

Smart Agriculture System in Tropical Regions Based on Internet of Things

Sistem Pertanian Cerdas di Wilayah Tropis Berbasis *Internet of Things*

Ricky S. Phandeirot, Meicsy E. I Najoan, Sumenge T. G. Kaunang

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : rickyphandeirot023@student.unsrat.ac.id, meicsynajoan@unsrat.ac.id,
odikaunang@unsrat.ac.id

Received: [date]; revised: [date]; accepted: [date]

Abstract— A smart agriculture system based on the Internet of Things (IoT) was developed to address agricultural challenges in tropical regions, such as extreme climate changes, drought, and excessive water during rainy seasons. The proposed method employs soil moisture sensors, air temperature and humidity sensors, light intensity sensors, and ultrasonic sensors, integrated with an ESP32 microcontroller and the Blynk platform to monitor and control environmental conditions in real-time. This method was chosen for its efficiency in automated management and its suitability for tropical environments. Testing conducted in a greenhouse with patchouli plants demonstrated positive results, maintaining soil moisture above 70%, temperatures between 24–28°C, and air humidity around 70%. The analysis revealed a 2°C discrepancy between temperature readings from the DHT22 sensor and an analog thermometer, highlighting the need for further calibration to enhance accuracy. The process includes automated irrigation, mist spraying, and lighting control, reducing resource waste while increasing agricultural productivity. This system demonstrates its effectiveness as a technological solution to support sustainable agriculture in tropical regions.

Key words— Internet of Things; patchouli plants; smart agriculture; tropical regions;

Abstrak — Sistem pertanian cerdas berbasis Internet of Things (IoT) dikembangkan untuk mengatasi tantangan agrikultur di wilayah tropis, seperti perubahan iklim ekstrem, kekeringan, dan kelebihan air. Metode yang digunakan melibatkan sensor kelembaban tanah, suhu, kelembaban udara, intensitas cahaya, serta sensor ultrasonik, yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan platform Blynk untuk memantau dan mengontrol kondisi lingkungan secara real-time. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam pengelolaan otomatis yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan lingkungan tropis. Pengujian pada greenhouse dengan tanaman nilam menunjukkan hasil positif, di mana sistem berhasil menjaga kelembaban tanah di atas 70%, suhu pada 24–28°C, dan kelembaban udara sekitar 70%. Analisis menunjukkan adanya selisih 2°C antara pembacaan suhu oleh sensor DHT22 dan termometer analog, yang menunjukkan perlunya kalibrasi lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi. Prosesnya mencakup otomatisasi irigasi, penyemprotan embun, dan pengaturan pencahayaan, yang mengurangi pemborosan sumber daya dan meningkatkan produktivitas pertanian. Sistem ini membuktikan efektivitasnya sebagai solusi teknologi untuk keberlanjutan pertanian tropis.

Kata kunci — Internet of Things; pertanian cerdas; tanaman nilam; wilayah tropis

I. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara tropis menghadapi dua musim utama, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Ketidakstabilan iklim dalam beberapa tahun terakhir

menimbulkan tantangan serius dalam sektor pertanian, seperti risiko gagal panen saat musim hujan karena banjir atau serangan penyakit tanaman, serta kesulitan irigasi saat musim kemarau akibat keterbatasan air. Kondisi ini tidak hanya mengganggu produksi, tetapi juga berdampak pada kesejahteraan petani.

Dalam menghadapi tantangan tersebut, dibutuhkan pendekatan yang adaptif dan berbasis teknologi. Salah satu pendekatan yang terus berkembang adalah pemanfaatan sistem pertanian cerdas yang memanfaatkan sensor dan perangkat digital untuk memantau kondisi lingkungan secara langsung. Pengumpulan data lingkungan ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat dan responsif terhadap perubahan cuaca atau kondisi tanah.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pertanian berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memantau suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah secara otomatis. Salah satu contohnya adalah penelitian oleh Junaidi dan Ramadhani (2024), yang merancang sistem irigasi otomatis berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air. Namun, penelitian tersebut belum mengintegrasikan pengendalian intensitas cahaya sebagai faktor penting yang turut memengaruhi proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman, khususnya tanaman aromatik seperti nilam.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pertanian cerdas berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat memantau kondisi lingkungan seperti suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, serta intensitas cahaya. Sistem ini dibangun dengan memanfaatkan berbagai sensor yang terhubung melalui mikrokontroler ESP32 dan didukung oleh platform pemantauan berbasis cloud seperti Blynk dan Firebase. Melalui sistem ini, petani tidak hanya memperoleh data lingkungan secara real-time, tetapi juga dapat mengotomatiskan pengoperasian perangkat pertanian seperti sistem irigasi, kipas pendingin, dan penyemprotan embun. Aspek kebaruan dari penelitian ini terletak pada integrasi fungsi pemantauan intensitas cahaya yang dikendalikan secara otomatis, serta penerapannya yang difokuskan pada budidaya tanaman nilam di lingkungan tropis. Dengan pendekatan ini, sistem diharapkan mampu menjaga stabilitas lingkungan tumbuh tanaman serta mendukung keberlanjutan produksi pertanian meskipun dalam kondisi iklim yang tidak menentu.

