

Sistem Monitoring Tanaman Stroberi Berdasarkan Parameter Suhu, Kelembaban Tanah dan pH Tanah Berbasis Internet of Things

Strawberry Plant Monitoring System Based on Temperature, Soil Moisture, and Soil pH Parameters Using Internet of Things

Tan Suryani Sollu¹, Alamsyah^{*2}, Aidynal Mustari³, Baso Mukhlis⁴, Yusnaini Arifin⁵, Zulfaizal H.A. Rasyid⁶

^{1,2,3,4,5,6}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako

E-mail : tansuryani@yahoo.com¹, alamsyah.zakaria74@gmail.com^{2*},

aidynalmustari22@untad.ac.id³, basomukhlis@gmail.com⁴, yusnaini.arifin@gmail.com⁵, zulfaizal.rasyid@gmail.com⁶

Received 4 November 2025; Revised 22 November 2025; Accepted 25 November 2025

Abstrak – Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah memberikan peluang besar dalam peningkatan produktivitas pertanian melalui pemantauan kondisi lingkungan secara real time. Tanaman stroberi merupakan komoditas hortikultura yang membutuhkan perhatian khusus terhadap faktor lingkungan, terutama pada kondisi suhu lingkungan, kelembaban tanah, dan pH tanah. Ketiga parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kualitas produksi buah stroberi. Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT yang dirancang untuk mengukur parameter suhu, kelembaban tanah, dan pH tanah pada lahan budidaya tanaman stroberi. Sistem ini memanfaatkan beberapa sensor diantaranya DS18B20 sebagai deteksi suhu lingkungan, YL-69 sebagai deteksi kelembaban tanah, dan sensor soil pH sebagai deteksi pH tanah yang diintegrasikan dengan modul Raspberry Pi sebagai pengolah data dari sensor dan mengirimkan data ke platform melalui aplikasi ThingSpeak secara real time. Untuk memperoleh hasil pengujian yang akurat dilakukan pengambilan data dengan membandingkan hasil pembacaan ke tiga sensor dengan alat ukur yang ada dijual dipasaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan baik dalam memantau kondisi lingkungan tanaman stroberi dan memberikan informasi dengan rata-rata tingkat akurasi untuk kelembaban tanah sebesar 99,985%, pH tanah sebesar 99,907% dan suhu lingkungan sebesar 99,991%. Sistem ini memungkinkan petani dapat melakukan tindakan pengelolaan lahan yang lebih tepat dan sesuai kondisi yang terdeteksi.

Kata Kunci - internet of things, raspberry pi, sensor, stroberi, thingspeak.

Abstract - The development of Internet of Things (IoT) technology has provided an excellent opportunity to increase agricultural productivity through real-time environmental monitoring. Strawberry plants are a horticultural commodity that requires special attention to environmental factors, especially environmental temperature, soil moisture, and soil pH. These three parameters significantly influence strawberry growth and quality. This study developed an IoT-based monitoring system designed to measure temperature, soil moisture, and soil pH parameters in strawberry cultivation areas. This system uses several sensors, including a DS18B20 for environmental temperature detection, a YL-69 for soil moisture detection, and a soil pH sensor for soil pH detection. These sensors are integrated with a Raspberry Pi module that processes sensor data and sends it to the platform via the ThingSpeak application in real Time. To obtain accurate test results, data collection was performed by comparing the readings of the three sensors with those of available measuring instruments. Test results showed that the system performed well in monitoring strawberry plant environmental conditions, providing information with average accuracies of 99.985% for soil moisture, 99.907% for soil pH, and 99.991% for ambient temperature. This system enables farmers to take more precise land management actions based on the detected conditions.

Keywords - internet of things, raspberry pi, sensor, strawberry, thingspeak.

1. PENDAHULUAN

Tanaman stroberi (*fragaria x ananassa*) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang bernilai ekonomi tinggi [1, 2], karena banyak diminati oleh masyarakat [3,4], dan memiliki potensi pasar yang terus meningkat baik di tingkat lokal maupun Di Indonesia, stroberi umumnya dibudidayakan di daerah dengan kondisi agroklimat dataran tinggi yang sejuk, termasuk di Provinsi Sulawesi Tengah, khususnya di Kabupaten Sigi dan Donggala yang memiliki ketinggian dan suhu udara ideal untuk pertumbuhannya. Buah stroberi dikenal memiliki cita rasa manis-asam yang khas serta mengandung berbagai nutrisi penting seperti vitamin C, antioksidan, dan asam folat yang bermanfaat bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu, komoditas ini menjadi salah satu sumber pendapatan yang menjanjikan bagi petani hortikultura di daerah tersebut. Namun demikian, produktivitas dan kualitas buah stroberi sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan [5] yang harus dijaga agar tetap berada pada tingkat optimal [6]. Faktor lingkungan utama seperti suhu udara [7, 8], kelembaban tanah, dan tingkat keasaman (pH) tanah berperan penting dalam proses fisiologis tanaman. Ketidaksesuaian dari salah satu parameter tersebut dapat mengakibatkan stres pada tanaman, menghambat penyerapan unsur hara, menurunkan kualitas buah, serta berpotensi menyebabkan gagal panen jika tidak segera dikendalikan dengan tepat.

Memperkirakan tingkat kelembaban tanah melalui sentuhan, menilai suhu udara berdasarkan perasaan panas atau dingin, serta menebak tingkat keasaman tanah tanpa alat ukur yang memadai. Pendekatan seperti ini tentu memiliki keterbatasan yang signifikan, karena tidak mampu memberikan data yang akurat, terukur, dan *real-time* [9] mengenai kondisi aktual lahan tempat tanaman stroberi dibudidayakan. Akibatnya, keputusan yang diambil oleh petani, seperti waktu penyiraman, dosis pemupukan, atau tindakan perawatan lainnya, sering kali bersifat subjektif dan kurang tepat sasaran. Hal ini dapat berdampak pada menurunnya produktivitas serta kualitas buah yang dihasilkan. Seiring dengan perkembangan era digital dan penerapan konsep pertanian presisi (precision agriculture), teknologi *Internet of Things* (IoT) [10, 11] menawarkan solusi inovatif dalam proses pemantauan kondisi lingkungan tanaman. Melalui integrasi berbagai sensor dan sistem monitoring berbasis jaringan, teknologi ini memungkinkan pengumpulan, pengiriman, dan analisis data secara otomatis, akurat, serta berkelanjutan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih efisien dan tepat waktu dalam pengelolaan budidaya stroberi.

Teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan kemampuan bagi berbagai perangkat sensor untuk bekerja secara otomatis dalam memantau dan mengukur parameter lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan tanaman, seperti suhu udara, kelembaban tanah, serta tingkat keasaman (pH) tanah. Setiap sensor yang terpasang dapat mengumpulkan data secara kontinu dan mengirimkannya secara nirkabel ke server atau *cloud storage* untuk disimpan dan dianalisis lebih lanjut. Data tersebut kemudian dapat diakses dan ditampilkan secara real-time melalui antarmuka berbasis web server maupun aplikasi mobile seperti *ThingSpeak* atau *Blynk*, sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan secara mudah dan interaktif kapan pun dan di mana pun. Melalui sistem ini, petani dapat memperoleh informasi yang akurat dan terkini mengenai kondisi lahan, serta dapat segera mengambil tindakan korektif apabila terdeteksi adanya perubahan lingkungan yang signifikan, seperti penurunan kelembaban tanah atau fluktuasi suhu ekstrem. Penerapan sistem monitoring berbasis IoT ini juga menjadi bagian penting dari konsep smart farming, yaitu pendekatan pertanian modern yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi penggunaan sumber daya seperti air dan pupuk, serta mendukung praktik pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dengan demikian, IoT berperan strategis dalam transformasi sektor pertanian menuju era pertanian cerdas dan adaptif terhadap perubahan iklim.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring lingkungan berbasis IoT pada berbagai tanaman, seperti padi [12, 13], cabai [14], dan tomat [15]. Sistem tersebut umumnya berfokus pada pemantauan kondisi lingkungan tertentu seperti suhu udara, kelembaban tanah, atau intensitas cahaya guna mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

