

Manajemen Otomatisasi Pembibitan Tembakau

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 awal yang menentukan keberhasilan budidaya tembakau karena berpengaruh langsung terhadap kualitas bibit dan produktivitas tanaman pada fase berikutnya. Praktik pembibitan di tingkat petani umumnya masih dilakukan secara konvensional, dengan penyiraman manual dan pemantauan lingkungan yang tidak terukur, sehingga berpotensi menyebabkan pemborosan air, tingginya beban kerja, serta ketidaksesuaian kondisi media tanam. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan pendekatan berbasis data untuk mendukung otomatisasi dan efisiensi pengelolaan pertanian. Penelitian ini bertujuan menerapkan dan mengevaluasi sistem manajemen otomatisasi pembibitan tembakau berbasis IoT guna meningkatkan efisiensi penggunaan air dan waktu kerja petani. Penelitian menggunakan metode rancang bangun dan uji lapangan dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Sistem dikembangkan dengan mengintegrasikan sensor kelembapan tanah, sensor suhu dan kelembapan udara, sensor hujan, modul penjadwalan waktu, serta notifikasi berbasis aplikasi pesan instan. Evaluasi dilakukan melalui pengujian kinerja sistem, pengamatan respons penyiraman, serta perbandingan penggunaan air dan waktu kerja petani sebelum dan sesudah penerapan sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dan responsif. Penyiraman dapat dilakukan secara adaptif berdasarkan kondisi kelembapan tanah dan dihentikan secara otomatis saat hujan terdeteksi. Penerapan sistem berhasil menurunkan penggunaan air secara signifikan dan mengurangi waktu kerja petani dari 420–595 menit per minggu menjadi 210–315 menit per minggu, atau berkurang sekitar 45%. Kesimpulannya, sistem manajemen otomatisasi pembibitan tembakau berbasis IoT efektif dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan pembibitan dan mendukung praktik pertanian cerdas. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan sistem pada skala lahan yang lebih luas serta memanfaatkan data historis untuk pengambilan keputusan yang lebih adaptif.

Kata kunci: Internet of Things, Penyiraman Otomatis, Pembibitan Tembakau, Smart Agriculture, Efisiensi Sumber Daya

Article history: Received 5 April 20XX, first decision 22 April 20XX, accepted 22 August 20XX, available online 28 October 20XX

I. PENDAHULUAN

Tembakau merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peran penting dalam struktur perekonomian nasional, terutama pada wilayah pedesaan yang menjadikan sektor pertanian sebagai sumber penghidupan utama. Di Pulau Madura, khususnya Kabupaten Pamekasan, budidaya tembakau telah berkembang menjadi aktivitas ekonomi yang tidak hanya bernilai finansial, tetapi juga memiliki keterkaitan sosial dan kultural yang kuat. Keberlanjutan produksi tembakau sangat ditentukan oleh kualitas fase awal pertumbuhan tanaman, yaitu tahap pembibitan [1], [2], [3], [4], [5]. Bibit yang tumbuh secara optimal akan memberikan kontribusi signifikan terhadap daya adaptasi tanaman di lapangan, keseragaman pertumbuhan, serta kualitas hasil panen. Oleh karena itu, pembibitan tembakau memerlukan sistem pengelolaan yang tepat dan berbasis pada kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Dalam praktiknya, proses pembibitan tembakau yang dilakukan oleh petani di Desa Galis masih didominasi oleh pendekatan konvensional. Penyiraman dan pemeliharaan bibit umumnya dilakukan secara manual dengan mengandalkan pengalaman empiris petani [6], [7], [8]. Keputusan terkait frekuensi dan volume penyiraman sering kali didasarkan pada pengamatan visual dan kebiasaan turun-temurun, tanpa didukung oleh data lingkungan yang terukur. Kondisi ini menyebabkan proses pembibitan sangat bergantung pada subjektivitas manusia, sehingga berpotensi menimbulkan ketidakkonsistenan dalam pengelolaan media tanam. Selain itu, metode konvensional cenderung membutuhkan waktu dan tenaga kerja yang besar, sementara efisiensi penggunaan air belum dapat dikendalikan secara optimal.

Pengelolaan kelembapan media tanam merupakan faktor krusial dalam fase pembibitan tembakau. Ketidakseimbangan kadar air dalam tanah dapat berdampak langsung terhadap pertumbuhan bibit. Kondisi kekurangan air dapat menghambat perkembangan sistem perakaran dan menyebabkan stres fisiologis pada tanaman muda, sedangkan kelebihan air berpotensi memicu pembusukan akar serta meningkatkan risiko serangan penyakit. Tantangan tersebut semakin diperparah oleh kondisi cuaca yang sulit diprediksi [9], [10], [11], [12]. Hujan yang terjadi secara tiba-tiba sering kali tidak dapat diantisipasi oleh petani, sehingga penyiraman tetap dilakukan meskipun media

* Laili Romadona

tanam telah berada dalam kondisi basah. Situasi ini menunjukkan bahwa pendekatan manual dalam pengelolaan pembibitan memiliki keterbatasan dalam merespons dinamika lingkungan secara cepat dan akurat. Seiring dengan meningkatnya tekanan terhadap sumber daya air dan tuntutan efisiensi kerja di sektor pertanian, diperlukan inovasi yang mampu menjawab permasalahan tersebut secara sistematis. Pendekatan tradisional yang hanya mengandalkan intuisi petani dinilai kurang memadai dalam menghadapi kompleksitas kondisi lingkungan saat ini [11], [13], [14], [15]. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem manajemen pembibitan yang mampu memantau kondisi lingkungan secara berkelanjutan serta mengambil keputusan berdasarkan data aktual. Sistem semacam ini diharapkan dapat meningkatkan ketepatan penyiraman sekaligus meminimalkan risiko kesalahan pengelolaan yang dapat berdampak pada kualitas bibit.

