkan solusi teknis yang aplikatif sekaligus memungkinkan evaluasi kinerja sistem secara terukur di lapangan[40]. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, perancangan sistem, implementasi, serta pengujian dan evaluasi kinerja.

1. Lokasi dan Objek Penelitian

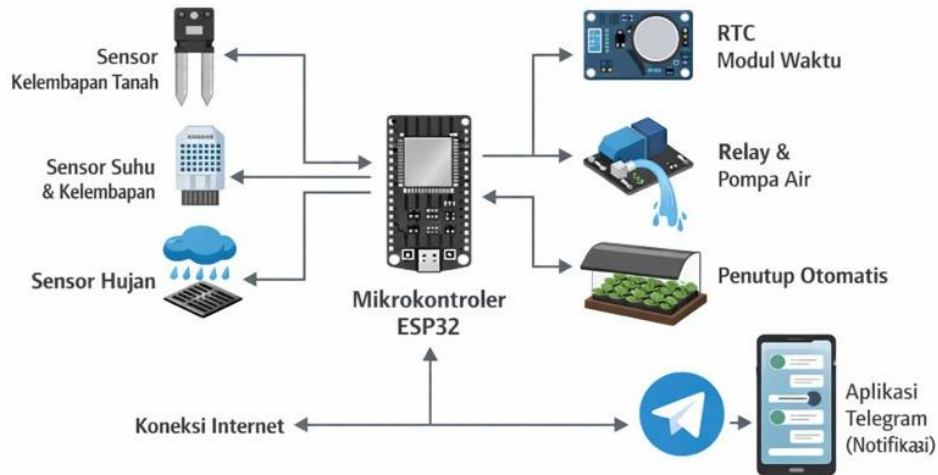
Penelitian dilaksanakan pada lahan pembibitan tembakau milik petani di Desa Galis, Kabupaten Pamekasan. Lokasi ini dipilih karena merepresentasikan kondisi pembibitan tembakau skala petani yang masih menerapkan metode konvensional. Objek penelitian berupa proses pembibitan tembakau, khususnya pada aspek penyiraman, pemantauan kondisi lingkungan, dan pengelolaan kelembapan media tanam[41].

2. Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan dan wawancara terbatas dengan petani. Observasi digunakan untuk mengidentifikasi kondisi lahan, pola penyiraman, ketersediaan sumber air, serta infrastruktur pendukung seperti listrik dan jaringan internet. Wawancara dilakukan untuk memperoleh gambaran kebutuhan petani, kendala yang dihadapi dalam pembibitan, serta harapan terhadap sistem otomatisasi yang akan diterapkan[42]. Data ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan spesifikasi sistem dan parameter pengendalian.

3. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan dengan pendekatan terintegrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler sebagai pusat kendali yang terhubung dengan beberapa sensor lingkungan dan aktuator. Sensor kelembapan tanah digunakan untuk mendeteksi kondisi media tanam, sensor suhu dan kelembapan udara untuk memantau iklim mikro, serta sensor hujan sebagai mekanisme pengaman penyiraman[43], [44]. Selain itu, modul pencatat waktu digunakan untuk mendukung penyiraman terjadwal.



Gambar 1. Diagram arsitektur sistem penyiraman otomatis berbasis IoT

Aktuator berupa relay dan pompa air digunakan untuk mengeksekusi keputusan penyiraman. Seluruh komponen diintegrasikan dalam satu sistem yang memungkinkan pengambilan keputusan otomatis berdasarkan kondisi lingkungan dan waktu.

4. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem dikembangkan dengan logika kendali berbasis kondisi dan waktu. Mikrokontroler secara periodik membaca data dari sensor, kemudian membandingkannya dengan nilai ambang yang telah ditentukan. Jika kelembapan tanah berada di bawah batas minimum dan tidak terdeteksi hujan, sistem akan mengaktifkan pompa air. Sebaliknya, jika hujan terdeteksi atau kelembapan tanah telah mencapai batas optimal, penyiraman dihentikan. Penjadwalan penyiraman berbasis waktu digunakan sebagai mekanisme tambahan untuk menjaga stabilitas kelembapan media tanam[45], [46].



Gambar 2. Diagram alur logika kerja sistem penyiraman otomatis

Selain kendali penyiraman, sistem juga dirancang untuk mengirimkan notifikasi kondisi lahan dan status penyiraman melalui aplikasi pesan instan berbasis internet. Fitur ini memungkinkan pemantauan sistem secara real-time tanpa kehadiran langsung di lokasi.

5. Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan memasang seluruh komponen pada lahan pembibitan tembakau. Sensor kelembapan tanah ditempatkan pada media semai dengan kedalaman yang mewakili zona perakaran bibit. Sensor suhu, kelembapan udara, dan hujan dipasang pada posisi yang terlindung namun tetap merepresentasikan kondisi lingkungan sekitar[47]. Unit kendali dan catu daya ditempatkan dalam kotak pelindung untuk menjaga keandalan sistem selama pengujian lapangan.