Namun, pengembangan sistem monitoring spesifik untuk tanaman stroberi masih terbatas, terutama yang mencakup pemantauan suhu, kelembaban tanah, dan pH tanah secara bersamaan dengan antarmuka data yang mudah diakses oleh petani. Padahal, ketiga parameter tersebut merupakan faktor utama yang sangat berpengaruh terhadap fase pertumbuhan vegetatif maupun generatif tanaman stroberi. Secara fisiologis, stroberi tumbuh optimal pada suhu berkisar antara 17–25°C, dengan tingkat kelembaban tanah ideal sebesar 60–80%, serta pH tanah dalam rentang 5,5–6,5. Ketidaksesuaian nilai dari salah satu parameter ini dapat mengganggu proses penyerapan unsur hara, menghambat pertumbuhan, serta menimbulkan stres fisiologis yang berdampak pada penurunan kualitas dan kuantitas buah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan berbasis IoT yang mampu menyediakan informasi kondisi lingkungan tanaman secara real-time, sehingga petani dapat melakukan tindakan pengelolaan yang tepat guna mengoptimalkan pertumbuhan dan produktivitas stroberi secara berkelanjutan.

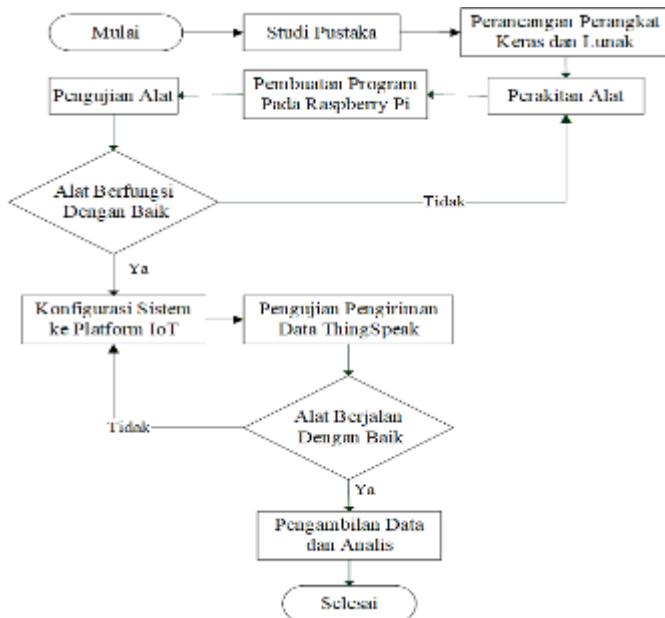
Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan pengembangan suatu sistem monitoring yang mampu mengukur dan memantau parameter lingkungan utama yang meliputi suhu udara, kelembaban tanah, dan pH tanah pada tanaman stroberi secara otomatis dan *real-time*. Sistem ini dirancang dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan integrasi antara perangkat sensor, pengendali utama, serta *platform* berbasis web untuk mempermudah proses pengumpulan dan analisis data. Dalam rancangan ini, Raspberry Pi digunakan sebagai unit pengendali utama (*main controller*) yang berfungsi mengelola data dari beberapa sensor, yaitu sensor DS18B20 untuk pengukuran suhu, sensor YL-69 untuk kelembaban tanah, dan sensor Soil pH untuk mendeteksi tingkat keasaman tanah. Setiap sensor akan mengirimkan hasil pembacaan data ke Raspberry Pi yang selanjutnya mengolah dan meneruskannya melalui jaringan internet menuju server atau *cloud platform*. Data yang telah dikirimkan akan ditampilkan dalam bentuk grafik, tabel, serta dashboard monitoring interaktif berbasis web, sehingga pengguna terutama petani dapat memantau kondisi lingkungan tanaman secara visual dan mudah dipahami. Dengan sistem ini, diharapkan proses pengawasan terhadap kondisi tumbuh tanaman stroberi menjadi lebih efisien, akurat, dan dapat dilakukan dari jarak jauh untuk mendukung praktik pertanian modern yang berbasis data (*data-driven agriculture*).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen (*experimental research*) dengan metode prototyping, yaitu pendekatan yang menekankan pada proses perancangan, pembangunan, dan pengujian langsung sistem monitoring untuk mengukur suhu, kelembaban tanah, dan pH tanah pada tanaman stroberi berbasis *Internet of Things* (IoT). Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk melakukan pengembangan sistem secara bertahap melalui proses evaluasi dan penyempurnaan berdasarkan hasil pengujian nyata di lapangan. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menghasilkan suatu sistem monitoring yang mampu melakukan akuisisi data lingkungan secara real time, mengirimkan data tersebut ke *platform* IoT, dan menampilkannya dalam bentuk visual yang informatif melalui aplikasi *ThingSpeak*.

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis dan meliputi beberapa langkah utama, yaitu: (1) studi literatur untuk mengumpulkan referensi terkait teknologi IoT dan kebutuhan parameter lingkungan tanaman stroberi; (2) perancangan sistem yang mencakup skema perangkat keras, pemilihan sensor, serta pembuatan program utama pada Raspberry Pi; (3) implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, termasuk integrasi sensor dengan modul pengendali; (4) pemrograman sistem monitoring untuk komunikasi data dan antarmuka; (5) pengujian alat dan konfigurasi sistem terhadap platform *ThingSpeak*; serta (6) pengambilan data dan analisis hasil pengujian untuk mengevaluasi kinerja dan tingkat akurasi sistem secara keseluruhan.

2.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

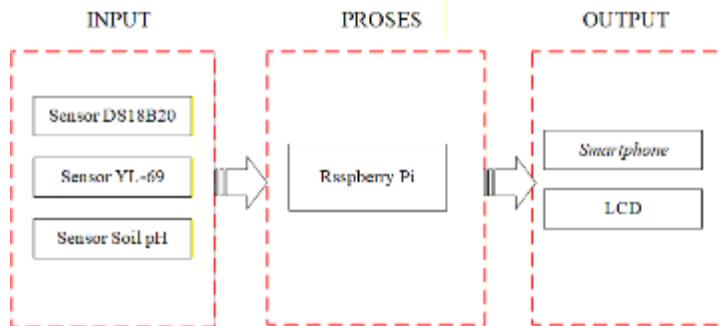
Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian yang dimulai dari tahapan: 1) studi pustaka, dimana tahapan ini dilakukan penelusuran dan mengacu referensi yang sesuai dengan penelitian terkait, khususnya penelitian yang membahas sistem monitoring tanaman stroberi berbasis IoT; 2) perancangan perangkat keras dan lunak, dimana tahapan ini dibuat arsitektur sistem, rangkaian sensor, dan alur kerja program yang meliputi: perancangan blok diagram dan skematik, perancangan alur data dan perancangan tampilan dashboard. Sedangkan pembuatan program dilakukan menggunakan bahasa python pada sistem operasi Raspberry Pi OS. Struktur program terdiri dari tiga modul utama yaitu modul akuisisi data, modul komunikasi IoT, dan modul tampilan dan logging; 3) pengujian sistem, dimana tahapan ini dilakukan pengujian akurasi sensor dan kinerja sistem IoT; 4) pengambilan data, tahapan ini seluruh sensor dikumpulkan dalam periode tertentu. Data yang dikumpulkan meliputi parameter lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan tanaman stroberi seperti suhu tanah, pH tanah, dan kelembaban tanah, dan 5) analisis data, dimana tahapan ini dilakukan untuk menilai akurasi sensor, stabilitas sistem IoT, serta validitas hasil pengukuran terhadap alat ukur pembanding. Tahapan ini terdiri atas beberapa langkah yaitu pengumpulan data, validasi data, dan analisis akurasi sensor.