II. METODE

A. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah teknologi yang memungkinkan banyak industri, termasuk pertanian, berinteraksi dan bertukar data secara otomatis melalui perangkat fisik yang terhubung ke internet [1]. Berbagai sensor, aktuator, dan sistem komunikasi membentuk ekosistem data yang terintegrasi. Dengan memungkinkan sensor untuk mengukur suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya, dan kelembaban tanah, Internet of Things menawarkan solusi revolusioner untuk pertanian [2]. Untuk analisis real-time, data ini dikirim ke cloud, yang membantu petani membuat keputusan seperti penyiraman, pemupukan, dan perlindungan tanaman. Teknologi Internet of Things meningkatkan produktivitas dengan mengurangi penggunaan sumber daya berlebihan seperti pupuk dan air [3]. Selain itu, membantu praktik pertanian menyesuaikan diri dengan perubahan cuaca, menjadikannya alat penting dalam pertanian modern.

B. Sistem Pertanian Cerdas

Sistem pertanian cerdas, atau pertanian pintar, memanfaatkan teknologi canggih seperti Internet of Things (IoT) untuk mengoptimalkan produksi, mengurangi kerugian, dan meningkatkan efisiensi [4]. Sistem ini secara otomatis mengamati dan mengontrol kondisi lingkungan, yang dapat menghasilkan hasil panen yang lebih baik dengan meminimalkan input yang tidak diperlukan [5]. Dalam praktiknya, pertanian cerdas menggunakan berbagai sensor dan perangkat lunak untuk membantu petani dalam mengelola lahan mereka dengan lebih efektif. Sebagai contoh, sistem irigasi cerdas mampu mengukur kelembaban tanah secara real-time, kemudian mengirimkan data ini ke pusat kontrol yang akan memutuskan kapan dan seberapa banyak air yang dibutuhkan tanaman. Ini menjamin bahwa tanaman menerima jumlah air yang ideal untuk pertumbuhan sekaligus meminimalkan pemborosan air.

Penerapan sistem pertanian cerdas sangat relevan di daerah tropis yang memiliki beragam kondisi iklim yang bisa memengaruhi hasil pertanian [6]. Dengan menggunakan teknologi ini, petani dapat menyesuaikan praktik pertanian mereka dengan perubahan cuaca yang ekstrem. Misalnya, di musim kemarau yang panjang, petani dapat mengelola irigasi dengan lebih efisien untuk menghindari kekurangan air, sementara di musim hujan yang intens, sistem dapat membantu menghindari kelembaban berlebih yang dapat merusak tanaman. Dengan demikian, pertanian cerdas tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga membantu petani mengurangi risiko gagal panen dan meningkatkan keberlanjutan pertanian mereka.

C. Wilayah Tropis dan Tantangan Iklim

Dengan iklim yang ditandai oleh suhu hangat dan fluktuasi curah hujan yang signifikan, daerah tropis terletak di antara garis lintang 23,5 derajat utara dan 23,5 derajat selatan khatulistiwa. Di daerah tropis, pertanian sangat dipengaruhi oleh musim hujan dan musim kemarau. Kondisi lingkungan yang khusus sering kali dibutuhkan oleh tanaman tropis, dan fluktuasi cuaca yang ekstrim dapat menyebabkan stres pada tanaman, menghambat pertumbuhannya, serta menurunkan hasil panen. Hal ini menuntut petani untuk mampu

menyesuaikan praktik pertanian mereka agar dapat bertahan di tengah ketidakpastian iklim yang terjadi sepanjang tahun.