6. Metode Pengujian dan Evaluasi

Evaluasi sistem dilakukan menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pengujian kuantitatif meliputi pengamatan respons sistem terhadap perubahan kelembapan tanah, deteksi hujan, kestabilan penjadwalan waktu, serta waktu tunda pengiriman notifikasi[48], [49]. Selain itu, dilakukan perbandingan penggunaan air dan waktu kerja petani sebelum dan sesudah penerapan sistem.

Tabel 1. Parameter pengujian sistem penyiraman otomatis

No	Parameter Pengujian	Indikator yang Diamati	Metode Pengujian	Kriteria Keberhasilan
1	Sensor Kelembapan Tanah	Nilai persentase kelembapan tanah	Perbandingan pembacaan sensor dengan soil meter analog	Selisih pembacaan $\leq \pm 10\%$
2	Respon Penyiraman Otomatis	Waktu aktif dan nonaktif pompa	Observasi saat nilai kelembapan melewati ambang batas	Pompa aktif saat tanah kering dan mati saat tanah lembap
3	Sensor Hujan	Waktu respon deteksi hujan	Simulasi hujan dan pengamatan langsung di lapangan	Pompa berhenti ≤ 3 detik setelah hujan terdeteksi
4	Penjadwalan Waktu (RTC)	Ketepatan waktu penyiraman terjadwal	Perbandingan waktu RTC dengan jam referensi	Selisih waktu ≤ 1 detik per hari
5	Notifikasi Telegram	Waktu tunda pengiriman pesan	Pengukuran selisih waktu kejadian dan pesan diterima	Delay rata-rata ≤ 5 detik
6	Efisiensi Penggunaan Air	Volume air yang digunakan	Perbandingan sebelum dan sesudah sistem diterapkan	Penghematan air $\geq 25\%$
7	Efisiensi Waktu Kerja	Durasi kerja manual petani	Wawancara dan observasi langsung	Pengurangan waktu kerja $\geq 30\%$
8	Stabilitas Sistem	Konsistensi operasi sistem	Pengoperasian sistem selama beberapa hari nonstop	Sistem berjalan tanpa gangguan signifikan

Evaluasi kualitatif dilakukan melalui umpan balik pengguna untuk menilai kemudahan penggunaan dan manfaat sistem. Hasil evaluasi digunakan untuk menilai efektivitas sistem penyiraman otomatis dalam mendukung manajemen pembibitan tembakau di Desa Galis[50].

IV. HASIL

Bagian ini menyajikan hasil implementasi dan pengujian sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang diterapkan pada pembibitan tembakau di Desa Galis. Hasil yang ditampilkan mencakup kinerja sensor, respons sistem penyiraman, keandalan penjadwalan, pengiriman notifikasi, serta dampak penerapan sistem terhadap efisiensi penggunaan air dan waktu kerja petani.

1. Hasil Implementasi Sistem

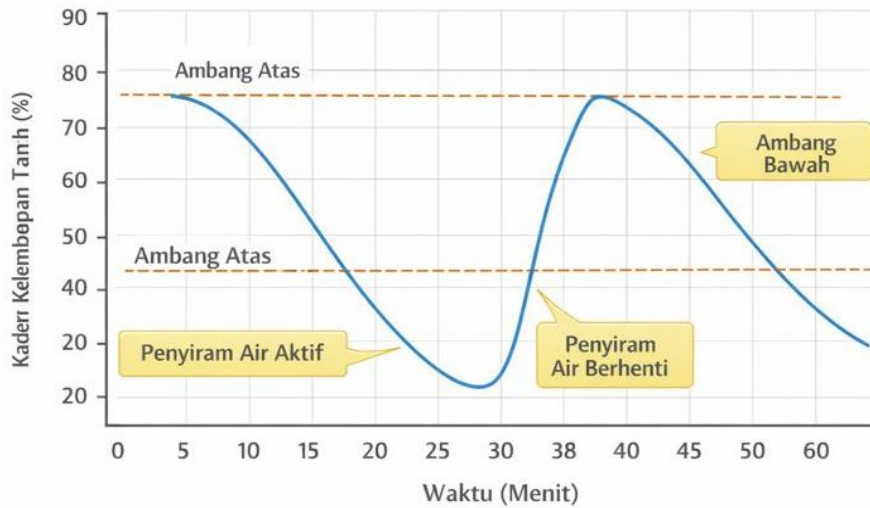
Sistem penyiraman otomatis berhasil diimplementasikan secara utuh pada lahan pembibitan tembakau. Seluruh komponen utama, meliputi mikrokontroler, sensor kelembapan tanah, sensor suhu dan kelembapan udara, sensor hujan, modul waktu, relay, serta pompa air, dapat beroperasi secara terintegrasi. Sistem mampu berjalan secara kontinu selama periode pengujian tanpa mengalami kegagalan fungsi yang signifikan.