2.2. Diagram Blok

Gambar 2 menunjukkan diagram blok sistem monitoring tanaman stroberi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terdiri atas tiga unit utama, yaitu unit input, unit proses, dan unit output. Ketiga unit tersebut saling terintegrasi untuk melakukan akuisisi data lingkungan, pengolahan informasi, serta penyajian hasil pengukuran secara real time guna mendukung pemantauan kondisi pertumbuhan tanaman stroberi. Pada unit input, sistem dilengkapi dengan beberapa sensor utama yang berfungsi mengukur parameter lingkungan penting. Sensor DS18B20 digunakan untuk mendeteksi dan mengukur suhu tanah secara akurat, sedangkan sensor YL-69 berfungsi untuk mendeteksi tingkat kelembaban tanah yang memengaruhi ketersediaan air bagi tanaman. Selain itu, sensor Soil pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman (pH) tanah yang berperan penting dalam proses penyerapan unsur hara oleh tanaman. Seluruh data hasil pengukuran dari ketiga sensor ini akan dikirimkan ke unit proses.

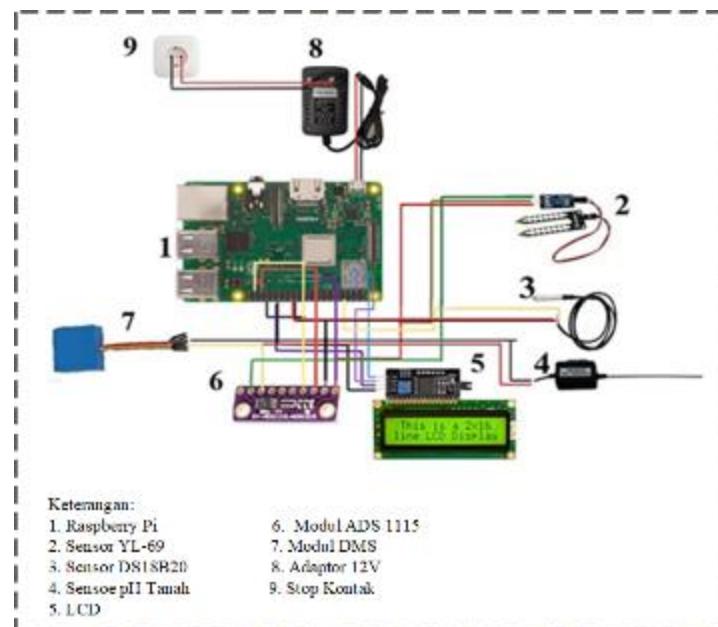
Pada unit proses, digunakan Raspberry Pi sebagai pengendali utama yang bertugas menerima, mengolah, dan mengonversi data dari sensor menjadi informasi yang siap ditampilkan.

Hasil pengolahan data tersebut kemudian dikirimkan ke unit output, yang terdiri dari layar LCD untuk menampilkan hasil pengukuran secara lokal, serta platform ThingSpeak yang dapat diakses melalui smartphone. Dengan demikian, sistem ini memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan tanaman stroberi secara efisien, akurat, dan jarak jauh.



Gambar 2. Diagram blok penelitian

2.3. Skema Rancangan Alat



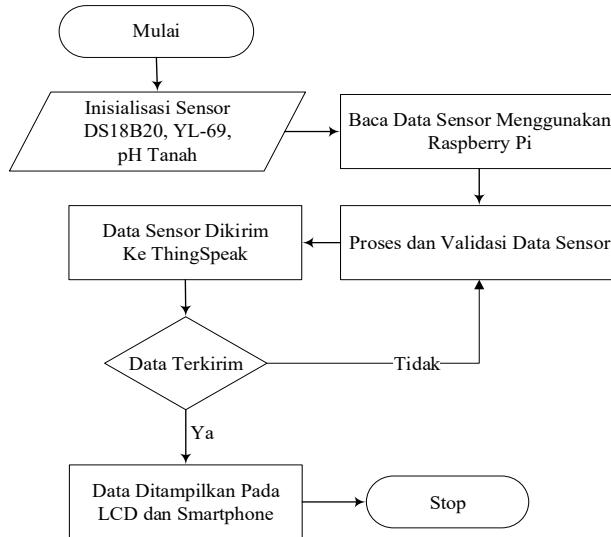
Gambar 3. Skema rancangan alat

Gambar 3 menunjukkan skema rangkaian sistem monitoring tanaman stroberi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menggambarkan keterhubungan antar komponen utama dalam sistem secara menyeluruh. Rangkaian ini dirancang untuk melakukan akuisisi, pemrosesan, dan pengiriman data secara otomatis dari berbagai sensor lingkungan menuju *platform monitoring* daring. Secara umum, skematik sistem ini terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu: (1) modul Raspberry Pi, (2) sensor YL-69, (3) sensor DS18B20, (4) sensor pH tanah, (5) LCD display, (6) modul ADS1115, (7) modul DMS, (8) adaptor 12V, dan (9) stop kontak sebagai sumber listrik utama.

Modul Raspberry Pi berperan sebagai pusat kendali sistem (main controller) yang mengatur komunikasi data antar sensor serta mengirimkan hasil pengukuran ke platform ThingSpeak melalui koneksi internet. Sensor YL-69 digunakan untuk mendeteksi kelembaban tanah, sedangkan sensor DS18B20 berfungsi mengukur suhu lingkungan di sekitar tanaman

stroberi. Sensor pH tanah bertugas mendeteksi tingkat keasaman media tanam. Data analog dari sensor diubah menjadi data digital menggunakan modul ADS1115 sebelum dikirim ke Raspberry Pi agar pembacaan lebih akurat. Hasil pengolahan data ditampilkan secara lokal melalui LCD display dan dapat diakses secara daring melalui modul DMS. Seluruh sistem mendapat suplai daya dari adaptor 12V yang terhubung ke stop kontak listrik, memastikan perangkat beroperasi secara stabil dan berkelanjutan selama proses pemantauan berlangsung.

2.4. Prinsip Kerja Alat



Gambar 4. Prinsip kerja alat

Gambar 4 menunjukkan diagram alir prinsip kerja alat sistem monitoring tanaman stroberi menggunakan Raspberry Pi yang terintegrasi dengan IoT melalui aplikasi *ThingSpeak* pada *smartphone*. Setelah alat dioperasikan, Raspberry Pi melakukan inisialisasi sensor serta koneksi jaringan, kemudian mengakuisisi data dari sensor DS18B20 untuk suhu, sensor pH tanah, dan sensor *soil moisture*. Data yang diperoleh, selanjutnya diproses melalui tahapan kalibrasi dan konversi sehingga menghasilkan nilai yang sesuai dengan parameter lingkungan yang diukur. Hasil pemrosesan tersebut ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke *platform ThingSpeak* menggunakan protokol komunikasi berbasis API. *ThingSpeak* akan menyimpan data secara time-series, menampilkan visualisasi dalam bentuk grafik, serta menyediakan fitur analitik lanjutan untuk mendukung interpretasi data. Dengan demikian, sistem ini mampu mengambil data dari sensor, mengolah, dan menyajikan secara *real-time* baik secara lokal maupun melalui *cloud*, sehingga informasi yang diperoleh menjadi lebih terstruktur, terorganisir, dan mudah diakses dari berbagai perangkat.

2.5. Evaluasi Penelitian

Evaluasi penelitian dilakukan untuk menilai tingkat akurasi sensor, stabilitas kinerja sistem IoT, serta aspek fungsionalitas dari sudut pandang pengguna. Setiap jenis evaluasi dilakukan dengan pendekatan kuantitatif maupun kualitatif sehingga mampu memberikan gambaran komprehensif terhadap efektivitas sistem monitoring yang telah dikembangkan.