Daerah tropis menghadapi tantangan signifikan dalam mengelola air, terutama selama musim hujan ketika hujan lebat dapat mengakibatkan banjir, genangan air, dan erosi tanah yang merusak tanaman dan menurunkan kesuburan tanah. Sebaliknya, musim kemarau yang panjang dapat menyebabkan kekurangan air, menghambat pertumbuhan tanaman, dan memperlambat proses fotosintesis. Untuk mengatasi masalah ini, petani memerlukan teknologi yang dapat membantu mereka mengelola sumber daya air dengan lebih baik dan menyesuaikan praktik pertanian mereka dengan kondisi cuaca yang berubah-ubah. Dengan menggunakan sensor yang dapat memantau kelembaban tanah, misalnya, petani dapat mengetahui kapan saat yang tepat untuk mengairi tanaman atau mengambil tindakan pencegahan banjir [7].

D. Tanaman Nilam

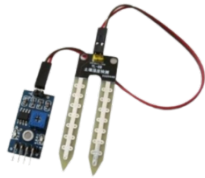
Tanaman nilam (*Pogostemon cablin*) menghasilkan minyak esensial yang sangat berharga, yang dimanfaatkan secara luas dalam industri farmasi, kosmetik, dan wewangian [8]. Untuk mencapai hasil produksi yang optimal, tanaman nilam memerlukan kondisi lingkungan yang sesuai, terutama dalam hal suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya [9]. Suhu yang ideal untuk tanaman nilam berkisar antara 24°C hingga 28°C [10]. Pada suhu ini, tanaman nilam dapat tumbuh dengan baik, memproduksi daun secara optimal, dan menghasilkan minyak atsiri berkualitas tinggi.

Kelembaban udara juga memainkan peran penting dalam mendukung proses fotosintesis dan mengurangi risiko stres pada tanaman nilam. Tingkat kelembaban udara yang ideal untuk tanaman nilam adalah di atas 70%, yang membantu tanaman mempertahankan kandungan air di dalam jaringan dan mencegah kekeringan. Selain kelembaban udara, kelembaban tanah juga sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman nilam. Tanaman nilam membutuhkan kelembaban tanah pada tingkat 75% hingga 100% dari kapasitas lapang [11].

Intensitas cahaya juga menjadi faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman nilam. Tanaman ini membutuhkan intensitas cahaya sekitar 96 lux untuk mendukung proses fotosintesis secara optimal [12]. Jika intensitas cahaya terlalu tinggi, tanaman dapat mengalami stres, sedangkan jika cahaya terlalu rendah, proses fotosintesis akan terganggu, yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman [13]. Dengan mengelola faktor-faktor lingkungan ini dengan baik, produksi minyak atsiri dari tanaman nilam dapat meningkat secara signifikan.



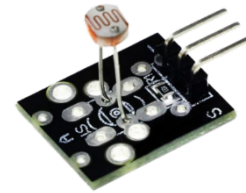
Gambar 1. Sensor DHT22



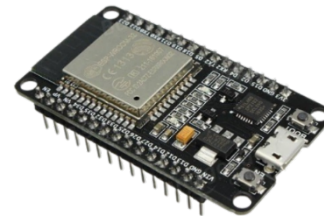
Gambar 2. Sensor Kelembaban Tanah



Gambar 3. Sensor Ultrasonik



Gambar 4. Sensor Intensitas Cahaya



Gambar 5. ESP 32

E. Sensor

Dalam penelitian ini, penggunaan berbagai jenis sensor memainkan peran penting dalam mendukung sistem pertanian cerdas yang efisien. Sensor DHT 22 (Gambar 1), yang mengukur kelembapan dan suhu udara, memberikan informasi penting untuk mengendalikan atmosfer di sekitar tanaman [14]. Selain itu, sensor kelembapan tanah (Gambar 2) memungkinkan pemantauan tingkat kelembapan tanah yang sangat vital untuk menentukan kapan tanaman membutuhkan air, sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya air [15]. Sensor ultrasonik (Gambar 3), yang digunakan untuk mengukur jarak atau ketinggian air, berguna dalam mengatur sistem irigasi dan mencegah terjadinya genangan yang merugikan. Terakhir, sensor intensitas cahaya KY-018 (Gambar 4) berfungsi untuk mengukur tingkat cahaya yang diterima tanaman, yang berpengaruh pada proses fotosintesis dan pertumbuhannya. Semua sensor ini saling mendukung untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih responsif dan efisien.