Sensor kelembapan tanah dapat membaca kondisi media tanam secara stabil dan mengirimkan data ke mikrokontroler sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman. Sensor suhu dan kelembapan udara memberikan gambaran kondisi iklim mikro harian di area pembibitan, sementara sensor hujan berfungsi sebagai pengaman untuk

mencegah penyiraman saat terjadi hujan. Seluruh data tersebut diproses secara otomatis oleh sistem dan ditampilkan kepada pengguna melalui notifikasi berbasis aplikasi Telegram.

2. Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

Pengujian sensor kelembapan tanah dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur analog pada beberapa kondisi media tanam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kelembapan tanah yang dibaca oleh sensor berada pada rentang yang konsisten dan mengikuti perubahan kondisi media tanam.



Gambar 3. Grafik respon sistem penyiraman terhadap perubahan nilai kelembapan tanah

Grafik menunjukkan bahwa sistem mengaktifkan pompa air ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah ambang batas yang ditentukan, dan menghentikan penyiraman ketika kelembapan telah mencapai kondisi optimal. Pola ini berlangsung secara berulang dan konsisten selama masa pengujian.

3. Hasil Pengujian Sensor Hujan dan Penjadwalan Waktu

Sensor hujan diuji dengan simulasi hujan dan pengamatan langsung di lapangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi hujan dan menghentikan penyiraman secara otomatis dalam waktu singkat. Penjadwalan waktu berbasis modul RTC juga berjalan stabil, di mana penyiraman terjadwal dapat dilakukan pada waktu yang telah ditentukan meskipun koneksi internet terputus.

Tabel 2. Hasil pengujian respon sensor hujan dan penjadwalan waktu

No	Parameter Pengujian	Kondisi Pengujian	Hasil Pengamatan	Keterangan
1	Respon Sensor Hujan	Simulasi hujan buatan	Pompa berhenti dalam ≤ 3 detik	Sistem responsif
2	Respon Sensor Hujan	Hujan alami di lapangan	Pompa berhenti otomatis	Berfungsi normal
3	Integrasi Sensor Hujan	Penyiraman aktif saat hujan	Penyiraman dihentikan	Mekanisme pengaman bekerja
4	Penjadwalan Waktu (RTC)	Penyiraman terjadwal pagi	Penyiraman aktif sesuai waktu	Akurat
5	Penjadwalan Waktu (RTC)	Penyiraman terjadwal sore	Penyiraman aktif sesuai waktu	Akurat
6	Akurasi Waktu RTC	Perbandingan dengan jam referensi	Selisih ≤ 1 detik per hari	Stabil
7	Operasi Tanpa Internet	Koneksi Wi-Fi terputus	Penjadwalan tetap berjalan	Mandiri
8	Sinkronisasi Sistem	Sensor + RTC + pompa	Tidak terjadi konflik logika	Sistem terintegrasi

4. Hasil Pengujian Notifikasi Sistem

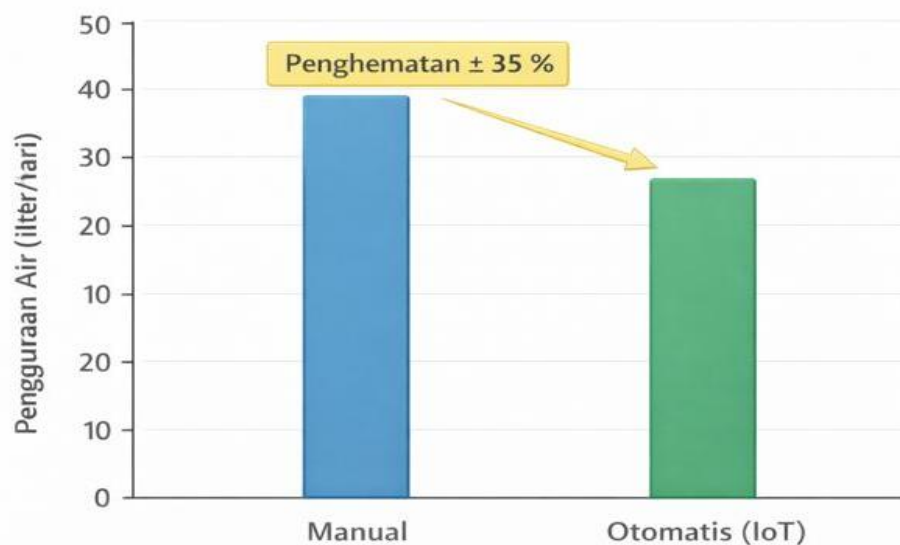
Sistem berhasil mengirimkan notifikasi kondisi lahan dan status penyiraman melalui aplikasi Telegram. Notifikasi mencakup informasi kelembapan tanah, suhu dan kelembapan udara, status pompa, serta deteksi hujan. Selama pengujian, waktu tunda pengiriman pesan berada pada kisaran yang relatif rendah dan masih dalam batas yang dapat diterima untuk pemantauan real-time.