A. Evaluasi Akurasi Sensor

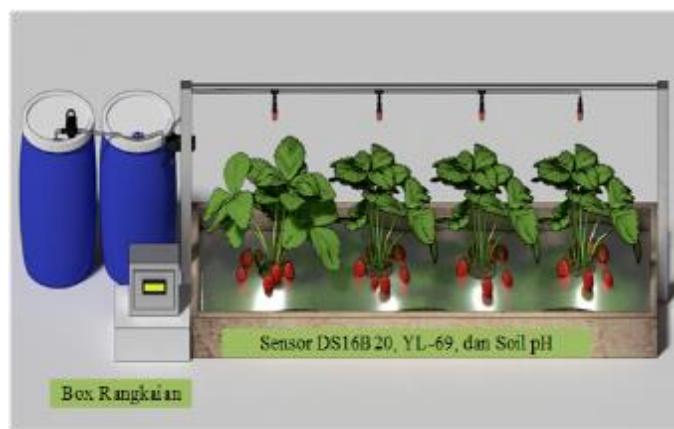
Evaluasi akurasi sensor bertujuan untuk menentukan sejauh mana hasil pengukuran masing-masing sensor (suhu, kelembaban tanah, dan pH tanah) sesuai dengan hasil pengukuran alat referensi yang telah terstandarisasi. Pengujian dilakukan secara sistematis menggunakan metode perbandingan langsung (*direct comparison method*), di mana setiap data yang dihasilkan

oleh sensor IoT dicatat bersamaan dengan data dari alat ukur referensi pada kondisi dan waktu yang sama. Hasil evaluasi dibandingkan dengan standar akurasi sensor yang direkomendasikan dalam literatur atau pedoman teknis. Sensor dinyatakan memenuhi kriteria apabila nilai *error* berada di bawah batas toleransi dan hubungan korelatif menunjukkan nilai yang signifikan.

B. Evaluasi Kinerja Sistem IoT

Evaluasi kinerja sistem IoT dilakukan dengan cara menguji akurasi sensor, keandalan transmisi data, waktu respons sistem, serta stabilitas pengiriman data ke platform IoT. Tahapan ini tidak hanya menentukan kualitas hasil pengukuran, tetapi juga memastikan bahwa sistem berbasis IoT dapat diterapkan dalam kondisi lingkungan nyata secara berkelanjutan dan konsisten. Secara umum, evaluasi kinerja sistem IoT pada penelitian ini mencakup evaluasi akurasi sensor dan evaluasi performa komunikasi dan keterandalan jaringan.

2.6. Desain Alat



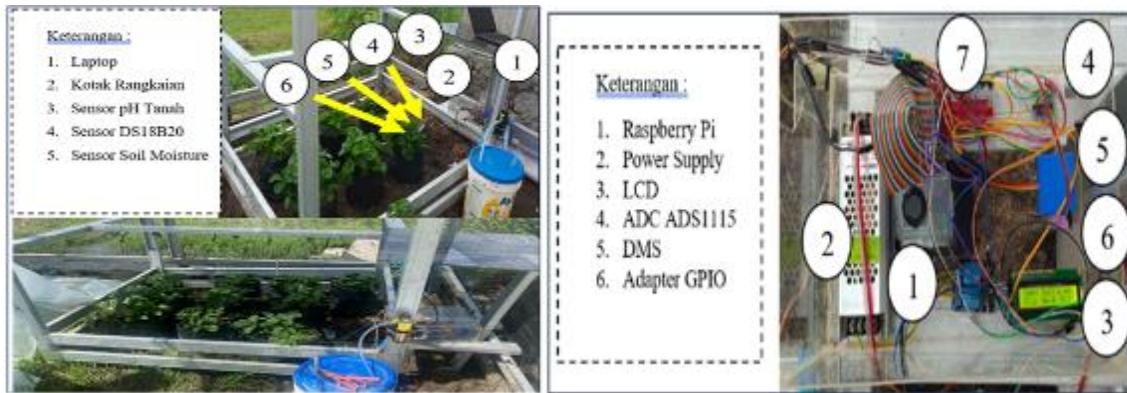
Gambar 5. Desain alat monitoring tanaman stroberi

Gambar 5 menunjukkan tampilan sistem monitoring tanaman stroberi *berbasis Internet of Things* (IoT) yang telah dirancang secara terintegrasi menggunakan box rangkaian sebagai pusat kendali utama berbasis Raspberry Pi. Box ini berfungsi sebagai wadah pengendali sistem sekaligus pelindung seluruh komponen elektronik dari gangguan lingkungan luar seperti kelembaban udara, debu, dan percikan air. Di dalamnya, terpasang modul Raspberry Pi yang bertugas sebagai otak sistem untuk menerima, mengolah, dan mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke *platform* monitoring daring.

Sistem monitoring ini dilengkapi dengan tiga jenis sensor utama, yaitu sensor pH tanah yang berfungsi mendeteksi tingkat keasaman tanah sebagai indikator ketersediaan unsur hara bagi tanaman, sensor kelembaban tanah (YL-69) yang digunakan untuk mengukur kadar air dalam media tanam agar penyiraman dapat dilakukan secara efisien, serta sensor suhu DS18B20 yang berfungsi memantau suhu lingkungan di sekitar area budidaya stroberi. Ketiga sensor tersebut dipasang di area pertanaman dan dihubungkan langsung ke pusat kendali melalui jalur kabel yang telah diatur dengan rapi di dalam box sistem. Seluruh komponen bekerja secara terpadu untuk melakukan akuisisi data lingkungan secara otomatis, yang selanjutnya diproses oleh Raspberry Pi dan ditampilkan secara real time melalui LCD display serta platform ThingSpeak. Dengan rancangan ini, sistem mampu memberikan informasi akurat dan terkini mengenai kondisi lingkungan tanaman stroberi, sehingga petani dapat melakukan pengambilan keputusan yang cepat dan tepat dalam pengelolaan budidaya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Rancangan Alat



Gambar 6. Hasil rancangan sistem kontrol monitoring tanaman stroberi

Gambar 6 menunjukkan hasil rancangan alat dan sistem kontrol monitoring tanaman stroberi berbasis IoT. Sistem ini dirancang untuk mengamati atau mendeteksi parameter-parameter penting yang mempengaruhi kondisi pertumbuhan tanaman stroberi seperti pH tanah, suhu tanah (DS18B20), dan kelembaban tanah (YL-69). Seluruh sensor terintegrasi dalam satu sistem yang dikendalikan oleh modul Raspberry Pi dan dipasang secara langsung di sekitar area tanaman stroberi. Selanjutnya, pada rangkaian pengontrol sistem monitoring tanaman stroberi yang dilengkapi kotak alat yang berbentuk persegi didalamnya terdapat raspberry pi, power suplay, LCD, ADC ADS1115, DMS, Sensor GUVA-S12SD, dan adapter GPIO.

3.2. Pengujian Sistem

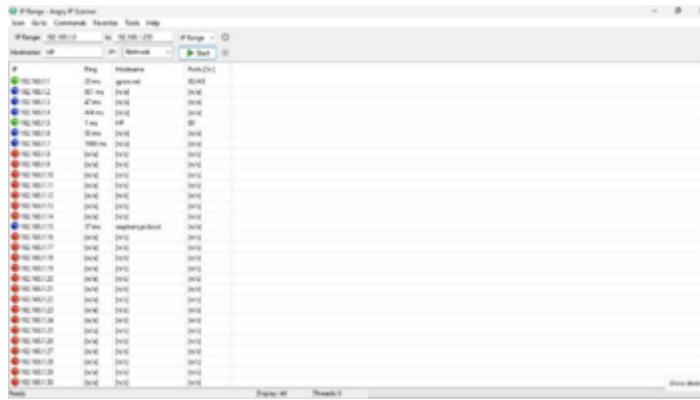
Pengujian sistem dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak pada alat yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik, stabil, dan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Tahapan pengujian ini berperan penting dalam memverifikasi kinerja sistem secara keseluruhan, baik dari sisi akurasi data, keandalan operasi, maupun integrasi antar komponen. Proses pengujian dilakukan melalui serangkaian percobaan yang dirancang untuk mengevaluasi fungsi setiap modul, mulai dari proses akuisisi data hingga pengiriman informasi ke sistem utama berbasis Raspberry Pi. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen input yang meliputi sensor pH tanah, YL-69, dan DS18B20 dapat memberikan keluaran yang stabil dan representatif terhadap kondisi aktual di lapangan.