F. Mikrokontroler ESP 32

Dalam penelitian ini, ESP32 (Gambar 5) digunakan sebagai mikrokontroler utama karena kemampuannya yang andal dalam mendukung sistem berbasis Internet of Things (IoT). Mikrokontroler ini dilengkapi dengan prosesor dual-core Xtensa® 32-bit LX6, serta konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth bawaan, yang memungkinkan komunikasi nirkabel dengan perangkat lain maupun pengiriman data ke cloud secara real-time. Dengan banyaknya pin I/O yang tersedia dan dukungan terhadap berbagai protokol seperti SPI, I2C, UART, dan PWM, ESP32 sangat cocok untuk menghubungkan sensor suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, serta aktuator seperti pompa air dan solenoid valve. Kelebihan ini membuat ESP32 sangat fleksibel untuk mengelola berbagai komponen dalam sistem pertanian cerdas, baik di ruang terbuka maupun di lingkungan greenhouse.

Selain fitur teknisnya yang lengkap, ESP32 juga mendukung pengembangan sistem otomatisasi yang kompleks, seperti pengaturan irigasi otomatis dan kontrol naungan (shade net) berbasis intensitas cahaya. Namun, penggunaan mikrokontroler ini juga menghadirkan tantangan, terutama dalam aspek pemrograman dan manajemen konsumsi daya. Penggunaan **mode hemat energi** seperti *deep sleep* serta integrasi sumber daya alternatif seperti panel surya dapat menjadi solusi untuk operasional di daerah terpencil. Dengan segala keunggulan dan potensi pengembangannya, ESP32 merupakan pilihan ideal dalam penerapan sistem pertanian cerdas yang efisien, adaptif, dan siap menghadapi tantangan lingkungan tropis yang dinamis.

G. Komponen Otomatisasi dalam Sistem Pertanian Cerdas

Dalam penelitian ini, perangkat tambahan seperti pompa air (Gambar 6) digunakan untuk menyalurkan air ke tanaman secara otomatis berdasarkan data kelembapan tanah. Selain itu, penyemprot embun digunakan untuk menjaga kelembapan udara di sekitar tanaman, terutama pada kondisi lingkungan yang kering. Relay (Gambar 7) berperan sebagai penghubung antara sistem kontrol dan perangkat lainnya, memungkinkan otomatisasi pada pengoperasian perangkat seperti pompa air dan solenoid valve. Solenoid valve (gambar 9) sendiri digunakan untuk mengatur aliran air melalui sistem irigasi, membuka atau menutup saluran air sesuai dengan perintah dari mikrokontroler berdasarkan data yang diterima. Semua perangkat ini bekerja bersama untuk menciptakan lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan tanaman dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya, khususnya air, dalam pertanian cerdas.



Gambar 6. Pompa Air



Gambar 7. Relay



Gambar 8. Greenhouse



Gambar 9. Solenoid Valve

H. Desain Sistem

Dengan penekanan khusus pada permasalahan yang dihadapi petani sepanjang musim hujan dan kemarau, penelitian ini berfokus pada penciptaan sistem pertanian pintar berbasis Internet of Things (IoT) yang dimaksudkan untuk menangani masalah lingkungan tropis. Musim kemarau yang panjang dapat menyebabkan kekeringan dan kekurangan pasokan air, sementara musim hujan sering membawa risiko erosi tanah dan banjir. Untuk mengatasi tantangan ini, sistem yang diusulkan akan menggunakan berbagai sensor, termasuk sensor kelembapan tanah, kelembapan udara, intensitas cahaya, dan suhu udara, guna memantau variabel lingkungan secara real-time. Selain itu, sistem ini juga akan diterapkan pada lingkungan *greenhouse* (Gambar 8) (rumah kaca) yang dirancang untuk membantu mengontrol kondisi iklim secara lebih stabil, sehingga dapat meminimalkan dampak ekstrem cuaca dan meningkatkan efisiensi budidaya tanaman di wilayah tropis.