Tabel 3. Waktu tunda pengiriman notifikasi system

No	Jenis Peristiwa Sistem	Jumlah Pengujian	Waktu Tunda Minimum	Waktu Tunda Maksimum	Rata-rata Waktu Tunda
1	Aktivasi penyiraman otomatis	10 kali	1,2 detik	3,5 detik	2,4 detik
2	Penghentian penyiraman	10 kali	1,0 detik	3,2 detik	2,1 detik
3	Deteksi hujan	8 kali	2,0 detik	5,8 detik	3,6 detik
4	Penyiraman terjadwal (RTC)	6 kali	1,5 detik	4,0 detik	2,8 detik

5. Hasil Analisis Efisiensi Penggunaan Air

Efisiensi penggunaan air dianalisis dengan membandingkan volume air yang digunakan sebelum dan sesudah penerapan sistem penyiraman otomatis. Pengukuran dilakukan berdasarkan perubahan volume air pada bak penampung setiap hari. Hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan penggunaan air yang signifikan setelah sistem diterapkan.



Gambar 4. Perbandingan penggunaan air sebelum dan sesudah penerapan system

Tabel 4. Perbandingan penggunaan air

No	Metode Penyiraman	Periode Pengamatan	Rata-rata Frekuensi Penyiraman (kali/hari)	Rata-rata Penggunaan Air (liter/hari)	Total Penggunaan Air (liter/minggu)	Penghematan Air
1	Penyiraman Manual	Sebelum sistem	2–3 kali	±50	±350	–
2	Penyiraman Otomatis (IoT)	Sesudah sistem	1–2 kali (adaptif)	32–35	224–245	±35%

6. Hasil Analisis Efisiensi Waktu Kerja

Selain penghematan air, penerapan sistem juga berdampak pada pengurangan waktu kerja manual petani. Sebelum sistem diterapkan, petani harus melakukan penyiraman dan pengecekan lahan secara rutin setiap hari. Setelah sistem berjalan, aktivitas tersebut berkurang karena sebagian besar proses telah diotomatisasi.

Tabel 5. Perbandingan waktu kerja petani

No	Kondisi Operasional	Jenis Aktivitas Petani	Rata-rata Waktu Kerja (menit/hari)	Frekuensi Aktivitas	Total Waktu Kerja (menit/minggu)	Pengurangan Waktu
1	Sebelum penerapan sistem	Penyiraman manual, pengecekan kelembapan, pengawasan hujan	60–90	Setiap hari	420–630	—
2	Sesudah penerapan sistem	Pengecekan sistem dan pengisian air	30–40	Setiap hari	210–280	±45%

Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis berbasis IoT mampu bekerja sesuai dengan rancangan dan memberikan dampak nyata terhadap efisiensi pengelolaan pembibitan tembakau di Desa Galis.

V. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) pada pembibitan tembakau di Desa Galis mampu bekerja sesuai dengan rancangan dan memberikan dampak nyata terhadap efisiensi pengelolaan pembibitan. Sistem yang mengintegrasikan sensor kelembapan tanah, sensor hujan, penjadwalan waktu, serta notifikasi berbasis aplikasi Telegram terbukti mampu mengelola proses penyiraman secara adaptif dan berkelanjutan. Temuan ini memperkuat bahwa pendekatan otomatisasi berbasis data lingkungan lebih unggul dibandingkan metode konvensional yang bergantung pada perkiraan dan pengalaman subjektif petani. Berdasarkan Gambar 3, sistem menunjukkan respons yang konsisten terhadap perubahan nilai kelembapan tanah. Pompa air aktif ketika kelembapan berada di bawah ambang batas dan berhenti setelah kondisi tanah mencapai tingkat kelembapan optimal. Pola ini menandakan bahwa logika kendali berbasis ambang batas mampu menjaga stabilitas kondisi media tanam. Stabilitas tersebut sangat penting pada fase pembibitan tembakau karena fluktuasi kelembapan yang ekstrem dapat berdampak langsung pada kualitas dan daya tumbuh bibit.