Setiap percobaan dilakukan secara bertahap dengan mencatat nilai keluaran sensor, waktu respon sistem, serta kestabilan komunikasi data antara sensor dan unit pengendali. Apabila ditemukan perbedaan nilai yang signifikan antara hasil pengukuran alat dengan nilai referensi, maka dilakukan kalibrasi dan analisis kesalahan untuk menentukan penyebab serta tingkat deviasi yang terjadi.

3.2.1 Pengujian Raspberry Pi

Pengujian terhadap Raspberry Pi dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat ini mampu menjalankan fungsinya secara optimal sebagai unit pemrosesan utama dalam sistem monitoring tanaman. Tahapan awal pengujian dimulai dengan menghubungkan Raspberry Pi ke sumber daya listrik menggunakan adaptor bertegangan 5V/3A melalui port USB-C, yang merupakan jalur utama suplai daya bagi perangkat. Setelah proses booting berhasil, Raspberry Pi dapat diakses melalui antarmuka grafis dengan menggunakan monitor, keyboard, dan mouse, atau secara remote melalui jaringan lokal dengan memanfaatkan protokol SSH (*Secure Shell*).

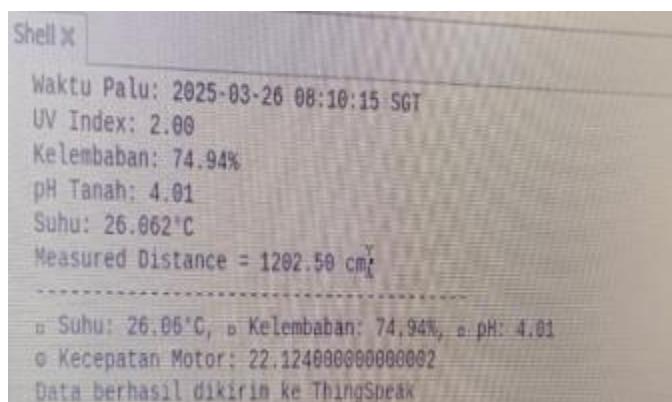
Langkah selanjutnya dalam proses pengujian adalah verifikasi fungsionalitas *General Purpose Input/Output* (GPIO) untuk memastikan kemampuannya dalam membaca data dari sensor digital dan mengirimkan sinyal kontrol. Untuk sensor yang menghasilkan sinyal analog seperti sensor kelembaban tanah analog dan sensor pH tanah diperlukan konversi data analog ke digital yang dilakukan oleh modul ADS1115 melalui komunikasi menggunakan protokol I₂C. Setelah itu pengujian dilanjutkan dengan menjalankan skrip python yang dirancang untuk membaca data dari setiap sensor secara individual.



Gambar 7. Pengujian koneksi Raspberry Pi

Gambar 8 menunjukkan penggunaan aplikasi Angry IP Scanner untuk mendeteksi perangkat yang terhubung dalam satu jaringan lokal (IP Range 192.168.1.0 – 192.168.1.255). Hasil pemindaian memperlihatkan adanya perangkat dengan *hostname raspberrypi.local* yang aktif dengan IP address 192.168.1.16 serta waktu ping sebesar 37 ms. Data ini menegaskan bahwa perangkat Raspberry Pi telah berhasil terkoneksi dengan jaringan dan dapat diakses oleh perangkat lain dalam jaringan yang sama. Respons ping yang relatif rendah menunjukkan koneksi yang stabil dan siap digunakan untuk pengujian lebih lanjut.

3.2.2 Pengujian Sensor Suhu, pH dan Kelembaban



Gambar 8. Hasil pengujian sensor suhu, pH dan kelembaban

Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian sensor. Sensor suhu yang digunakan dalam sistem ini adalah DS18B20. Sensor ini menghasilkan data dalam bentuk digital sehingga dapat langsung dihubungkan ke GPIO Raspberry Pi. Sinyal data dari sensor suhu masuk ke pin digital GPIO, sedangkan kabel VCC dan GND memberikan daya ke sensor. Raspberry Pi membaca data suhu secara berkala dan memprosesnya secara langsung.

Untuk sensor pH tanah menghasilkan sinyal dalam bentuk analog. Untuk itu, sinyal dari sensor pH tidak langsung masuk ke Raspberry Pi, melainkan melalui jalur analog lain yang masuk ke kanal berbeda pada modul ADS1115. Proses konversi melalui *analog to digital converter* (ADC) sehingga Raspberry Pi dapat membaca nilai pH dalam bentuk digital. Setelah data sensor pH dikonversi oleh ADS1115, Raspberry Pi akan mengolahnya dan siap untuk ditampilkan. Sedangkan sensor kelembaban tanah (YL-69) bekerja dengan cara mengukur kadar air di dalam tanah dan menghasilkan sinyal analog. Karena Raspberry Pi tidak dapat membaca sinyal analog secara langsung, sensor ini dihubungkan terlebih dahulu ke modul ADS1115 yang berfungsi sebagai konverter *analog-ke-digital* (ADC). Dari ADS1115, data kelembaban dikirim ke Raspberry Pi melalui protokol I₂C.

3.2.3 Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan melalui serangkaian percobaan sebanyak 15 kali pengulangan pada masing-masing sensor dengan variasi kondisi waktu pengamatan yang berbeda pada tanaman stroberi sebagai objek uji. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan konsistensi kinerja sensor, meliputi sensor pH tanah, sensor kelembaban tanah, serta sensor suhu DS18B20, dalam mendeteksi parameter lingkungan secara tepat. Setiap pengujian dilakukan dengan memperhatikan faktor waktu dan kondisi lingkungan untuk memperoleh gambaran performa sensor dalam situasi nyata di lapangan.

Selain menguji kinerja individual sensor, pengujian juga difokuskan pada keandalan sistem dalam proses akuisisi, transmisi, dan visualisasi data secara *real-time*. Data hasil pembacaan sensor dikirim secara otomatis melalui modul komunikasi yang terintegrasi dengan Raspberry Pi menuju platform IoT menggunakan *ThingSpeak*, sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanah dan lingkungan tanaman secara langsung dan jarak jauh melalui antarmuka berbasis web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dan responsif, dengan tingkat keberhasilan tinggi dalam memantau kondisi tanah yang meliputi nilai pH, kelembaban, serta suhu tanah secara berkesinambungan. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dinilai efektif dan reliabel untuk digunakan sebagai alat bantu monitoring tanaman stroberi berbasis IoT. Implementasi sistem ini berpotensi memberikan dukungan signifikan terhadap efisiensi pengambilan keputusan dalam kegiatan budidaya tanaman, khususnya dalam pengaturan penyiraman, pemupukan, serta perawatan tanaman secara lebih tepat, efisien, dan berbasis data *real-time*.

Tabel 1. Pengukuran sensor suhu

Waktu (WITA)	Termohigrometer (°C)	Sensor DS18B20	Error (%)
07:00	26,3	26	0,011
12:00	32,1	31,8	0,009
17:00	28,7	28,3	0,013
07:00	26,5	26,2	0,011
12:00	29,1	28,8	0,010
17:00	29	28,7	0,010
07:00	26,4	26,1	0,011
12:00	31,6	31,3	0,009
17:00	29	28,8	0,006
07:00	26,2	26	0,007
12:00	29,9	29,6	0,010
17:00	29,2	29	0,006
07:00	25,8	25,6	0,007
12:00	32,1	31,8	0,009
17:00	28,5	28,3	0,007
Rata-rata			0,009

Tabel 1 menunjukkan tabel perbandingan nilai data suhu tanah pada tanaman stroberi menggunakan termohigrometer dan sensor suhu DS18B20. Percobaan ini dilakukan sebanyak 15 kali untuk melihat tingkat kesalahan pengukuran nilai data sensor suhu. Dari hasil data tersebut diperoleh bahwa selama lima hari dalam selang waktu yang berbeda (07:00, 12:00, dan 17:00 WITA). Parameter suhu lingkungan menunjukkan fluktuasi harian dalam rentang 25,6°C hingga 31,8°C dengan rata-rata 28,42°C. Peningkatan suhu secara signifikan terjadi pada pukul 12:00 WITA. Berdasarkan literatur agronomi, suhu ideal untuk pertumbuhan tanaman stroberi berkisar antara 18°C hingga 26°C. Dengan demikian, suhu aktual yang tercatat dalam penelitian ini menunjukkan bahwa lingkungan cenderung panas pada siang hari. Suhu di atas ambang batas optimal dapat mengakibatkan stres termal pada tanaman, meningkatkan laju evaporasi tanah, dan mengurangi efisiensi fotosintesis. Untuk mengatasi kondisi ini, diperlukan strategi mitigasi seperti pemasangan sistem peneduh (shading system) dan pengaturan waktu penyiraman pada pagi hari guna menurunkan suhu tanah dan menjaga kelembaban di sekitar tanaman.