I. Tahapan Penelitian

1. Perancangan Sistem

Sistem dirancang dengan mengintegrasikan berbagai sensor dengan mikrokontroler ESP32. Desain rangkaian dibuat menggunakan diagram blok dan skematik sistem. Aplikasi Blynk digunakan untuk monitoring jarak jauh berbasis cloud.

2. Instalasi dan Integrasi Perangkat

Sensor dipasang di lahan tanam untuk mendeteksi kondisi lingkungan. Mikrokontroler dihubungkan dengan pompa air dan solenoid valve melalui relay untuk memungkinkan kontrol otomatis.

3. Pengumpulan dan Pengambilan Data

Data lingkungan (suhu, kelembapan, intensitas cahaya) dikumpulkan oleh sensor, dikirim melalui ESP32 ke cloud secara real-time. Data ini digunakan sebagai acuan dalam pengambilan keputusan penyiraman atau tindakan lain.

4. Otomatisasi Irigasi

Berdasarkan nilai ambang kelembapan tanah, sistem akan menyalakan atau mematikan pompa air secara otomatis. Kelembapan udara dan suhu udara digunakan untuk memicu sistem penyemprotan embun bila diperlukan.

5. Evaluasi Sistem

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kinerja sistem otomatis terhadap kondisi nyata di lapangan. Efektivitas penyiraman, keakuratan sensor, dan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman nilam dianalisis dalam kurun waktu tertentu.

J. Parameter Pengukuran

Beberapa parameter yang diamati selama penelitian, yaitu:

1. Suhu udara ideal: $24^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$
2. Kelembapan udara: $>70\%$
3. Kelembapan tanah: $75\% - 100\%$ kapasitas lapang
4. Intensitas cahaya: sekitar 96 lux

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1
Kondisi Suhu dan Kelembaban Udara

Hari	Suhu Udara ($^{\circ}\text{C}$)	Kelembaban Udara (%)
	Min-Max (Rata-Rata)	Min-Max (Rata-Rata)
1	27 - 36 (31.5)	80 - 90 (85)
2	28 - 34 (31)	85 - 100 (92.5)
3	26 - 36 (31)	80 - 90 (85)

Tabel 2
Kondisi Kelembaban Tanah dan Intensitas Cahaya

Hari	Kelembaban Tanah (%)	Intensitas Cahaya (lux)
	Min-Max (Rata-Rata)	Min-Max (Rata-Rata)
1	85 - 100 (92.5)	83 - 110 (96.5)
2	88 - 100 (94)	85 - 100 (92.5)
3	87 - 100 (93.5)	80 - 112 (96)

Tabel 1 menyajikan data suhu dan kelembapan udara selama tiga hari pengamatan pada lahan budidaya tanaman nilam. Rata-rata suhu udara berkisar antara 31 hingga $31,5^{\circ}\text{C}$, dengan suhu maksimum mencapai 36°C . Meskipun sedikit melebihi kisaran optimal pertumbuhan nilam ($24^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$), suhu tersebut masih dapat ditoleransi tanaman. Kelembapan udara berada pada rentang 80% hingga 100% , dengan rata-rata harian antara 85% hingga $92,5\%$. Tingginya kelembapan

ini mendukung proses fisiologis tanaman nilam seperti fotosintesis dan transpirasi, serta membantu mengurangi risiko stres akibat kekeringan udara.

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran kelembaban tanah dan intensitas cahaya. Kelembaban tanah cukup tinggi, dengan nilai minimum 85% dan maksimum 100%, serta rata-rata harian antara 92,5% hingga 94%. Kondisi ini ideal bagi pertumbuhan nilam, karena berada dalam kisaran 75%–100% dari kapasitas lapang. Sementara itu, intensitas cahaya tercatat antara 80 hingga 112 lux, dengan rata-rata 92,5 hingga 96,5 lux. Nilai ini mendekati kebutuhan ideal tanaman nilam, yaitu sekitar 96 lux, sehingga pencahayaan di lahan pengamatan dinilai cukup optimal untuk mendukung proses fotosintesis tanpa menimbulkan stres cahaya.