Hasil pengujian sensor hujan dan penjadwalan waktu yang ditampilkan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa sistem memiliki mekanisme pengaman yang efektif. Penyiraman dapat dihentikan secara otomatis ketika hujan terdeteksi, serta penjadwalan waktu tetap berjalan akurat meskipun terjadi gangguan koneksi internet. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak sepenuhnya bergantung pada jaringan, sehingga lebih andal untuk diterapkan di lingkungan pedesaan. Dari sisi komunikasi sistem, Tabel 3 menunjukkan bahwa waktu tunda pengiriman notifikasi berada pada kisaran yang relatif rendah. Rata-rata delay di bawah lima detik masih dapat dikategorikan sebagai pemantauan real-time untuk kebutuhan pertanian. Keberadaan notifikasi ini memperkuat peran petani dalam pengawasan sistem tanpa harus hadir langsung di lahan, sehingga mendukung efisiensi kerja.

Dampak penerapan sistem paling signifikan terlihat pada efisiensi penggunaan air dan waktu kerja petani, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4, Tabel 4, dan Tabel 5. Penggunaan air mengalami penurunan sekitar 35%, sementara waktu kerja manual petani berkurang sekitar 45%. Temuan ini menunjukkan bahwa otomatisasi tidak hanya berdampak pada aspek teknis, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dan operasional bagi petani.

Secara ringkas, pembahasan hasil penelitian ini dapat dirangkum dalam beberapa poin utama berikut:

1. Efektivitas Sistem
Sistem penyiraman otomatis mampu bekerja stabil dan responsif terhadap kondisi lingkungan, baik dari sisi kelembapan tanah, hujan, maupun penjadwalan waktu.
2. Efisiensi Sumber Daya
Penerapan sistem berhasil mengurangi penggunaan air dan beban kerja manual secara signifikan dibandingkan metode konvensional.
3. Dukungan terhadap Smart Agriculture
Integrasi sensor, otomasi, dan notifikasi real-time menunjukkan bahwa sistem ini selaras dengan konsep pertanian cerdas yang berbasis data dan adaptif terhadap kondisi lapangan.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa sistem penyiraman otomatis berbasis IoT merupakan solusi yang relevan dan aplikatif untuk meningkatkan manajemen pembibitan tembakau di Desa Galis, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut pada skala dan komoditas pertanian lainnya.

VI. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menerapkan sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dalam manajemen pembibitan tembakau di Desa Galis. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan sensor kelembapan tanah, sensor hujan, sensor suhu dan kelembapan udara, modul penjadwalan waktu, serta mekanisme notifikasi berbasis aplikasi Telegram. Integrasi tersebut memungkinkan sistem melakukan penyiraman secara adaptif berdasarkan kondisi lingkungan dan waktu, sehingga proses pembibitan dapat dikelola secara lebih terukur dan efisien. Hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dan responsif dalam kondisi lapangan. Sistem berhasil mengaktifkan dan menghentikan penyiraman sesuai dengan perubahan nilai kelembapan tanah serta menghentikan penyiraman secara otomatis ketika hujan terdeteksi. Penjadwalan waktu berjalan akurat meskipun terjadi gangguan koneksi internet, dan notifikasi sistem dapat diterima pengguna dengan waktu tunda yang relatif rendah.

Penerapan sistem ini memberikan dampak nyata terhadap efisiensi pengelolaan pembibitan tembakau. Penggunaan air dapat dikurangi sekitar 35%, sementara waktu kerja manual petani berkurang sekitar 45% dibandingkan metode penyiraman konvensional. Temuan ini menunjukkan bahwa otomatisasi berbasis IoT tidak hanya meningkatkan efisiensi teknis, tetapi juga memberikan manfaat operasional dan ekonomi bagi petani. Dengan demikian, sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dapat menjadi solusi yang relevan dan aplikatif dalam mendukung praktik pertanian cerdas, khususnya pada tahap pembibitan tembakau. Penelitian ini juga membuka peluang pengembangan lebih lanjut untuk penerapan sistem serupa pada komoditas pertanian lainnya.

Kontribusi Penulis: Laili Romadona: berperan dalam perancangan penelitian, pengembangan dan implementasi sistem penyiraman otomatis, pengujian sistem, analisis data, serta penulisan naskah jurnal. **Siti Fathiar Rohmah:** berperan dalam supervisi penelitian, pengarahan metodologis, validasi hasil penelitian, serta penelaahan dan penyuntingan naskah jurnal.

Penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: [https: -](#)

Penulis Kedua: [https: -](#)