Selisih yang terjadi pada setiap pengukuran disebabkan oleh beberapa faktor termasuk perbedaan sensitivitas alat, posisi peletakan sensor, atau waktu pembacaan data masing-masing alat. Namun demikian, sensor DS18B20 memberikan hasil pengukuran suhu yang mendekati alat ukur referensi. Dengan demikian, tingkat akurasi sensor suhu tanah dalam melakukan pembacaan sebesar 99,991%.

Tabel 2. Pengukuran sensor kelembaban tanah

Waktu (WITA)	Soil Moisture	Sensor YL-69	Error (%)
07:00	74	73	0,013
12:00	79,2	78,6	0,007
17:00	78,8	78,3	0,006
07:00	81,3	80	0,016
12:00	80,9	79,7	0,014
17:00	80,9	80,1	0,009
07:00	78,7	77,6	0,014
12:00	76,5	74,8	0,022
17:00	71,8	69,7	0,029
07:00	70,8	60,8	0,014
12:00	89	87,3	0,019
17:00	86	84,8	0,014
07:00	92,4	91,1	0,014
12:00	80	78,6	0,017
17:00	86,2	85,3	0,010
Rata-rata			0,015

Tabel 2 menyajikan hasil perbandingan nilai kelembaban tanah pada tanaman stroberi yang diperoleh dari dua metode pengukuran, yaitu menggunakan alat soil moisture pH detector analyzer manual dan sensor kelembaban tanah berbasis sistem monitoring IoT yang dikembangkan. Pengujian dilakukan melalui 15 kali percobaan dengan interval waktu pengamatan yang berbeda untuk memastikan konsistensi dan akurasi sensor terhadap kondisi aktual di lapangan. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi tingkat akurasi pembacaan sensor kelembaban tanah dengan membandingkan hasilnya terhadap alat ukur manual sebagai nilai acuan (ground truth) serta menghitung tingkat kesalahan (error) dari data pengukuran.

Berdasarkan hasil pengamatan, kelembaban tanah pada tanaman stroberi berada pada rentang 60,8% hingga 91,1%, dengan rata-rata kelembaban sebesar 78,65%. Nilai kelembaban tertinggi tercatat pada hari kelima pukul 07.00 WITA, sedangkan nilai terendah terjadi pada hari keempat pukul 07.00 WITA. Variasi nilai ini menunjukkan adanya perubahan kadar air tanah

yang dipengaruhi oleh waktu penyiraman, intensitas cahaya matahari, dan laju evaporasi tanah. Secara umum, nilai kelembaban yang terukur berada pada kategori ideal hingga sangat lembab, mengingat kisaran kelembaban optimal bagi pertumbuhan tanaman stroberi berada pada 60% hingga 80%. Namun demikian, pada beberapa titik pengamatan ditemukan nilai kelembaban yang melebihi 85%, yang mengindikasikan adanya potensi kejemuhan air pada media tanam. Kondisi ini berisiko menyebabkan penurunan aerasi tanah dan gangguan pernapasan akar, yang pada akhirnya dapat meningkatkan risiko penyakit akar seperti busuk akar akibat kurangnya sirkulasi udara di sekitar sistem perakaran. Dengan adanya sistem monitoring berbasis IoT ini, pengguna dapat memantau kelembaban tanah secara real-time dan mengambil keputusan penyiraman secara lebih presisi dan adaptif terhadap kondisi aktual lahan.

Tabel 3. Pengukuran sensor kelembaban tanah

Waktu (WITA)	Soil Moisture pH	Sensor pH Tanah	Error (%)
07:00	9	8	0,111
12:00	5	4	0,200
17:00	4,5	4	0,111
07:00	5	4	0,200
12:00	4,3	4	0,069
17:00	4,4	4	0,090
07:00	4,2	4	0,047
12:00	4,1	4	0,024
17:00	4,3	4	0,069
07:00	4,5	4	0,011
12:00	4,6	4	0,130
17:00	4,1	4	0,024
07:00	4,2	4	0,048
12:00	4,4	4	0,091
17:00	4,3	4	0,069
Rata-rata			0,093

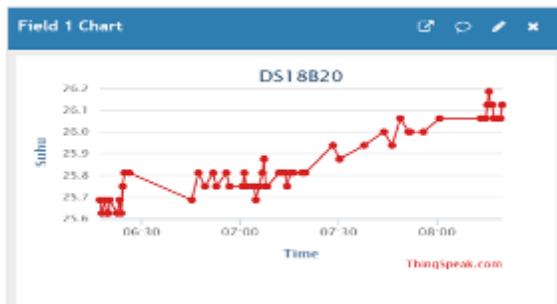
Tabel 3 menyajikan hasil perbandingan nilai pH tanah pada tanaman stroberi yang diperoleh melalui dua metode pengukuran, yaitu menggunakan alat ukur manual *soil moisture pH detector analyzer* dan sensor pH tanah digital yang diintegrasikan dalam sistem monitoring berbasis IoT. Pengujian dilakukan sebanyak 15 kali percobaan dengan selang waktu pengamatan yang bervariasi untuk memperoleh data yang representatif terhadap kondisi aktual di lapangan. Tujuan utama pengujian ini adalah untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan reliabilitas sensor pH tanah, serta menghitung tingkat kesalahan hasil pengukuran dibandingkan dengan alat ukur konvensional yang dijadikan sebagai acuan.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai pH tanah relatif konstan dengan rata-rata pengukuran berada pada angka 4, yang mengindikasikan kondisi tanah yang sangat asam. Namun, pada hari pertama pukul 07.00 WITA, teridentifikasi adanya satu data pencilan dengan nilai pH sebesar 8, yang secara signifikan berbeda dari pola data keseluruhan. Setelah dilakukan kajian ulang, nilai tersebut diduga merupakan hasil pengukuran yang tidak valid akibat gangguan teknis atau ketidak sempurnaan proses kalibrasi sensor, sehingga tidak dimasukkan dalam analisis akhir. Dengan mengecualikan data tersebut, diperoleh rata-rata pH tanah sebesar 5,33, yang menegaskan bahwa media tanam stroberi berada dalam kategori sangat asam.

Kondisi pH tanah yang rendah tersebut kurang ideal bagi pertumbuhan tanaman stroberi, mengingat secara agronomis tanaman ini memerlukan kisaran pH optimal antara 5,5 hingga 6,5 untuk memastikan penyerapan unsur hara makro dan mikro berjalan secara efisien. Nilai pH yang terlalu asam dapat menyebabkan fiksasi atau pengikatan unsur hara makro, seperti fosfor (P), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg), sehingga ketersediaannya bagi tanaman menjadi terbatas.

Dampak jangka panjang dari kondisi ini dapat berupa hambatan pertumbuhan vegetatif (daun dan batang) maupun penurunan produktivitas generatif (bunga dan buah) akibat ketidakseimbangan nutrisi dalam tanah. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan tindakan korektif berupa pengapuran menggunakan bahan amelioran seperti dolomit yang berfungsi untuk meningkatkan pH tanah menuju kondisi mendekati netral, sekaligus menambah unsur kalsium dan magnesium yang dibutuhkan tanaman.