Perkembangan teknologi digital, khususnya Internet of Things (IoT), membuka peluang besar dalam mendukung transformasi sektor pertanian menuju sistem yang lebih presisi dan adaptif. IoT memungkinkan berbagai perangkat fisik, seperti sensor dan aktuator, saling terhubung melalui jaringan komunikasi sehingga data lingkungan dapat dikumpulkan, dianalisis, dan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan secara otomatis [16], [17], [18], [19]. Dalam konteks pertanian modern, penerapan IoT menjadi bagian dari paradigma smart agriculture yang menekankan pengelolaan berbasis data, efisiensi sumber daya, serta pengurangan ketergantungan pada intervensi manual. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis sensor mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan menjaga stabilitas kondisi lingkungan tanaman. Namun demikian, pemanfaatan teknologi IoT pada tahap pembibitan tembakau masih relatif terbatas, terutama di wilayah pedesaan. Sebagian besar penerapan teknologi pertanian cerdas lebih difokuskan pada komoditas hortikultura atau tanaman pangan, sementara pembibitan tembakau belum banyak mendapat perhatian dalam pengembangan sistem otomatisasi [20], [21], [22]. Selain itu, solusi yang tersedia sering kali hanya mempertimbangkan satu parameter lingkungan, seperti kelembapan tanah, tanpa mengintegrasikan faktor lain yang juga berpengaruh, seperti curah hujan dan pengaturan waktu penyiraman. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan akan sistem manajemen pembibitan yang lebih komprehensif dan kontekstual.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengkaji penerapan manajemen otomatisasi pembibitan tembakau berbasis Internet of Things. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan pemantauan kelembapan tanah, suhu dan kelembapan udara, serta deteksi hujan, yang dipadukan dengan mekanisme penjadwalan waktu. Integrasi berbagai parameter tersebut memungkinkan sistem melakukan penyiraman secara adaptif sesuai dengan kondisi lingkungan actual [23], [24], [25], [26]. Selain itu, sistem dilengkapi dengan fitur notifikasi berbasis aplikasi pesan instan yang memungkinkan petani melakukan pemantauan jarak jauh terhadap kondisi pembibitan dan status penyiraman. Penerapan sistem ini diharapkan mampu memberikan manfaat praktis berupa peningkatan efisiensi penggunaan air dan pengurangan beban kerja manual petani. Dari sisi akademik, penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan kajian smart agriculture, khususnya pada manajemen pembibitan tembakau berbasis IoT yang masih relatif jarang diteliti. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan sistem pembibitan yang lebih efisien, adaptif, dan berkelanjutan di tingkat petani.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pemanfaatan teknologi informasi dalam sektor pertanian mengalami perkembangan signifikan seiring meningkatnya kebutuhan akan efisiensi, ketepatan pengelolaan, dan keberlanjutan produksi. Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan dalam pertanian modern adalah Internet of Things (IoT), yaitu konsep integrasi perangkat fisik dengan sistem digital melalui jaringan komunikasi [27], [28], [29], [30]. Dalam konteks pertanian, IoT memungkinkan proses pemantauan dan pengendalian lingkungan tanam dilakukan secara otomatis dan berbasis data, sehingga aktivitas pertanian tidak lagi sepenuhnya bergantung pada intervensi manual. Sistem pertanian berbasis IoT umumnya terdiri dari sensor, perangkat pengendali, aktuator, serta media komunikasi data. Sensor berfungsi untuk menangkap kondisi lingkungan secara real-time, seperti kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, dan keberadaan hujan [31], [32], [33], [34], [35]. Data yang dihasilkan kemudian diproses oleh perangkat pengendali untuk menentukan tindakan yang sesuai. Pendekatan ini memungkinkan sistem pertanian beroperasi secara adaptif terhadap perubahan lingkungan, sekaligus meningkatkan ketepatan pengambilan keputusan dalam pengelolaan tanaman.

Pada tahap pembibitan, pengelolaan kelembapan media tanam merupakan faktor yang sangat menentukan keberhasilan pertumbuhan bibit. Kelembapan yang tidak terkontrol dapat menyebabkan gangguan fisiologis pada tanaman muda. Oleh karena itu, penggunaan sensor kelembapan tanah menjadi komponen penting dalam sistem penyiraman otomatis. Sensor ini mampu memberikan informasi kuantitatif mengenai kadar air dalam media tanam, sehingga penyiraman dapat dilakukan secara tepat sesuai kebutuhan tanaman [36], [37], [38], [39]. Pendekatan ini dinilai lebih efektif dibandingkan metode manual yang cenderung bersifat subjektif dan sulit dikontrol volumenya. Selain kelembapan tanah, kondisi iklim mikro di sekitar area pembibitan juga mempengaruhi kualitas pertumbuhan bibit. Suhu dan kelembapan udara berperan dalam mengatur proses transpirasi dan metabolisme tanaman. Lingkungan

yang terlalu panas atau terlalu lembap dapat meningkatkan risiko stres tanaman dan serangan penyakit. Oleh karena itu, pemantauan suhu dan kelembapan udara menjadi bagian penting dalam sistem manajemen pembibitan berbasis teknologi. Integrasi data mikroklimat memungkinkan evaluasi kondisi lingkungan secara lebih menyeluruh dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat.

Faktor cuaca, khususnya hujan, menjadi tantangan tersendiri dalam pengelolaan pembibitan secara manual. Penyiraman yang tetap dilakukan saat hujan berpotensi menyebabkan kelebihan air pada media tanam. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, sistem otomatisasi dapat dilengkapi dengan sensor hujan yang berfungsi sebagai mekanisme pengaman. Sensor ini memungkinkan sistem menghentikan penyiraman secara otomatis ketika hujan terdeteksi, sehingga risiko pembasahan berlebih dapat diminimalkan. Integrasi antara sensor hujan dan sensor kelembapan tanah menciptakan sistem kendali yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan nyata [40], [41], [42]. Selain berbasis kondisi lingkungan, pengelolaan penyiraman juga dapat dikombinasikan dengan penjadwalan waktu. Penjadwalan penyiraman bertujuan menjaga konsistensi pasokan air pada waktu-waktu tertentu, seperti pagi dan sore hari, yang umumnya lebih efektif untuk pertumbuhan tanaman. Penggunaan modul waktu memungkinkan sistem bekerja secara mandiri tanpa bergantung pada koneksi internet, sehingga lebih sesuai diterapkan di wilayah pedesaan dengan keterbatasan infrastruktur jaringan [43], [44], [45], [46]. Dalam sistem otomatisasi pertanian, aktuatur seperti relay dan pompa air berperan sebagai penghubung antara keputusan logis dan aksi fisik di lapangan. Relay memungkinkan perangkat pengendali mengoperasikan pompa air secara aman, sementara pompa air berfungsi menyalurkan air sesuai perintah sistem. Integrasi antara sensor, pengendali, dan aktuatur membentuk siklus kendali tertutup yang mampu bekerja secara berkelanjutan dengan intervensi manusia yang minimal.