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] B. Nurcahyono, A. Heru Mujiyanto, I. Mufarrihah, and M. Ali, "Implementasi Teknologi Penyiraman Tanaman Tembakau Otomatis Berbasis Internet of Things (Iot) Dengan Metode Fuzzy Mamdani," *Inov. J. Ilm. Inov. Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 2, pp. 227–236, 2025, doi: 10.33752/inovate.v9i2.8909.
- [2] H. Hidayat, P. Dewanti, and K. Hariyono, "Efek Pemberian Kalsium Eksogen terhadap Kualitas dan Hasil Tanaman Tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) di Bawah Cekaman Genangan," *Agrikultura*, vol. 34, no. 1, p. 115, 2023, doi: 10.24198/agrikultura.v34i1.42461.
- [3] Nursamsi, Agustinus Mangunsong, Mamang Wahyudi, Muhammad Syahfitri, Novi Yulanda Sari, and Friskia Hanatul Qolby, "Analisis Kesenjangan Teknik Budidaya Tembakau Di Nagari Baruah Gunung Kabupaten Lima Puluh Kota Provinsi Sumatera Barat," *Agrisaintifika J. Ilmu-Ilmu Pertan.*, vol. 8, no. 1, pp. 72–80, 2024, doi: 10.32585/ags.v8i1.4691.
- [4] S. Safiuddin and F. P. E. Putra, "Strategi Efisiensi Wireless Sensor Network (WSN)," *INFORMATICS Educ. Prof. J. Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 52, 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2441.
- [5] A. Zuhair, "Rancang Bangun Sistem Penyiram Tanaman Internet of Things (Iot) Menggunakan Blynk," *J. Qua Tek.*, vol. 14, no. 02, pp. 12–23, 2024, doi: 10.35457/quateknika.v14i02.3895.
- [6] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, R. O. F. Kusuma, A. M. Syam, and S. A. Efendy, "Effect Of Distance On Wi-Fi Signal Quality In The Home Environment," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 391–398, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4319.
- [7] B. Muttaqi, N. Nurchim, and P. W. Ningsih, "Penerapan Logika Fuzzy Mamdani dalam Sistem Penyiraman Cerdas untuk Pertanian," *Gener. J.*, vol. 8, no. 2, pp. 111–120, 2024, doi: 10.29407/gj.v8i2.23175.
- [8] M. D. Satria, I. Hadi, and S. Suroso, "Alat Penyiraman Tanaman Kangkung Otomatis Berbasis IoT Dengan Logika Fuzzy Mamdani," *J. Resist. (Rekayasa Sist. Komputer)*, vol. 7, no. 2, pp. 79–90, 2024, doi: 10.31598/jurnalresistor.v7i2.1635.