A. Implementasi Sistem

Sistem pertanian cerdas berbasis Internet of Things (IoT) ini dirancang untuk mengotomatisasi pengelolaan lahan pertanian dengan memanfaatkan sensor dan mikrokontroler ESP32. Sistem menggunakan sejumlah sensor, seperti DHT22 untuk suhu dan kelembapan udara, KY-018 untuk intensitas cahaya, sensor kelembapan tanah untuk memantau kadar air dalam tanah, serta sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air dalam tangki. Semua data yang dikumpulkan dari sensor dikirim secara real-time ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses. Berdasarkan data tersebut, sistem dapat mengambil keputusan otomatis, misalnya membuka solenoid valve untuk irigasi ketika kelembaban tanah rendah, atau mengaktifkan exhaust fan saat suhu di dalam *greenhouse* melebihi batas yang ditentukan. Informasi kondisi lingkungan juga ditampilkan secara real-time melalui platform monitoring, sehingga pengguna dapat mengontrol sistem dari jarak jauh.

Mikrokontroler ESP32 menganalisis data berdasarkan logika yang telah diprogram. Ketika parameter lingkungan tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman, ESP32 akan mengirim sinyal untuk mengaktifkan perangkat yang relevan. Sebagai contoh, pompa air dan solenoid valve akan aktif saat kelembaban tanah turun di bawah ambang batas, mist sprayer menyala saat kelembaban udara rendah, dan exhaust fan diaktifkan jika suhu terlalu tinggi. Sensor KY-018 juga memantau intensitas cahaya; jika cahaya tidak mencukupi, sistem dapat memberikan peringatan atau menyalakan lampu tambahan secara otomatis jika terhubung. Semua data kemudian dikirim ke cloud melalui koneksi Wi-Fi pada ESP32 dan ditampilkan pada aplikasi Blynk, memungkinkan pengguna memantau dan mengendalikan sistem secara efisien. Dengan kemampuan pengumpulan data real-time, analisis otomatis, dan kendali jarak jauh, sistem ini mampu menjaga kondisi lingkungan pertanian tetap optimal serta meminimalkan pemborosan air dan energi.

B. Analisis Hasil Pengujian Data

Berdasarkan hasil pengujian sistem, proses pengelolaan irigasi dan kelembaban udara untuk tanaman nilam berjalan dengan baik dan sesuai dengan tujuan. Sistem secara otomatis mengatur kelembaban tanah melalui sensor kelembaban tanah dan solenoid valve, yang aktif ketika tingkat kelembaban turun di bawah 70%, sehingga mampu mengurangi pemborosan dan mengoptimalkan distribusi air. Sensor ultrasonik juga berfungsi efektif dalam mendeteksi ketinggian air di penampungan dan mengaktifkan pompa saat

air berada di bawah batas minimum, menjaga ketersediaan air tetap stabil. Selain itu, sistem penyemprotan embun yang dikendalikan sensor DHT22 bekerja otomatis saat kelembaban udara turun di bawah 60%, membantu menjaga kelembaban mikroklimat *greenhouse* tetap ideal bagi tanaman nilam. Meski sistem telah efektif mendukung pertumbuhan tanaman, beberapa kendala masih ditemukan, seperti tekanan air yang rendah dalam sistem gravitasi dan kestabilan aliran, yang memerlukan pemantauan dan peningkatan desain. Secara keseluruhan, sistem ini menjadi solusi efisien dalam pengelolaan air dan energi, serta memiliki potensi lebih besar jika dilakukan pengembangan lebih lanjut.

C. Evaluasi Kinerja Sistem

Berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi, sistem penyiraman otomatis tanaman nilam berbasis IoT menunjukkan kinerja yang baik dalam menjaga kelembaban tanah, ketinggian air, dan kelembaban udara di dalam *greenhouse* sesuai kebutuhan tanaman. Sistem ini mampu mengatur kelembaban secara real-time, mengaktifkan kipas exhaust dan penyemprotan embun saat suhu dan kelembaban udara melebihi atau turun dari batas ideal, serta mengelola irigasi secara efisien melalui sensor dan aktuator yang terintegrasi. Kemampuan ini tidak hanya meningkatkan hasil pertanian dan efisiensi penggunaan air, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual. Sistem telah berhasil menciptakan lingkungan yang stabil untuk pertumbuhan tanaman nilam tanpa intervensi manual yang signifikan. Meskipun demikian, pengujian lebih lanjut tetap diperlukan, terutama dalam hal pengaturan waktu pengisian air yang lebih presisi dan respons sistem terhadap perubahan ekstrem suhu dan kelembaban. Secara keseluruhan, sistem ini memiliki potensi besar untuk diterapkan lebih luas dalam konteks pertanian cerdas, khususnya di lingkungan *greenhouse* (Gambar 8), guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas secara berkelanjutan.