Sebagai pelengkap, sistem IoT modern umumnya dilengkapi dengan mekanisme notifikasi berbasis jaringan komunikasi. Notifikasi memungkinkan pengguna memperoleh informasi mengenai kondisi lingkungan dan status sistem secara jarak jauh. Fitur ini meningkatkan transparansi dan kemudahan pengawasan, sekaligus memperkuat peran pengguna dalam pengelolaan sistem otomatis [47], [48]. Berdasarkan uraian tersebut, penerapan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT yang mengintegrasikan berbagai parameter lingkungan dan penjadwalan waktu merupakan pendekatan yang relevan untuk mendukung manajemen pembibitan tembakau yang lebih efisien dan adaptif.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan rancang bangun dan implementasi sistem dengan tujuan mengembangkan serta mengevaluasi sistem manajemen otomatisasi pembibitan tembakau berbasis Internet of Things. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya berfokus [49] pada analisis konseptual, tetapi juga pada penerapan solusi teknis secara langsung di lapangan serta pengujian kinerja sistem dalam kondisi nyata. Metode penelitian dirancang agar mampu menghasilkan sistem yang aplikatif sekaligus menyediakan data kuantitatif dan kualitatif untuk mengevaluasi efektivitas sistem yang dikembangkan.

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 [50]. Objek penelitian meliputi proses pembibitan tembakau, khususnya pada aspek penyiraman, pemantauan kondisi lingkungan, serta aktivitas kerja petani yang berkaitan dengan pengelolaan pembibitan.

2. Tahapan Penelitian

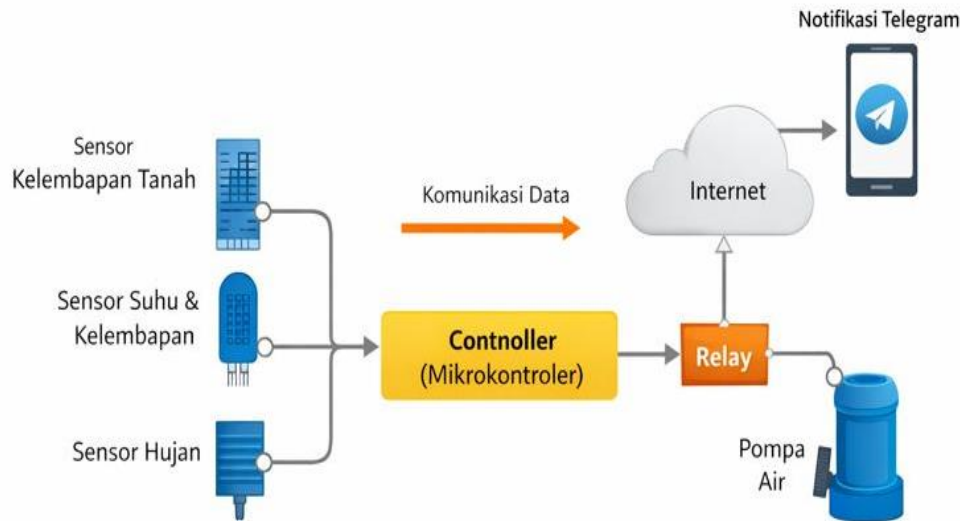
Tahapan penelitian disusun secara sistematis yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, serta pengujian dan evaluasi. Analisis kebutuhan dilakukan melalui observasi lapangan dan komunikasi dengan petani untuk mengidentifikasi permasalahan utama dalam proses pembibitan [51]. Hasil analisis ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan spesifikasi sistem, parameter pengendalian, serta skenario pengujian.



Gambar 1. Diagram alur tahapan penelitian

3. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan dengan pendekatan terintegrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak. Sistem dirancang menggunakan perangkat pengendali sebagai pusat pemrosesan data yang terhubung dengan sensor

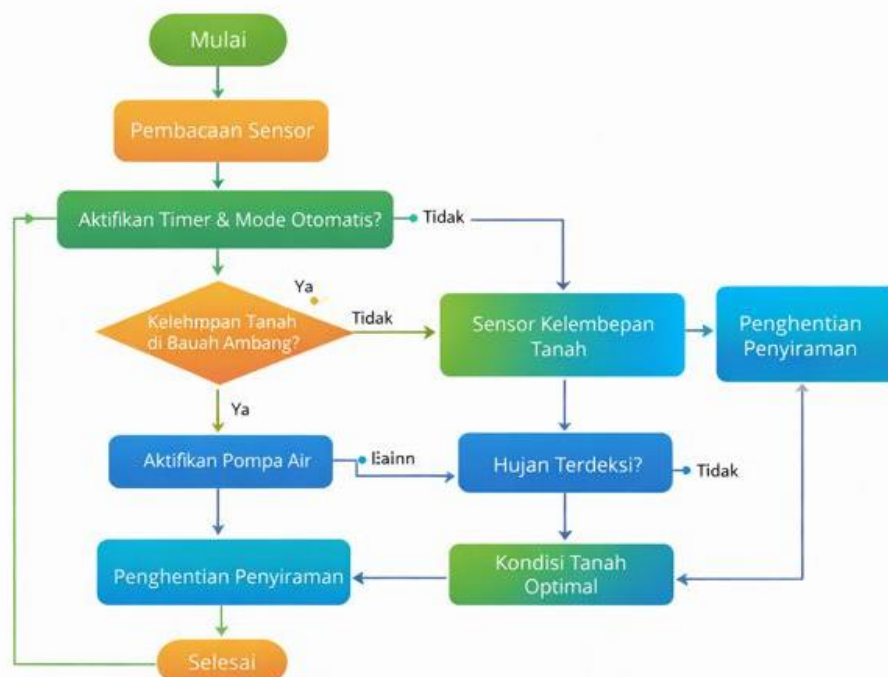


kelembapan tanah, sensor suhu dan kelembapan udara, serta sensor hujan. Selain itu, sistem dilengkapi dengan modul pencatat waktu untuk mendukung penyiraman terjadwal. Aktuator berupa relay dan pompa air digunakan untuk mengeksekusi keputusan penyiraman berdasarkan logika kendali yang telah ditetapkan.

Gambar 2. Diagram arsitektur sistem penyiraman otomatis berbasis IoT

4. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem dikembangkan dengan logika kendali berbasis kondisi lingkungan dan waktu. Sistem secara periodik membaca data dari seluruh sensor, kemudian membandingkannya dengan nilai ambang yang telah ditentukan. Penyiraman diaktifkan ketika kelembapan tanah berada di bawah batas minimum dan tidak terdeteksi hujan [52]. Sebaliknya, penyiraman dihentikan ketika kelembapan telah mencapai batas optimal atau ketika sensor hujan mendeteksi adanya hujan. Penjadwalan waktu digunakan sebagai mekanisme tambahan untuk menjaga stabilitas kelembapan media tanam.



Gambar 3. Diagram alur logika kerja sistem penyiraman otomatis

5. Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan pemasangan seluruh komponen pada area pembibitan tembakau. Sensor kelembapan tanah ditempatkan pada media tanam dengan kedalaman yang mewakili zona perakaran bibit. Sensor suhu, kelembapan udara, dan hujan dipasang pada posisi yang terlindung namun tetap merepresentasikan kondisi lingkungan sekitar [53]. Unit pengendali dan catu daya ditempatkan dalam kotak pelindung untuk menjaga keandalan sistem selama pengujian lapangan.

6. Metode Pengujian dan Evaluasi

Pengujian sistem dilakukan menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pengujian kuantitatif meliputi respons sistem terhadap perubahan kelembapan tanah, kemampuan deteksi hujan, ketepatan penjadwalan waktu, serta waktu tunda pengiriman notifikasi. Selain itu, dilakukan perbandingan penggunaan air dan waktu kerja petani sebelum dan sesudah penerapan sistem [54], [55]. Evaluasi kualitatif dilakukan melalui umpan balik pengguna untuk menilai kemudahan penggunaan dan manfaat sistem [56].

IV. HASIL

Bagian ini menyajikan hasil implementasi dan pengujian sistem manajemen otomatisasi pembibitan tembakau berbasis Internet of Things yang diterapkan di Desa Galis. Hasil yang disampaikan meliputi kinerja sistem secara umum, respons sensor dan aktuator, keandalan komunikasi sistem, 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, yang terdiri dari sensor kelembapan tanah, sensor suhu dan kelembapan udara, sensor hujan, perangkat pengendali, relay, dan pompa air, dapat bekerja secara terintegrasi. Sistem mampu beroperasi secara kontinu selama periode pengujian tanpa mengalami gangguan signifikan. Integrasi antar komponen memungkinkan sistem melakukan pemantauan kondisi lingkungan dan pengambilan keputusan penyiraman secara otomatis.

2. Hasil Pengujian Logika Kerja Sistem

Pengujian logika kerja sistem dilakukan untuk memastikan bahwa keputusan penyiraman sesuai dengan kondisi lingkungan yang terdeteksi oleh sensor. Sistem membaca data kelembapan tanah dan sensor hujan secara periodik, kemudian menentukan tindakan penyiraman berdasarkan nilai ambang yang telah ditetapkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengaktifkan pompa air ketika kelembapan tanah berada di bawah ambang batas dan menghentikan penyiraman ketika kelembapan telah mencapai kondisi optimal atau ketika hujan terdeteksi. Logika kendali berjalan secara konsisten selama masa pengujian, tanpa konflik antara pembacaan sensor dan penjadwalan waktu yang diterapkan.

3. Hasil Pengujian Parameter Sistem

Pengujian parameter sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja masing-masing komponen serta integrasi sistem secara keseluruhan. Parameter yang diuji meliputi akurasi sensor, respons penyiraman otomatis, deteksi hujan, ketepatan penjadwalan waktu, notifikasi sistem, serta stabilitas operasi.

Tabel 1. Parameter dan indikator pengujian system

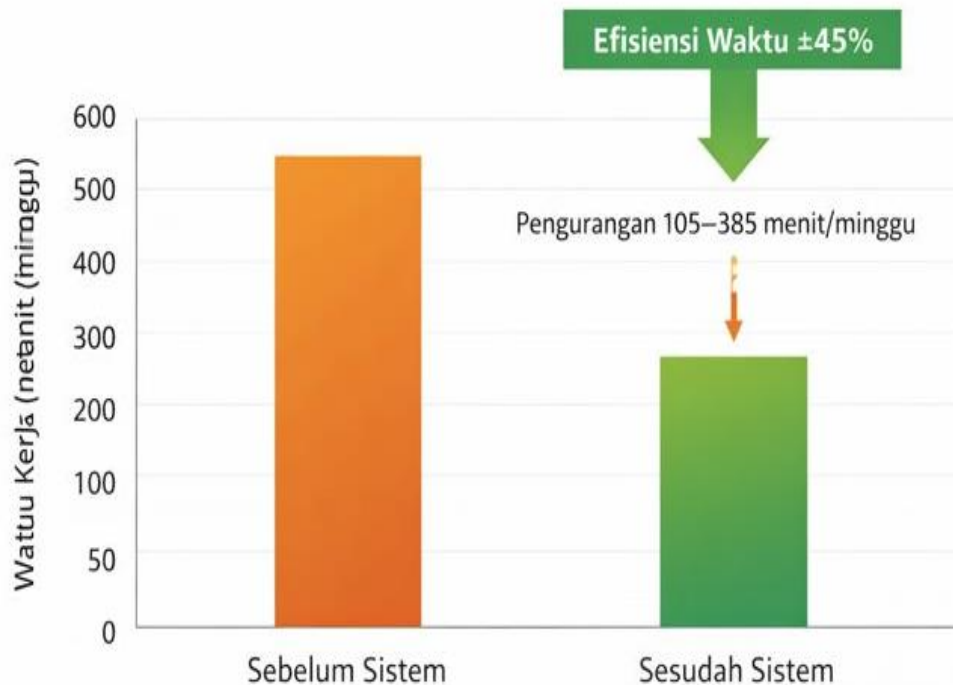
No	Parameter Pengujian	Indikator yang Diamati	Metode Pengujian	Kriteria Keberhasilan
1	Sensor Kelembapan Tanah	Nilai persentase kelembapan media tanam	Perbandingan pembacaan sensor dengan alat ukur kelembapan tanah	Selisih pembacaan $\leq \pm 10\%$
2	Respon Penyiraman Otomatis	Aktivasi dan penghentian pompa air	Observasi perubahan status pompa saat nilai ambang terlampaui	Pompa aktif saat tanah kering dan berhenti saat lembap
3	Sensor Hujan	Waktu respon deteksi hujan	Simulasi hujan dan pengamatan langsung	Pompa berhenti ≤ 3 detik setelah hujan terdeteksi
4	Penjadwalan Waktu	Ketepatan waktu penyiraman terjadwal	Perbandingan waktu sistem dengan jam referensi	Selisih waktu ≤ 1 detik per hari
5	Integrasi Sistem	Sinkronisasi sensor, kontrol, dan aktuator	Pengujian operasi sistem secara menyeluruh	Tidak terjadi konflik logika

6	Notifikasi Sistem	Waktu tunda pengiriman informasi	Pengukuran selisih waktu kejadian dan pesan diterima	Rata-rata delay ≤ 5 detik
7	Efisiensi Penggunaan Air	Volume air yang digunakan	Perbandingan penggunaan air sebelum dan sesudah sistem	Penghematan air $\geq 25\%$
8	Efisiensi Waktu Kerja	Durasi kerja manual petani	Observasi aktivitas dan wawancara	Pengurangan waktu kerja $\geq 30\%$
9	Stabilitas Sistem	Konsistensi operasi sistem	Pengoperasian sistem berkelanjutan	Sistem berjalan tanpa gangguan signifikan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh parameter berada dalam kriteria keberhasilan yang telah ditetapkan. Sensor kelembapan tanah mampu membaca kondisi media tanam dengan selisih yang masih dapat diterima, sementara sensor hujan dapat menghentikan penyiraman dalam waktu singkat setelah hujan terdeteksi. Sistem notifikasi mampu mengirimkan informasi kondisi lahan dan status penyiraman dengan waktu tunda yang relatif rendah.

4. 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 catatan penggunaan air selama periode pengujian. Hasil analisis menunjukkan adanya penurunan penggunaan air yang signifikan setelah sistem diterapkan.



Gambar 4. Grafik Perbandingan penggunaan air sebelum dan sesudah penerapan sistem

Grafik menunjukkan bahwa penggunaan air setelah penerapan sistem lebih rendah dibandingkan metode penyiraman manual. Penurunan ini terjadi karena penyiraman hanya dilakukan ketika kondisi tanah membutuhkan air, serta dihentikan secara otomatis saat hujan terdeteksi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam proses pembibitan tembakau.

5. Hasil Analisis Efisiensi Waktu Kerja Petani

Selain efisiensi air, penerapan sistem juga berdampak pada pengurangan waktu kerja manual petani. Sebelum sistem diterapkan, petani harus melakukan penyiraman dan pengecekan kondisi lahan secara rutin. Setelah sistem berjalan, sebagian besar aktivitas tersebut dapat dikurangi karena proses penyiraman dan pemantauan dilakukan secara otomatis.

Tabel 2. Perbandingan waktu kerja petani sebelum dan sesudah penerapan sistem

No	Kondisi Operasional	Jenis Aktivitas Petani	Rata-rata Waktu Kerja (menit/hari)	Total Waktu Kerja (menit/minggu)	Perubahan Waktu
1	Sebelum sistem	Seluruh aktivitas manual pembibitan	60–85	420–595	Acuan (baseline)
2	Sesudah sistem	Pengawasan & perawatan sistem	30–45	210–315	↓ 105–385 menit/minggu
3	Perubahan total	–	↓ ±30–40	↓ ±45%	Efisiensi signifikan

Hasil analisis menunjukkan adanya pengurangan waktu kerja harian petani, yang menunjukkan bahwa sistem tidak hanya berdampak pada aspek teknis, tetapi juga memberikan manfaat operasional bagi pengguna.

6. Ringkasan Hasil Penelitian

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem manajemen otomatisasi pembibitan tembakau berbasis IoT mampu bekerja sesuai dengan rancangan. Sistem dapat merespons kondisi lingkungan secara adaptif, meningkatkan efisiensi penggunaan air, serta mengurangi beban kerja manual petani. Hasil ini menjadi dasar untuk pembahasan lebih lanjut mengenai efektivitas sistem dan implikasinya dalam konteks pertanian cerdas.

V. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things memberikan dampak nyata terhadap peningkatan efisiensi manajemen pembibitan tembakau. Sistem mampu bekerja secara stabil dalam kondisi lapangan dan merespons perubahan lingkungan secara adaptif. Integrasi sensor kelembapan tanah, sensor hujan, dan penjadwalan waktu memungkinkan proses penyiraman dilakukan berdasarkan kondisi aktual media tanam, sehingga mengurangi ketergantungan pada penyiraman manual yang bersifat subjektif. Temuan ini menegaskan bahwa otomatisasi berbasis data lingkungan lebih efektif dibandingkan metode konvensional yang mengandalkan pengalaman petani semata. Berdasarkan hasil pengujian logika kerja sistem, keputusan penyiraman dapat dijalankan secara konsisten tanpa konflik antara pembacaan sensor dan penjadwalan waktu. Sistem hanya mengaktifkan pompa air ketika kelembapan tanah berada di bawah ambang batas dan menghentikan penyiraman saat kondisi tanah telah optimal atau hujan terdeteksi. Mekanisme ini berkontribusi langsung terhadap efisiensi penggunaan air, sebagaimana ditunjukkan oleh penurunan volume penggunaan air setelah penerapan sistem. Pengurangan ini tidak hanya menunjukkan efisiensi teknis, tetapi juga mencerminkan penerapan prinsip pengelolaan sumber daya air yang lebih berkelanjutan pada tahap pembibitan.

Dari sisi operasional, hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan signifikan pada waktu kerja petani. Berdasarkan Tabel 2 dan Grafik 2, waktu kerja petani berkurang dari 420–595 menit per minggu menjadi 210–315 menit per minggu, atau mengalami pengurangan sekitar 45%. Penurunan ini terjadi karena sebagian besar aktivitas penyiraman dan pemantauan kondisi lahan telah diambil alih oleh sistem otomatis. Peran petani bergeser dari pekerjaan fisik yang berulang ke aktivitas pengawasan sistem dan pengambilan keputusan berbasis informasi. Perubahan pola kerja ini menunjukkan bahwa teknologi tidak menggantikan peran petani, tetapi meningkatkan efisiensi dan efektivitas kerja mereka. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan sistem otomatisasi berbasis IoT pada pembibitan tembakau memiliki nilai aplikatif yang tinggi. Selain meningkatkan efisiensi penggunaan air dan waktu kerja, sistem ini juga memberikan dasar bagi pengembangan manajemen pembibitan yang lebih presisi dan terukur. Meskipun demikian, pengembangan lanjutan masih diperlukan, seperti penyesuaian ambang batas kelembapan berdasarkan fase pertumbuhan bibit dan pemanfaatan data historis untuk analisis prediktif. Dengan demikian, sistem ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam skala yang lebih luas dan pada komoditas pertanian lainnya.

Berdasarkan pembahasan tersebut, dapat dirangkum beberapa poin utama sebagai berikut:

1. Efektivitas Sistem
Sistem penyiraman otomatis mampu bekerja secara stabil dan responsif terhadap kondisi lingkungan, sehingga mendukung pengelolaan pembibitan tembakau yang lebih terkontrol.
2. Efisiensi Sumber Daya
Penerapan sistem terbukti menurunkan penggunaan air dan mengurangi waktu kerja manual petani secara signifikan.

3. Implikasi terhadap Pertanian Cerdas

Hasil penelitian menunjukkan bahwa otomatisasi berbasis IoT berpotensi menjadi solusi praktis dalam mendukung transformasi pembibitan tembakau menuju sistem pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan.

VI. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil menerapkan sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things dalam manajemen pembibitan tembakau sebagai upaya meningkatkan efisiensi pengelolaan pembibitan di tingkat petani. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan sensor kelembapan tanah, sensor hujan, sensor suhu dan kelembapan udara, serta mekanisme penjadwalan waktu untuk mendukung pengambilan keputusan penyiraman secara adaptif berdasarkan kondisi lingkungan aktual. Integrasi berbagai komponen tersebut memungkinkan proses pembibitan dikelola secara lebih terukur dan responsif terhadap perubahan kondisi lapangan. Hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dan konsisten. Penyiraman dapat dilakukan secara otomatis ketika kelembapan tanah berada di bawah ambang batas dan dihentikan saat kondisi tanah telah optimal atau hujan terdeteksi. Penerapan sistem ini terbukti mampu menurunkan penggunaan air secara signifikan dibandingkan metode penyiraman manual, serta mengurangi waktu kerja petani dari 420–595 menit per minggu menjadi 210–315 menit per minggu, atau berkurang sekitar 45%. Temuan ini menunjukkan bahwa otomatisasi berbasis IoT tidak hanya memberikan manfaat teknis, tetapi juga berdampak positif terhadap efisiensi operasional petani.

Secara keseluruhan, sistem penyiraman otomatis berbasis IoT efektif dalam mendukung praktik pertanian cerdas pada tahap pembibitan tembakau. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan sistem pada skala lahan yang lebih luas, melakukan penyesuaian parameter berdasarkan fase pertumbuhan bibit, serta memanfaatkan data historis sebagai dasar pengambilan keputusan yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

Kontribusi Penulis: Laili Romadona berperan dalam perancangan penelitian, pengumpulan dan analisis data, implementasi sistem, serta penulisan naskah jurnal. Siti Fathiar Rohmah berperan dalam supervisi penelitian dan penelaahan 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] F. P. E. Putra, Y. Setiawan, S. Arifin, and W. Hidayatullah, "Peran VPN dalam Menjaga Privasi Pengguna Jaringan Pub-lik," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5834.
- [2] F. P. E. Putra, D. E. Arissandi, A. Rofiqi, and M. F. Hidayat, "Pemanfaatan Mikrotik Dalam Manajemen Bandwidth Pada Jaringan Sekolah," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5938.
- [3] F. P. Eka Putra, Amir Hamzah, W. Agel, and R. O. Firmansyah Kusuma, "Impelementasi Sistem Keamanan Jaringan Mikrotik Menggunakan Firewall Filtering dan Port Knocking," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 82–87, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.329.
- [4] N. Haidar Hari, F. P. Eka Putra, U. Hasanah, S. R. Sutarsih, and Riyan, "Transformasi Jaringan Telekomunikasi dengan Teknologi 5G: Tantangan, Potensi, dan Implikasi," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 146–150, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.357.
- [5] F. P. E. Putra, D. A. M. Putra, A. Firdaus, and A. Hamzah, "Analisis Kecepatan Dan Kinerja Jaringan 5G (generasi ke 5) Pada Wilayah Perkotaan," *INFORMATICS Educ. Prof. J. Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 47, 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2439.
- [6] F. P. E. Putra, S. R. Sutarsih, S. Sofiyulloh, and ..., "Optimalisasi Perancangan Aplikasi Manajemen Data Koloman, Di Desa Pulau Mandangin Sampang–Madura Berbasis Website," 2024, *jurnal.univrab.ac.id*. doi: 10.36341/rabit.v9i2.4840.
- [7] F. P. E. Putra and N. Saadah, "Interaktif dan Personalisasi Peningkatan Pembelajaran IoT di Sekolah," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 175–181, 2023, doi: 10.37034/jsisfotek.v5i2.236.
- [8] F. P. E. Putra, F. Fauzan, S. Syirofi, M. Mursidi, D. Wahid, and A. Nuraini, "Sistem Pengendali Lingkungan Pertanian Dengan Wireless Sensor Network Untuk Mengoptimalkan Budidaya Hidroponik," 2024. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3461.
- [9] N. Muhammad Akbar, F. Prasetyo Eka Putra, K. Zulfana Imam, and M. Umar Mansyur, "Analisis Kinerja dan Interopabilitas STB Sebagai Server Penilaian Akhir Tahun," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 91–96, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.365.
- [10] A. Zulfikri, F. P. E. Putra, M. A. Huda, H. Hasbullah, M. Mahendra, and M. Surur, "Analisis Keamanan Jaringan Dari Serangan Malware Menggunakan Filtering Firewall Dengan Port Blocking," 2023. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3379.
- [11] D. Thi Sang, R. Imamura, T. Akabe, and Y. Nakashima, "Energy Consumption Optimization of Multi-Dimensional U-Nets on CGLA,"