3.2.4 Tampilan Grafik Pada ThingSpeak



Gambar 9. Grafik pemantauan suhu

Gambar 9 memperlihatkan grafik hasil pemantauan suhu lingkungan yang dihasilkan oleh sensor DS18B20 yang terintegrasi dalam sistem monitoring berbasis IoT melalui platform ThingSpeak. Pengukuran suhu dilakukan secara real-time dan kontinu dalam rentang waktu antara pukul 06.00 hingga 08.15 WITA, dengan interval pembacaan yang telah ditentukan secara otomatis oleh sistem untuk memperoleh data suhu yang representatif terhadap kondisi lingkungan aktual di sekitar tanaman stroberi. Pada awal periode pengamatan, yaitu sekitar pukul 06.00 hingga 06.45 WITA, suhu lingkungan tercatat relatif stabil dalam kisaran 25,6°C hingga 25,8°C. Kondisi ini mencerminkan suhu udara pagi hari yang masih sejuk dan lembab, yang umum terjadi sebelum peningkatan intensitas radiasi matahari. Stabilitas suhu pada tahap awal pengukuran juga mengindikasikan bahwa sensor DS18B20 bekerja dengan baik dalam mendeteksi perubahan suhu yang lambat di lingkungan terbuka. Memasuki pukul 07.00 WITA, grafik menunjukkan adanya kenaikan suhu secara bertahap yang berlanjut hingga pukul 08.15 WITA. Suhu maksimum yang terukur mencapai 26,2°C, menandakan adanya respon termal alami terhadap peningkatan intensitas cahaya matahari dan aktivitas fotosintesis tanaman pada pagi hari. Tren kenaikan suhu ini menggambarkan dinamika mikroklimat di sekitar area pertanaman stroberi yang dipengaruhi oleh faktor radiasi matahari, kelembaban udara, dan aliran udara. Secara keseluruhan, hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa sistem berbasis Raspberry Pi dan sensor DS18B20 mampu memantau perubahan suhu lingkungan secara akurat dan responsif. Data yang dikirim dan divisualisasikan melalui ThingSpeak dapat digunakan sebagai indikator kondisi lingkungan mikro yang berpengaruh langsung terhadap proses fisiologis tanaman, seperti laju transpirasi, penyerapan air, dan efisiensi fotosintesis.

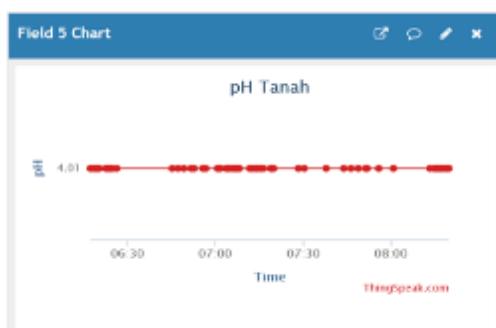


Gambar 10. Grafik kelembaban tanah

Gambar 10 menampilkan grafik hasil pemantauan kelembapan tanah (soil moisture) yang diperoleh melalui sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan Raspberry Pi sebagai pengendali utama dan sensor kelembapan tanah sebagai perangkat pengukuran. Data hasil pengamatan dikumpulkan dan ditampilkan secara real-time pada platform ThingSpeak dalam rentang waktu antara pukul 06.00 hingga 08.15 WITA, dengan interval pembacaan data yang diatur secara otomatis untuk memastikan kontinuitas pemantauan terhadap kondisi media tanam stroberi. Pada awal periode pengamatan, yaitu sekitar pukul 06.00 WITA, kelembapan tanah tercatat berada pada kisaran 19–20%, yang menunjukkan kondisi tanah yang masih cukup lembab setelah proses penyiraman atau sisa embun pagi. Namun, setelah pukul 06.30 WITA, grafik menunjukkan penurunan tajam nilai kelembapan hingga mencapai sekitar 12%, yang kemungkinan disebabkan oleh peningkatan suhu udara dan laju evaporasi permukaan tanah seiring dengan mulai meningkatnya intensitas radiasi matahari pada pagi hari.

Selanjutnya, nilai kelembapan tanah cenderung stabil pada kisaran 13–15% selama periode 06.30 hingga 07.45 WITA, menunjukkan fase keseimbangan antara laju penguapan air dan kapasitas retensi air tanah. Namun menjelang pukul 08.00 WITA, terjadi fluktuasi mendadak dengan lonjakan kelembapan mencapai 21%, yang diduga akibat adanya gangguan mekanis pada sensor, percikan air lokal, atau perubahan mendadak kadar air permukaan tanah akibat aktivitas penyiraman atau embun menetes dari daun tanaman. Setelah itu, grafik kembali menunjukkan penurunan cepat hingga di bawah 10%, menandakan kondisi tanah yang mulai kering atau menurunnya kapasitas kelembapan di lapisan permukaan tanah.

Secara keseluruhan, hasil pemantauan menunjukkan bahwa sistem berbasis Raspberry Pi dan sensor kelembapan tanah mampu mendeteksi perubahan kadar air tanah dengan sensitivitas yang baik terhadap dinamika lingkungan mikro di sekitar tanaman stroberi. Meskipun demikian, fluktuasi ekstrem yang terrekam pada beberapa titik waktu menunjukkan adanya kemungkinan pengaruh faktor eksternal, baik berupa kondisi lingkungan maupun kalibrasi sensor yang perlu diperbaiki. Dari sudut pandang agronomis, nilai kelembapan tanah di bawah 40% tergolong kurang ideal bagi pertumbuhan stroberi, karena tanaman ini memerlukan kelembapan tanah optimal pada kisaran 60–80% untuk mendukung aktivitas fisiologis seperti penyerapan air dan nutrisi. Oleh karena itu, sistem monitoring ini dapat berperan sebagai alat bantu pengambilan keputusan dalam pengaturan irigasi, memungkinkan petani untuk melakukan penyiraman secara tepat waktu dan berbasis data aktual, sehingga kelembapan tanah dapat dipertahankan pada kondisi ideal yang mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman stroberi secara optimal.



Gambar 11. Grafik pH tanah

Gambar 11 memperlihatkan grafik hasil pemantauan nilai pH tanah secara real-time yang diperoleh melalui sistem monitoring berbasis IoT yang diintegrasikan dengan platform ThingSpeak. Data pada grafik ini bersumber dari sensor pH tanah yang terhubung secara langsung dengan Raspberry Pi sebagai unit pemroses dan pengendali utama. Sistem ini dirancang untuk melakukan akuisisi data secara otomatis dan berkelanjutan, sehingga setiap perubahan nilai pH tanah dapat terpantau secara langsung dan tersimpan dalam basis data digital untuk analisis lebih lanjut. Berdasarkan hasil pemantauan yang terrekam pada grafik, nilai pH tanah menunjukkan

kestabilan yang tinggi, dengan pembacaan konsisten pada angka 4,01 selama rentang waktu pengamatan antara pukul 06.00 hingga 08.15 WITA. Konsistensi nilai tersebut mengindikasikan bahwa kondisi tanah pada area penanaman stroberi berada dalam kategori sangat asam, dan tidak mengalami fluktuasi berarti selama periode pengamatan pagi hari. Stabilitas data ini menunjukkan bahwa sensor pH bekerja secara akurat dan andal, serta sistem monitoring IoT berfungsi dengan baik dalam menjaga kontinuitas pengambilan data tanpa adanya gangguan teknis atau interferensi lingkungan yang signifikan. Dari sudut pandang agronomis, pH tanah yang terlalu rendah (sangat asam) dapat memberikan dampak negatif terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman stroberi. Kondisi tersebut berpotensi menghambat proses penyerapan unsur hara esensial, khususnya nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang sangat diperlukan untuk perkembangan vegetatif maupun generatif tanaman. Selain itu, tingkat keasaman yang tinggi juga dapat meningkatkan kelarutan unsur toksik seperti aluminium yang dapat merusak jaringan akar halus, sehingga memperlambat laju pertumbuhan dan menurunkan efisiensi penyerapan nutrisi.