- [9] K. A. Saragih and R. Kurniawan, "Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis IoT dengan Logika Fuzzy Sugeno untuk Pengendalian Kelembaban Tanah di Greenhouse," *J. Algoritma*, vol. 22, no. 1, pp. 808–819, 2025, doi: 10.33364/algoritma/v.22-1.2327.
- [10] A. Suprasetyo, A. D. Kalifa, and S. Diwandari, "Penyiraman Otomatis dan System Monitoring Bibit Kelapa Sawit Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno," *J. Fasikom*, vol. 13, no. 3, pp. 431–437, 2023, doi: 10.37859/jf.v13i3.6150.
- [11] F. P. E. Putra, N. Ramadhani, F. Fauzan, and M. Mursidi, "Service Quality Analysis of RFID-Based Smart Door Lock in Front One Azana Style Hotel Area," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 372–381, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4292.
- [12] R. D. Pratama, G. P. Utama, J. C. Chandra, and D. Kusumaningsih, "Prototipe Penyiraman Otomatis Air Dan Pupuk Menggunakan Arduino Dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis Website Pada Toko Rezeki Sumber Pot," *SKANIKA Sist. Komput. dan Tek. Inform.*, vol. 6, no. 2, pp. 109–118, 2023, doi: 10.36080/skanika.v6i2.3076.
- [13] L. Vinet and A. Zhedanov, *A "missing" family of classical orthogonal polynomials*, vol. 44, no. 8. sipora.polije.ac.id, 2011. doi: 10.1088/1751-8113/44/8/085201.
- [14] D. N. Erawati, R. Taufika, and D. A. Adiwinata, "Pengaruh Pemberian Sitokinin Terhadap Kalus Tembakau Varietas Na-Oogst (Nicotiana tabacum L.) Melalui Kultur In Vitro," 2023. doi: 10.25047/agropross.2023.470.
- [15] I. Roussaki *et al.*, "Building an interoperable space for smart agriculture," 2023, *Elsevier*. doi: 10.1016/j.dcan.2022.02.004.
- [16] M. Syabriyana, W. Jannah, A. Sadikin, A. Chairunnas, and S. Indaryati, "Studi Kimia Hijau dalam Pengelolaan Air Limbah: Tinjauan Komprehensif Teknik Pengolahan Tingkat Lanjut," *Nusant. Technol. Eng. Rev.*, vol. 1, no. 1, pp. 31–40, 2023, doi: 10.55732/nter.v1i1.1110.
- [17] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, "Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 63–72, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [18] J. Li, M. S. Herdem, J. Nathwani, and J. Z. Wen, "Methods and applications for Artificial Intelligence, Big Data, Internet of Things, and Blockchain in smart energy management," 2023, *Elsevier*. doi: 10.1016/j.egyai.2022.100208.
- [19] R. E. Fajriyah and D. Faiza, "Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Penyiraman Tanaman Cabai Otomatis Berbasis Internet of Things," 2024. doi: 10.24036/voteteknika.v12i1.125663.
- [20] M. I. Hasani and S. Wulandari, "Implementasi Internet of Things (IoT) Pada Sistem Otomatisasi Penyiraman Tanaman Berbasis Mobile," *Ilk. J. Comput. Sci. Appl. Informatics*, vol. 5, no. 3, pp. 149–161, 2023, doi: 10.28926/ilkomnika.v5i3.573.
- [21] A. Sujjada, Rizki Maulana, and Anggun Fergina, "Rancang Bangun Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Internet of Things Menggunakan NodeMCU dan Telegram," *J. RESTIKOM Ris. Tek. Inform. dan Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 45–49, 2023, doi: 10.52005/restikom.v4i1.115.
- [22] E. Prihartono and D. P. Oktafianto, "Sistem Pengendalian Waktu Penyiraman Otomatis pada Tanaman Cabai Rawit Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *Informatics, Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 7–18, 2024, doi: 10.33474/infotron.v4i1.21751.
- [23] F. P. E. Putra, M. A. Mahmud, and I. S. Maqom, "Pengembangan Sistem Pemantauan Lingkungan Berbasis Internet of Things (IoT) di Kampus," 2024, *researchgate.net*. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3457.
- [24] K. A. M. D. Prayoga and I. G. N. A. P. P., "Pengembangan Sistem Penyiraman dan Pemupukan Otomatis Berbasis ESP32 dengan RTC dan Blynk," *J. Ilm. Telsinas Elektro, Sipil dan Tek. Inf.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–10, 2025, doi: 10.38043/telsinas.v8i1.6020.
- [25] F. E. Subagja, A. P. Supriyadi, A. R. Kurniadi, and Y. Saragih, "Penguji Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Iot," *Infotronik J. Teknol. Inf. dan Elektron.*, vol. 8, no. 2, p. 91, 2023, doi: 10.32897/infotronik.2023.8.2.3015.
- [26] I. V. Sari, D. R. Darmayanti, C. Widiarsari, W. Indani, and M. W. Sitopu, "Sistem Otomatis Penyiraman Dan Pemupukan Tanaman Tin Menggunakan Mikrokontroler Esp32," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4564.
- [27] Y. Bantaika, D. Nababan, and R. Risald, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," 2024. doi: 10.32672/jnkti.v7i5.8071.
- [28] M. A. Awaludin and A. B. Utomo, "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Otomatis pada Tanaman Sawi dengan Sistem Irigasi Tetes untuk Lahan Pertanian Lereng Gunung Ungaran," 2024, *jtein.ppj.unp.ac.id*. doi: 10.24036/jtein.v5i1.516.
- [29] A. Syahri and R. Ulansari, "Penyiraman Otomatis dengan NodeMcu Berbasis Iot Untuk Tanaman Cabai," *J. Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 1, pp. 38–44, 2023, doi: 10.52643/jti.v9i1.3173.
- [30] F. P. E. Putra, M. Irfan, M. Aziz, and R. N. Saputra, "Wireless Network Design at Pamekasan Regency Public Library," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 5, no. 1, pp. 144–150, 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.5876.
- [31] D. K. Nugraha, H. Setiawan, A. Pratama, and D. Karomah, "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Air Otomatis untuk Kebun Tanaman Ruskus di Desa Karyawangi, Kabupaten Bandung Barat," *Madaniya*, vol. 5, no. 2, pp. 337–347, 2024, doi: 10.53696/27214834.764.
- [32] S. Wijaya, L. Delsi Samsumar, and M. Masjun Efendi, "Perancangan Sistem Monitoring Kelembapan Dan Penyiraman Otomatis Tanaman Jagung Berbasis Internet of Things," *J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 4, pp. 267–276, 2024, doi: 10.70248/jcsit.v1i4.1253.
- [33] Gerald Rhamadhany and Noni Juliasari, "Rancang Bangun Prototipe Sistem Monitoring Pemupukan Dan Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Internet of Things," *J. Ticom Technol. Inf. Commun.*, vol. 11, no. 2, pp. 86–92, 2023, doi: 10.70309/ticom.v11i2.87.
- [34] F. J. Haryono, A. Primawati, and A. A. R. Awaludin, "Rancangan Sistem Kendali Penyiraman dan Pemupukan untuk Perawatan Tanaman Tembakau pada Pusat Budidaya Di Klaten Jawa Tengah," *Fakt. Exacta*, vol. 17, no. 1, p. 1, 2024, doi: 10.30998/faktorexacta.v17i1.13914.
- [35] F. P. Eka Putra, A. M. Ubaidillah Solichin, M. N. Wildanul Hakim, and M. T. Ramadhan, "Pemanfaatan Teknologi Wireless dan Mobile Network Berbasis 5G Untuk Pemerataan Akses Jaringan di Indonesia," *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 415–425, 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30559.
- [36] ELKA PRANITA, "Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Node MCU ESP8266," *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 19, no. 2, pp. 149–155, 2025, doi: 10.23960/elc.v19n2.2786.
- [37] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Debri Eko Arissandi, Achmad Rofiqi, and Moh Firman Hidayat, "Pemanfaatan Mikrotik Dalam Manajemen Bandwidth Pada Jaringan Sekolah," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5938.
- [38] G. Mohyuddin, M. A. Khan, A. Haseeb, S. Mahpara, M. Waseem, and A. M. Saleh, "Evaluation of Machine Learning Approaches for Precision Farming in Smart Agriculture System: A Comprehensive Review," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 60155–60184, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3390581.
- [39] A. Hazra, P. Rana, M. Adhikari, and T. Amgoth, "Fog computing for next-generation Internet of Things: Fundamental, state-of-the-art and research challenges," *Comput. Sci. Rev.*, vol. 48, 2023, doi: 10.1016/j.cosrev.2023.100549.
- [40] Herianto, H. Hamrul, and Musyriifah, "Rancang Sistem Alat Penyiraman Tanaman Bunga Otomatis Berbasis Internet Of Things," *J. Comput. Inf. Syst. (J-CIS)*, vol. 6, no. 2, pp. 19–26, 2023, doi: 10.31605/jcis.v6i2.3279.