- IEEE Access, vol. 13, pp. 29476–29492, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3539417.
- [12] X. Dou, X. Chen, D. Liang, and B. Lin, “A Time-Delay Overlapping Modulation-Based High Spectral Efficiency and Secure DCSK System,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 122685–122695, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3108808.
- [13] X.-F. Feng and J.-W. Liu, “Biomimetic array actuators for multisituation low-grade energy harvesting,” *Chem. Eng. J.*, vol. 490, 2024, doi: 10.1016/j.cej.2024.151631.
- [14] Z. Zhang, C. Zhan, S. Zhao, and M.-K. Law, “A High-Efficiency Low-Cost Multi-Antenna Energy Harvesting System With Leakage Suppression,” *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 59, no. 9, pp. 2995–3007, 2024, doi: 10.1109/JSSC.2024.3387025.
- [15] N. Saba, P. Lassila, K. Ruttik, R. Jäntti, and J. Salo, “Radio Network Planning for 5G FWA at 3.5 GHz and 26 GHz: A Link- and Flow-Level Approach,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 152782–152799, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3603906.
- [16] X. Li, H. Gao, J. Zhang, S. Yang, X. Jin, and K.-K. R. Choo, “GPU Accelerated Full Homomorphic Encryption Cryptosystem, Library, and Applications for IoT Systems,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 4, pp. 6893–6903, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2023.3313443.
- [17] S. Alam, M. M. Islam, M. S. Hossain, A. Jaiswal, and A. Aziz, “Cryogenic In-Memory Bit-Serial Addition Using Quantum Anomalous Hall Effect-Based Majority Logic,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 60717–60723, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3285604.
- [18] B. Abolhassani, J. Tadrous, and A. Eryilmaz, “Optimal Load-Splitting and Distributed-Caching for Dynamic Content over the Wireless Edge,” *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 31, no. 5, pp. 2178–2190, 2023, doi: 10.1109/TNET.2023.3244039.
- [19] M. Graba *et al.*, “Toward Safer and Energy Efficient Global Trajectory Planning of Self-Guided Vehicles for Material Handling System in Dynamic Environment,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 30753–30767, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3260646.
- [20] L. Anchidin, A. Lavric, P.-M. Mutescu, A. I. Petrariu, and V. Popa, “The Design and Development of a Microstrip Antenna for Internet of Things Applications,” *Sensors*, vol. 23, no. 3, 2023, doi: 10.3390/s23031062.
- [21] S. Jeon and J. T. Seo, “A Synthetic Time-Series Generation Using a Variational Recurrent Autoencoder with an Attention Mechanism in an Industrial Control System,” *Sensors*, vol. 24, no. 1, 2024, doi: 10.3390/s24010128.
- [22] S. Bhattacharya and M. Pandey, “Deploying an energy efficient, secure & high-speed sidechain-based TinyML model for soil quality monitoring and management in agriculture,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 242, 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.122735.
- [23] N. Ramadevi, M. V. Subramanyam, and C. S. Shoba Bindu, “Mobility target tracking with meta-heuristic aided target movement prediction scheme in WSN using adaptive distributed extended Kalman filtering,” *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 37, no. 11, 2024, doi: 10.1002/dac.5789.
- [24] X. Zhang, Z. Jiang, X. Zhang, Y. Xie, and Z. X. Zhang, “Sustainable fabrication of porous bio-based polyurethane as triboelectric material realized by dynamic bond and scN2 foaming,” *Chem. Eng. J.*, vol. 514, 2025, doi: 10.1016/j.cej.2025.163012.
- [25] Z. Yang, Q. Li, Y. Yuan, and Q. Wang, “HCNet: Hierarchical Feature Aggregation and Cross-Modal Feature Alignment for Remote Sensing Image Captioning,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 62, pp. 1–11, 2024, doi: 10.1109/TGRS.2024.3401576.
- [26] M. A. Matheen and S. Sundar, “A Novel Technique to Mitigate the Data Redundancy and to Improve Network Lifetime Using Fuzzy Criminal Search Ebola Optimization for WMSN,” *Sensors*, vol. 23, no. 4, 2023, doi: 10.3390/s23042218.
- [27] D. Zhao, Z. Zhou, S. Wang, B. Liu, and W. Gaaloul, “Reinforcement learning-enabled efficient data gathering in underground wireless sensor networks,” *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 27, no. 3, pp. 581–598, 2023, doi: 10.1007/s00779-020-01443-x.
- [28] A. K. Rao, K. K. Nagwanshi, and M. K. Shukla, “An optimized secure cluster-based routing protocol for IoT-based WSN structures in smart agriculture with blockchain-based integrity checking,” *Peer-to-Peer Netw. Appl.*, vol. 17, no. 5, pp. 3159–3181, 2024, doi: 10.1007/s12083-024-01748-1.
- [29] S. Bharany, A. Almogren, and A. Altameem, “Optimizing IoT Connectivity: A Quantitative Exploration of the Comprehensive Adaptive Sensing and Clustering System for Smart Sensor Networks in Smart Cities,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 140, no. 1, pp. 353–375, 2025, doi: 10.1007/s11277-024-11719-7.
- [30] C. Zhao, D. Han, C. Li, and H. Wang, “A Blockchain Consensus Mechanism to Optimize Reputation-Based Distributed Energy Trading in Urban Energy System,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 53698–53712, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3387715.
- [31] T. Mahjoub, A. Ben Mnaouer, M. B. Ben Said, and H. Boujemâa, “LoRa signal propagation and path loss prediction in Tunisian date palm oases,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 222, 2024, doi: 10.1016/j.compag.2024.109027.
- [32] S. K. Panda, M. Lin, and T. Zhou, “Energy-Efficient Computation Offloading With DVFS Using Deep Reinforcement Learning for Time-Critical IoT Applications in Edge Computing,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 8, pp. 6611–6621, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2022.3153399.
- [33] Q. Tang, Y. Ren, Z. Shan, C. Bao, and Y. Liu, “Dual-branch aggregation and edge refinement network for few shot semantic segmentation,” *Multimed. Syst.*, vol. 31, no. 2, 2025, doi: 10.1007/s00530-025-01718-4.
- [34] S. Arora and P. K. Atrey, “SecureC2Edit: A Framework for Secure Collaborative and Concurrent Document Editing,” *IEEE Trans. Dependable Secur. Comput.*, vol. 21, no. 4, pp. 2227–2241, 2024, doi: 10.1109/TDSC.2023.3302810.
- [35] P. Ren *et al.*, “Resonance-enhanced hybrid-principle droplet electricity generator based on femtosecond laser-ablated superhydrophobic surface,” *Nano Energy*, vol. 138, 2025, doi: 10.1016/j.nanoen.2025.110829.
- [36] G. Yang *et al.*, “High-efficiency thermal diodes enabled by unidirectional capillary fluid transport and phase change,” *Cell Reports Phys. Sci.*, vol. 6, no. 9, 2025, doi: 10.1016/j.xcrp.2025.102793.
- [37] X. Li *et al.*, “Multiperson Detection and Vital-Sign Sensing Empowered by Space-Time-Coding Reconfigurable Intelligent Surfaces,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 17, pp. 28169–28183, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3400960.
- [38] T. Kawano *et al.*, “Power-Over-Fiber System With Intermittent Operation Based on Capacitor Voltage Estimation for High-Efficiency Energy Charging,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 54999–55006, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3388021.
- [39] Z. Mao, C. Chen, Y. Zhang, K. Suzuki, and Y. Suzuki, “AI-Driven Discovery of Amorphous Fluorinated Polymer Electret with Improved Charge Stability for Energy Harvesting,” *Adv. Mater.*, vol. 36, no. 52, 2024, doi: 10.1002/adma.202303827.
- [40] G. A. Thomopoulos, D. P. Lyras, and C. A. Fidas, “A systematic review and research challenges on phishing cyberattacks from an electroencephalography and gaze-based perspective,” *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 28, no. 3–4, pp. 449–470, 2024, doi: 10.1007/s00779-024-01794-9.
- [41] V. Verma and V. K. Jha, “Secure and Energy-Aware Data Transmission for IoT-WSNs with the Help of Cluster-Based Secure Optimal Routing,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 134, no. 3, pp. 1665–1686, 2024, doi: 10.1007/s11277-024-10983-x.
- [42] S. K. Saranya, S. Nallagonda, Y. K. Choukiker, and A. Bhowmick, “Performance Analysis of a CR-Enabled Energy-Efficient Device-to-Device Network With Ambient Backscattering and NOMA,” *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 38, no. 4, 2025, doi: 10.1002/dac.6005.
- [43] M. A. Saporin, H. Salleh, C. K. Hen, and S. N. A. Amnuruddin, “Performance of A Triboelectric Nanogenerator Utilising Coconut Husk Layer,” *J. Mech. Eng.*, vol. 21, no. 3, pp. 123–143, 2024, doi: 10.24191/jmeche.v21i3.27350.