Meskipun nilai pH yang terukur berada di bawah kisaran optimal, stabilitas grafik pH yang terekam menunjukkan bahwa kondisi tanah pada lahan uji relatif tidak mengalami perubahan kimia yang signifikan selama periode pengamatan. Hal ini menandakan bahwa lingkungan tanah berada dalam kondisi homogen dan sistem sensor mampu mempertahankan konsistensi pengukuran dengan baik. Untuk mendukung pertumbuhan tanaman stroberi secara optimal, diperlukan perlakuan korektif seperti pengapuran menggunakan dolomit guna menaikkan pH tanah menuju kisaran ideal antara 5,5 hingga 6,5, sehingga penyerapan unsur hara dapat berlangsung optimal dan kondisi fisiologis tanaman tetap terjaga. Secara keseluruhan, hasil pengamatan ini membuktikan bahwa sistem monitoring berbasis IoT yang dikembangkan mampu menyajikan data pH tanah secara akurat, stabil, dan *real-time*, serta memiliki potensi penerapan praktis dalam pengelolaan kondisi tanah berbasis data digital untuk meningkatkan efisiensi budidaya dan produktivitas tanaman stroberi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring suhu lingkungan, kelembaban tanah, dan pH tanah berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan Raspberry Pi sebagai pusat kendali utama yang terintegrasi dengan beberapa sensor, yaitu suhu, kelembaban tanah, dan pH tanah. Data hasil pengukuran dari masing-masing sensor dikirim secara *real-time* ke *platform ThingSpeak* untuk proses penyimpanan, analisis, dan visualisasi berbasis *cloud*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor dapat berfungsi dengan baik dan memberikan respon yang konsisten terhadap perubahan kondisi lingkungan dengan rata-rata *error* untuk masing-masing sensor untuk suhu sebesar 0,009%, kelembaban tanah sebesar 0,015%, dan pH tanah sebesar 0,093%. Penelitian ini memberikan manfaat bagi petani stroberi dalam melakukan pemantauan kondisi lahan secara efisien, tanpa harus melakukan pengecekan manual di lapangan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi IoT mendukung penerapan smart farming, khususnya dalam budidaya tanaman hortikultura seperti stroberi. Penelitian selanjutnya, disarankan ke pengembangan yang terintegrasi dengan aktuator otomatis seperti sistem irigasi dan pemupukan menggunakan kecerdasan buatan.

Adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan sistem di masa mendatang diantaranya penambahan parameter lingkungan seperti sensor intensitas cahaya dan sensor kandungan nutrisi tanah (NPK) untuk memberikan analisis yang lebih komprehensif terhadap kondisi lahan dan pertumbuhan tanaman. Selain itu diperlukan pengembangan sistem dapat diarahkan pada otomasi penyiraman dan pemupukan berdasarkan data sensor yang terdeteksi. Hal ini akan memungkinkan sistem bekerja secara adaptif dan otonom, misalnya dengan mengaktifkan pompa air ketika kelembaban tanah turun di bawah ambang batas tertentu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Tadulako atas dukungan pendanaan penelitian. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Teknik Elektro yang telah menyediakan sarana dan prasarana penelitian, termasuk peralatan pendukung pengujian perangkat keras dan perangkat lunak sistem monitoring berbasis IoT. Penulis tidak lupa menyampaikan apresiasi kepada rekan-rekan sejawat dan mahasiswa yang telah berkontribusi dalam proses pengumpulan data, pengujian sensor, serta analisis hasil pengamatan di lapangan. Dukungan dan kerja sama seluruh pihak sangat membantu dalam penyelesaian penelitian ini hingga dapat disusun dalam bentuk artikel ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Garza-Alonso C. Alberto, Olivares S. Emilio; González M. Susana, Marcelino C. la Fuente, dan Juárez M. Antonio. Strawberry Biostimulation: From Mechanisms of Action to Plant Growth and Fruit Quality. 2022. *J. Plants.*, 11(24), 1-34.
- [2] S. A. Abd El momen. An Economic Study of the Strawberries Production in Egypt. 2023. *J. Agricultural Research*, 48(1), 322-329.
- [3] Agnieszka Gudowska, A. Cwajna, E. Marjańska, dan D. Moroń. Pollinators Enhance the Production of a Superior Strawberry A Global Review and Meta-Analysis. 2024. *J. Agriculture, Ecosystems and Environment*, 362, 1-12.
- [4] Bruno Mezzett, F. Giampieri, dan C. Zhong. Status of Strawberry Breeding Programs and Cultivation Systems in Europe and the Rest of the World. 2018. *J. Berry Research*, 8(3), 205-221.
- [5] Alwin Hopf, K. J. Boote, A. Plotto, S. Asseng, X. Zhao, V. Shelia, dan G. Hoogenboom. Dynamic Prediction of Preharvest Strawberry Quality Traits as a Function of Environmental Factors. 2022. *J. Horticultural Science and Technology*, 57(10), 1336–1355.
- [6] Ha S. Sim, D. S Kim, M. G. Ahn, S. R. Ahn, dan S. K. Kim. Prediction of Strawberry Growth and Fruit Yield based on Environmental and Growth Data in a Greenhouse for Soil Cultivation with Applied Autonomous Facilities. 2020. *J. Horticultural Science and Technology*, 38(6), 840-849.
- [7] S. Pandey, J. Singh, S. K. Singh, and I B Mourya. Influence of Growing Environment on Growth, Yield and Chemical Composition of Strawberry (*Fragaria × Ananassa*) Fruits Under Open vs Naturally Ventilated Polyhouse Conditions. 2015. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 85(12), 1541-1545.
- [8] Christopher M. Menzel. A Review of Fruit Development in Strawberry: High Temperatures Accelerate Flower Development and Decrease the Size of the Flowers and Fruit. 2023. *J. Horticultural Science and Biotechnology*. 98(4), 409-431.
- [9] Bo Abisoye, E. M. Dogo, B. U. Umar, dan I. Z. Mamman. A Sensor-Based Data Acquisition System for Soil Parameters to Determine Suitable Crops. 2023. *Journal of Digital Food, Energy and Water Systems*, 4(2), 194 -206.
- [10] Gurpreet K. Sodh dan P. Jamwaland. Smart Farming: Harnessing the Power of IoT for Agricultural Transformation. 2024. Proceedings of the 5th International Conference on Recent Trends in Computer Science and Technology (ICRTCST).
- [11] Sail Kamal, E. R. Abdesamad, S. Rachid, dan W. Mohamed. An (IoT) Low-Cost Monitoring System for Smart Farming. 2023. Proceedings of the International Conference on Digital Age & Technological Advances for Sustainable Development (ICDATA)., Casablanca, Morocco.
- [12] Yeni Natalia dan T. Sutabri. Rancangan Sistem Pemantauan Lingkungan Berbasis IoT untuk Pertanian Padi. 2024. *Jurnal Sains dan Teknologi Informasi*, 2(6), 58-67.

- [13] Oddy V. Putra, M. Z. Mustaqim, dan D. Muriatmoko. Transfer Learning untuk Klasifikasi Penyakit dan Hama Padi Menggunakan MobileNetV2. 2023. *Techno.COM*, 22(3), 562-575.
- [14] Supria, Wahyat, dan Tengku Musri. Sistem Distribusi Pengairan dan Monitoring Kelembapan Tanah pada Tanaman Cabai Menggunakan Teknologi Internet of Things. 2025. *Techno.COM*, 24(2), 419-426.
- [15] Rummi Sirait dan C. Botiwicaksono. Sistem Kontrol Kelembaban Tanah Pada Tanaman Tomat Menggunakan PID. 2020. *Techno.COM*, 19(3), 262-273.