- [41] Z. U. Zamzamil Umam and Denny Irawan, "Sistem Pemantauan dan Kendali Penyiraman Otomatis pada Tanaman menggunakan Logika Fuzzy berbasis Outseal SCADA," *J. Ampere*, vol. 9, no. 1, pp. 1–9, 2024, doi: 10.31851/ampere.v9i1.15183.
- [42] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Noviyani Dwi Saputri, Fathur Rosi, and Rohilia Loati, "Optimalisasi Infrastruktur Cloud Networking melalui Integrasi SDN, NFV, dan Multi-Cloud," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.6099.
- [43] F. Ramadhan and I. Rusmala Dewi, "Sistem Monitoring Dan Penyiraman Otomatis Tanaman Srigading (*Nyctanthes Arbor-Tristis*) Berbasis Iot (Internet of Things) Dengan Menggunakan Sensor Kelembapan Tanah Dan Suhu Ruang Pada Pot," 2024. doi: 10.31949/infotech.v10i1.8093.
- [44] A. P. Nanda, J. Jeprianto, and M. I. Mahdi, "Sistem Otomatis Penyiraman Tanaman Berbasis Sensor Kelembapan Tanah Untuk Peningkatan Produktivitas Pertanian," 2024, *pdfs.semanticscholar.org*. doi: 10.31602/tji.v15i4.16300.
- [45] S. Suratno and B. D. Cahyono, "Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Catu Daya Pompa Air Submersible," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 7, no. 2, pp. 309–319, 2023, doi: 10.36277/jteuniba.v7i2.220.
- [46] F. P. Eka Putra, S. A. Ramadhani, and M., "Integrasi Teknologi Kuantum dan fiber Optik untuk Meningkatkan Keamanan dan Efisiensi Jaringan Masa Depan," *J. Ilm. Ilk. - Ilmu Komput. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 151–163, 2025, doi: 10.47324/ilkominfo.v8i2.342.
- [47] M. N. Khozin, M. D. S. Mona, P. Dewanti, W. K. Putri, S. Soeparjono, and D. P. Restanto, "Multiplikasi Tunas Tembakau Secara In Vitro Menggunakan Benzyl Amino Purine Dan Furfuryl Amino Purine Melalui Metode Thin Cell Layer," 2025. doi: 10.15408/kauniyah.v18i2.40649.
- [48] R. Lubis, J. Jufrizal, S. Supriatno, and N. Nurdiana, "Analisis Efisiensi Thermal dan Konsumsi Bahan Bakar pada Burner Kompor SNI Sebagai Dasar Acuan Perencanaan Burner Mesin Stirling," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–7, 2024, doi: 10.56862/irajtma.v3i2.96.
- [49] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, M. Aziz, M. Irfan, and R. Alim, "Improving Network Service Quality in parts of Sampang City: QoS Evaluation and User Perception of QoE," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 408–412, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4311.
- [50] G. Rusmayadi, Indriyani, E. Sutrisno, R. J. Nugroho, C. Prasetyo, and A. Z. A. Alaydrus, "Evaluasi Efisiensi Penggunaan Sumber Daya Air dalam Irigasi Pertanian: Studi Kasus di Wilayah Kabupaten Cianjur," 2023, *download.garuda.kemdikbud.go.id*. doi: 10.58812/jgws.v1i02.422.