- [44] M. I. Zabezhailo, "On the Problem of Explaining the Results of Intelligent Data Analysis," *Pattern Recognit. Image Anal.*, vol. 34, no. 3, pp. 498–502, 2024, doi: 10.1134/S1054661824700263.
- [45] M. Markiewicz, P. Dziurdzia, and T. Skotnicki, "Randomly moving thermoelectric energy harvester for wearables and industrial Internet of Things," *Nano Energy*, vol. 126, 2024, doi: 10.1016/j.nanoen.2024.109565.
- [46] R. Chaudhary and N. Kumar, "SecGreen: Secrecy Ensured Power Optimization Scheme for Software-Defined Connected IoV," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 22, no. 4, pp. 2370–2386, 2023, doi: 10.1109/TMC.2021.3116954.
- [47] V. S. Kavarthapu *et al.*, "Wireless Alerts and Data Monitoring from BNNO-MWCNTs/PDMS Composite Film-Based TENG Integrated Inhaler for Smart Healthcare Application," *Small*, vol. 20, no. 44, 2024, doi: 10.1002/sml.202403218.
- [48] R. Khan, A. Mehmood, C. Maple, K. Curran, and H. Song, "Performance Analysis of Blockchain-Enabled Security and Privacy Algorithms in Connected and Autonomous Vehicles: A Comprehensive Review," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 25, no. 6, pp. 4773–4784, 2024, doi: 10.1109/TITS.2023.3341358.
- [49] H. Li, D. He, Q. Feng, and M. Luo, "Verifiable and Forward-Secure Multikeyword Query in Internet of Medical Things," *IEEE Internet Things J.*, vol. 12, no. 13, pp. 23809–23822, 2025, doi: 10.1109/JIOT.2025.3553754.
- [50] M. Boudouane, L. Elmahni, R. Zriouile, and S. A. Ait El Ouahab, "Advancing solar energy harvesting: Artificial intelligence approaches to maximum power point tracking," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 16, no. 1, pp. 55–69, 2025, doi: 10.11591/ijpeds.v16.i1.pp55-69.
- [51] G. Su, C.-C. Chang, C.-C. Lin, and C.-C. Chang, "Towards property-preserving JPEG encryption with structured permutation and adaptive group differentiation," *Vis. Comput.*, vol. 40, no. 9, pp. 6421–6447, 2024, doi: 10.1007/s00371-023-03174-5.
- [52] M. Maravarman, B. Babu, and P. Pitchai, "Horse herd optimised elliptic curve cryptography for secure data aggregation in WSN," *Int. J. Ad Hoc Ubiquitous Comput.*, vol. 46, no. 4, pp. 231–247, 2024, doi: 10.1504/IJAHUC.2024.140442.
- [53] P. Zhu, L. Qin, J. Wang, Y. Li, X. Li, and W. Xie, "Optimized Trajectory and Passive Beamforming for STAR-RIS-Assisted UAV-Empowered O2I WPCN," *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. 13, no. 1, pp. 163–167, 2024, doi: 10.1109/LWC.2023.3324635.
- [54] F. P. E. Putra, A. B. Tamam, R. W. Efendi, and ..., "Optimasi Keamanan DNS: Eksplorasi Optimal dengan Implementasi DNS Security Extensions (DNSSEC)," *REMIK Ris. dan E ...*, 2024, doi: 10.33395/remik.v8i1.13398.
- [55] 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.
- [56] F. P. E. Putra, F. Muslim, N. Hasanah, R. Paradina, and ..., "Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification," *J. Sistim Inf. ...*, 2023, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.