D. Integrasi dengan Blynk dan Firebase

Integrasi dengan platform Blynk dan Firebase memungkinkan pemantauan dan pengelolaan sistem pertanian cerdas berbasis IoT secara real-time melalui aplikasi mobile dan cloud. Blynk menyediakan antarmuka pengguna yang sederhana dan intuitif sehingga petani dapat mengakses data sensor seperti suhu, kelembaban tanah dan udara, serta ketinggian air di *greenhouse*, sekaligus mengontrol perangkat seperti sistem irigasi, exhaust fan, dan penyemprotan embun secara jarak jauh dan otomatis sesuai kondisi lingkungan. Di sisi lain, Firebase berfungsi sebagai platform cloud untuk menyimpan dan mengelola data secara langsung melalui Firebase Realtime Database, memungkinkan akses cepat, pencatatan riwayat, serta analisis tren dan deteksi masalah di lahan pertanian. Dengan integrasi ini, sistem tidak hanya meningkatkan efisiensi pengelolaan lahan, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan berbasis data yang akurat dan berkelanjutan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian selama tiga hari, sistem pertanian cerdas berbasis IoT yang dikembangkan terbukti mampu menjaga parameter lingkungan sesuai dengan kebutuhan tanaman nilam. Rata-rata suhu udara berada pada 31–31,5°C dan kelembaban udara antara 85–92,5%, dengan

sistem otomatis exhaust fan dan mist sprayer berhasil menjaga kestabilan kondisi iklim mikro. Kelembaban tanah tetap terjaga dalam kisaran optimal 92,5%–94% melalui aktivasi solenoid valve berdasarkan pembacaan sensor, sementara intensitas cahaya tercatat antara 92,5–96,5 lux, mendekati nilai ideal 96 lux untuk fotosintesis. Pompa air dan sensor ultrasonik memastikan ketersediaan air irigasi tetap stabil, serta integrasi dengan Blynk dan Firebase memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem secara real-time. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem berhasil meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi intervensi manual, dan menciptakan lingkungan tumbuh yang sesuai bagi tanaman nilam, sehingga layak untuk dikembangkan lebih lanjut dalam skala yang lebih luas.

Beberapa langkah perbaikan dan pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja sistem pertanian cerdas berbasis IoT ini. Pertama, sensor dan parameter sistem perlu dikalibrasi secara berkala untuk memastikan akurasi, terutama dalam kondisi lingkungan yang ekstrem. Selanjutnya, sistem dapat diintegrasikan dengan modul prediksi cuaca untuk mengantisipasi kebutuhan penyiraman air dan penyesuaian suhu secara lebih efisien. Penelitian lebih lanjut juga dapat mengeksplorasi penerapan sistem pada skala yang lebih besar, seperti lahan terbuka atau sistem pertanian yang lebih kompleks. Selain itu, penggunaan solusi energi terbarukan, seperti panel surya, dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi energi dan menjadikan sistem lebih ramah lingkungan.

KUTIPAN

- [1] S. Dwiyatno, E. Krisnaningsih, D. Ryan Hidayat, and Sulistiyono, "SMART AGRICULTURE MONITORING PENYIRAMAN TANAMAN BERBASIS INTERNET OF THINGS," 2022, doi: <https://doi.org/10.30656/prosisko.v9i1.4669>.
- [2] M. Dhanaraju, P. Chenniappan, K. Ramalingam, S. Pazhanivelan, and R. Kaliaperumal, "Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture," Oct. 01, 2022, *MDPI*. doi: [10.3390/agriculture12101745](https://doi.org/10.3390/agriculture12101745).
- [3] R. Ramadani, "Potensi Internet of Things (IoT) sebagai Sumber Official Statistics Bidang Pertanian (Resi Ramadani) Potensi Internet of Things (IoT) sebagai Sumber Official Statistics Bidang Pertanian," 2023. doi: <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2023i1.1900>.
- [4] W. Budiharto, *Inovasi Digital di Industri Smart Farming: Konsep dan Implementasi*. Unsri Press, 2019. doi: <https://conference.unsri.ac.id/index.php/lahansuboptimal/article/view/1669/899>.
- [5] I. P. Sari, A. Novita, A.-K. Al-Khowarizmi, F. Ramadhani, and A. Satria, "Pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada Bidang Pertanian Menggunakan Arduino UnoR3," *Blend Sains Jurnal Teknik*, vol. 2, no. 4, pp. 337–343, Jun. 2024, doi: [10.56211/blendsains.v2i4.505](https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i4.505).
- [6] G. H. Sandi and Y. Fatma, "PEMANFAATAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS (IOT) PADA BIDANG PERTANIAN," 2023. doi: <https://doi.org/10.36040/jati.v7i1.5892>.
- [7] G. M. Bonde, D. P. M. Ludong, and M. E. I. Najooan, "Smart Agricultural System in Greenhouse based on Internet of Things for Lettuce (*Lactuca sativa* L.)," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 10, no. 1, pp. 9–16, 2021, doi: <https://doi.org/10.35793/jtek.v10i1.31982>.
- [8] K. Ramadhani and Junaidi, "EFEKTIVITAS INTERNET OF THINGS (IOT) PADA SEKTOR PERTANIAN," vol. 4, no. 1, pp. 12–15, 2024, doi: <https://doi.org/10.54314/teknisi.v4i1.1793>.
- [9] Harli, "Identifikasi dan Potensi Perluasan Tanaman Nilam (*Pogostemon cablin* Benth.) di Bawah Tegakan Kakao di Kabupaten Polewali Mandar," 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.35329/agrovital.v1i1.80>.
- [10] M. Rachmaniah and A. Nugraha, "Sistem Pakar Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Nilam Land Suitability Expert Systems for Patchouli Plant," 2018, doi: <https://doi.org/10.29244/jika.5.1.61-73>.

- [11] N. Nasruddin, E. M. Harahap, C. Hanum, and L. A. Siregar, "The Level of Water Supply and its Effect on the Growth of Plants and Yields Patchouli (*Pogostemon Cablin*, Benth.)," *European Alliance for Innovation n.o.*, Oct. 2019. doi: [10.4108/eai.20-1-2018.2282082](https://doi.org/10.4108/eai.20-1-2018.2282082).
- [12] S. Darmanti, Y. Nurchayati, D. Hastuti, and M. Syaifuddin, "Produksi Biomassa Tanaman Nilam (*Pogostemon cablin*) yang Ditanam pada Intensitas Cahaya yang Berbeda," 2009. doi: <https://doi.org/10.14710/baf.v17i1.2532>.
- [13] A. Amrita, N. Setiawan, and A. Tandrianto, "IMPLEMENTASI SISTEM PEMANTAUAN INTENSITAS CAHAYA DENGAN IOT DI PLANT FACTORY KEBUN PERCOBAAN FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS UDAYANA," 2022, doi: <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2022.v09.i02.p12>.
- [14] P. Junior, E. Dharma, and P. Permana, "SMART IRRIGATION BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) MENGGUNAKAN FRAMEWORK FIREBASE PADA TANAMAN TOMAT (STUDI KASUS PADA PERTANIAN TOMAT DI DESA TEGALCANGKRING, KABUPATEN JEMBRANA)," 2023. doi: <https://doi.org/10.36002/jutik.v9i4.2549>.
- [15] B. Anggara, M. Rohmah, and Sugianto, "SISTEM PENGUKUR KELEMBABAN TANAH PERTANIAN DAN PENYIRAMAN OTOMATIS BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," 2018, doi: <http://repository.unim.ac.id/id/eprint/241>.
- [16] M. Walid, A. Fikri, and Hoiriyah, "PENGEMBANGAN SISTEM IRIGASI PERTANIAN BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," 2022. doi: <https://doi.org/10.36040/mnemonic.v5i1.4452>.



Ricky Stefanus Phandeiro. Lahir di Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 24 Juli 2003. Tahun 2008-2009 penulis memulai pendidikan di TK Frater Don Bosco Manado, kemudian melanjutkan ke SD Katolik 03 Frater Don Bosco Manado dari tahun 2009-2015. Penulis kemudian melanjutkan ke SMP Frater Don Bosco Manado 2015-2018 dan melanjutkan ke SMA Frater Don Bosco Manado 2018-2021. Tahun 2021, penulis melanjutkan pendidikan Strata Satu (S1) di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektro.