

PERANCANGAN *WEBSITE* INTERAKTIF UNTUK *MONITORING* DAN KONTROL *SMART GREENHOUSE* BERBASIS LORA DENGAN FLASK DAN BOOTSTRAP

DESIGN OF AN INTERACTIVE WEBSITE FOR MONITORING AND CONTROL OF SMART GREENHOUSE BASED ON LORA USING FLASK AND BOOTSTRAP

Binsar Anugrah Martahan Manurung¹, Unang Sunarya, S.T., M.T. Ph.D.², Dadan Nur Ramadan, S.Pd., M.T.³

^{1,2,3}Prodi D3 Teknologi Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Telkom University,

¹binsarmanurung2@gmail.com, ²unangsunarya.staff.telkomuniversity.ac.id,

³dadannr.staff.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Permasalahan utama dalam pengelolaan tanaman di lingkungan *greenhouse* adalah keterbatasan sistem pemantauan dan kontrol yang efisien serta terintegrasi. Salah satu tantangan penting yang sering dihadapi adalah menjaga kelembapan tanah tetap dalam rentang optimal tanpa harus melakukan pemeriksaan secara manual dan berkala. Ketidakseimbangan kelembapan dapat berdampak langsung pada kualitas dan produktivitas tanaman, sehingga dibutuhkan sistem otomatis yang mampu memantau kondisi lingkungan secara *real-time* serta memberikan kontrol terhadap proses penyiraman secara fleksibel, baik otomatis maupun manual.

Sebagai solusi terhadap permasalahan tersebut, proyek ini merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem *monitoring* dan kontrol berbasis IoT untuk *greenhouse* menggunakan teknologi LoRa, *Firebase*, serta *website* interaktif. *Website* dibangun menggunakan *framework* Flask dan Bootstrap, dilengkapi dengan fitur *login*, grafik gauge dan historis, kontrol otomatis/manual untuk penyiraman, serta pencatatan log aktivitas pengguna dan perangkat.

Sistem telah diimplementasikan dan diuji. *Website* menampilkan data *real-time*, mencatat aktivitas secara log, serta menyediakan mode penyiraman manual dan otomatis. Berdasarkan hasil kuesioner terhadap 8 responden, sebanyak 50% menyatakan akses *website* sangat mudah dan 50% mudah. Sebanyak 62,5% merasa tampilan warna, ikon, dan grafik mudah dipahami, dan 37,5% menyatakan sangat mudah dipahami. Pada aspek keakuratan data *real-time*, 50% menjawab akurat, 37,5% cukup akurat, dan 12,5% sangat akurat. Sementara itu, 62,5% menyatakan log dan riwayat membantu, dan 37,5% sangat membantu.

Kata Kunci: LoRa, Flask, Firebase, IoT, *Smart Greenhouse*, *Monitoring*.

Abstract

One of the main challenges in managing crops within a greenhouse environment is the lack of an efficient and integrated monitoring and control system. A critical issue often encountered is maintaining soil moisture within an optimal range without the need for frequent and manual inspections. Imbalanced moisture levels can directly affect the quality and productivity of crops. Therefore, an automated system is required to monitor environmental conditions in real time and provide flexible control over the irrigation process, both automatically and manually. As a solution to this problem, this project designs and implements an IoT-based monitoring and control system for greenhouse applications using LoRa technology, Firebase, and an interactive web dashboard. The website was developed using the Flask and Bootstrap frameworks and is equipped with features such as user login, real-time gauge and historical charts, manual/automatic irrigation control, and activity log tracking for users and devices. The system has been successfully implemented and tested. The website displays real-time data, records system activities through a log, and provides both manual and automatic irrigation modes. Based on questionnaire results from eight respondents, 50% rated website access as very easy, while the remaining 50% found it easy. Additionally, 62.5% considered the color scheme, icons, and graphics easy to understand, and 37.5% rated them as very easy to interpret. In terms of real-time data accuracy, 50% found the data accurate, 37.5% rated it as fairly accurate, and 12.5% as highly accurate. Meanwhile, 62.5% stated that the activity logs and irrigation history were helpful, and 37.5% found them very helpful.

Keyword : LoRa, Flask, Firebase, IoT, *Smart Greenhouse*, *Monitoring*.

1. PENDAHULUAN

Greenhouse memungkinkan kontrol lingkungan untuk mendukung pertumbuhan optimal tanaman, termasuk anggur. Tantangan utamanya adalah pemantauan suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah secara efisien dan real-time. Ketidakstabilan kondisi ini dapat menurunkan hasil panen dan meningkatkan penggunaan sumber daya.

Penelitian sebelumnya, seperti Valente [1] dengan LoRaWAN untuk pemantauan kelembapan dan Hasfani [2] dengan smart greenhouse berbasis edge computing, masih terbatas pada pemantauan sensor tanpa integrasi kontrol berbasis web yang ramah pengguna.

Proyek ini mengusulkan sistem monitoring dan kontrol tanaman anggur di Laboratorium GreenTech, Universitas Telkom. Sistem menggunakan LoRa untuk komunikasi jarak jauh, Flask sebagai backend, Bootstrap untuk tampilan responsif, dan Firebase untuk penyimpanan real-time. Fitur meliputi pemantauan suhu, kelembapan tanah dan udara, kontrol penyiraman otomatis/manual, serta dashboard dengan grafik informatif.

Pendekatan ini menghadirkan solusi lebih komprehensif: pemantauan real-time, kontrol terintegrasi, dan sinkronisasi cloud, mendukung konsep smart farming yang efisien, ramah lingkungan, dan mudah diakses. Aset perusahaan merupakan berbagai jenis barang yang dimiliki oleh perusahaan. Barang-barang ini bisa berasal dari modal awal perusahaan, dibeli, atau diperoleh melalui pendapatan atau hak lain yang sah. Pengelolaan dan pengaturan aset perusahaan menjadi sangat penting, sehingga aset tersebut dapat digunakan dengan efisien dan efektif. Dengan mengelola aset dengan baik sesuai dengan prosedur yang benar, perusahaan dapat menjaga keseimbangan keuangan dan operasional. Dengan menjaga dan mengelola aset dengan benar, perusahaan dapat memastikan bahwa semua barang berada dalam kondisi yang baik dan siap digunakan, sehingga membantu kelancaran dan kesuksesan berbagai kegiatan dalam perusahaan.

2. METODE PENELITIAN DAN MATERIAL

Adapun metodologi yang digunakan, sebagai berikut.

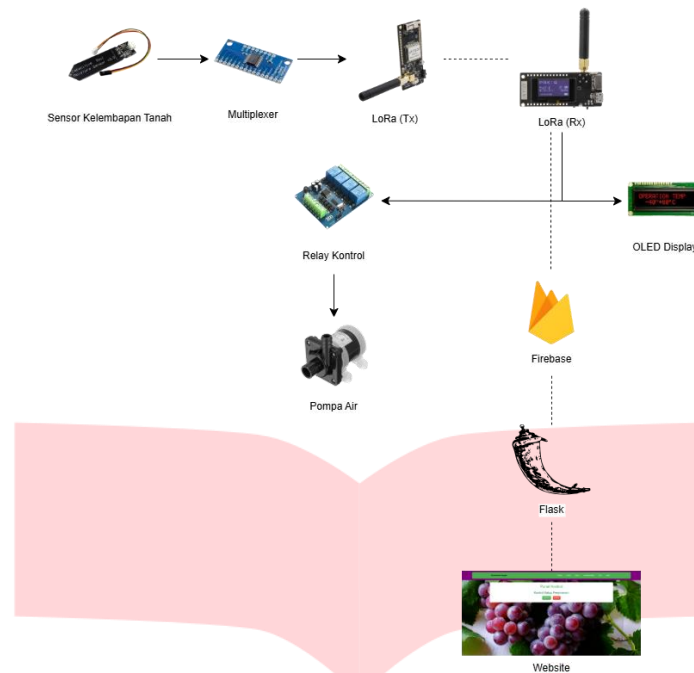
1. Studi Literatur, mengumpulkan referensi terkait teknologi LoRa, Flask, Bootstrap, dan konsep UX untuk mendukung pemantauan dan kontrol tanaman anggur di greenhouse.
2. Analisis Kebutuhan, mengidentifikasi kebutuhan sistem, yaitu pemantauan data sensor (kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara) secara real-time, kontrol penyiraman otomatis/manual, serta antarmuka berbasis web yang optimal di desktop.
3. Perancangan Sistem, merancang backend dengan Flask, frontend dengan Bootstrap, dan database untuk menyimpan data sensor serta pengaturan kontrol. Prototipe mencakup dashboard monitoring dan halaman kontrol penyiraman.
4. Pengembangan, mengimplementasikan backend untuk pengelolaan data dan kontrol, serta frontend untuk tampilan responsif. Data sensor disajikan secara informatif agar mudah dipahami.
5. Pengujian dan Evaluasi, melakukan pengujian fungsional dan integrasi guna memastikan pembaruan data real-time, kontrol penyiraman otomatis, serta komunikasi LoRa–Flask berjalan lancar.
6. Kebutuhan, mengidentifikasi kebutuhan sistem, yaitu pemantauan data sensor (kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara) secara real-time, kontrol penyiraman otomatis/manual, serta antarmuka berbasis web yang optimal di desktop.
7. Perancangan Sistem, merancang backend dengan Flask, frontend dengan Bootstrap, dan database untuk menyimpan data sensor serta pengaturan kontrol. Prototipe mencakup dashboard monitoring dan halaman kontrol penyiraman.
8. Pengembangan, mengimplementasikan backend untuk pengelolaan data dan kontrol, serta frontend untuk tampilan responsif. Data sensor disajikan secara informatif agar mudah dipahami.
9. Pengujian dan Evaluasi, melakukan pengujian fungsional dan integrasi guna memastikan pembaruan data real-time, kontrol penyiraman otomatis, serta komunikasi LoRa–Flask berjalan lancar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Blok Diagram Sistem

Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi. Sensor kelembapan tanah berjumlah 13 unit ditempatkan di titik berbeda untuk mengukur kadar air pada media tanam. Karena jumlah sensor banyak, digunakan multiplexer agar semua sensor dapat dibaca melalui satu pin analog mikrokontroler. Data dari sensor dikumpulkan oleh LoRa Node 1 (transmitter), lalu dikirim secara nirkabel ke LoRa Node 2 (receiver) yang menampilkan informasi kelembapan melalui OLED display dan meneruskan data ke Firebase Realtime Database melalui Wi-Fi. Firebase menyimpan data sensor, status relay, dan mode kontrol (otomatis/manual) serta memungkinkan sinkronisasi dua arah secara real-time.

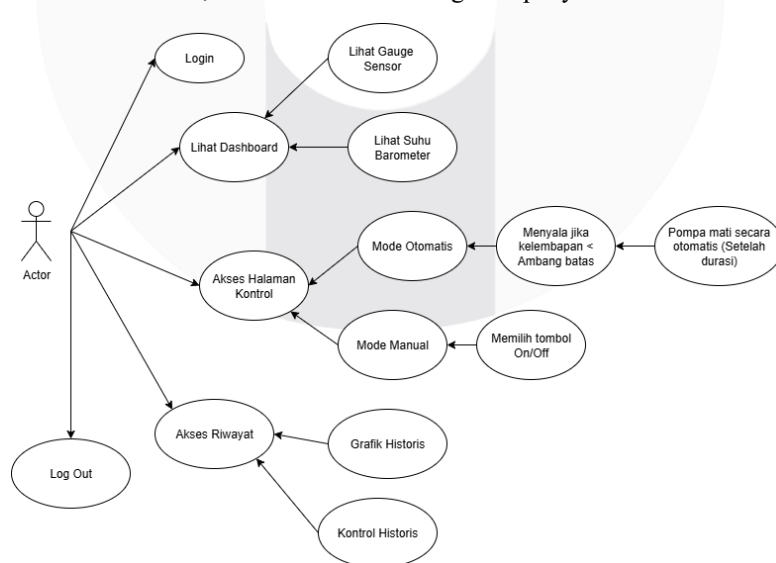
Sistem kontrol penyiraman menggunakan relay yang berfungsi sebagai saklar elektronik untuk mengaktifkan pompa air, baik secara otomatis ketika kelembapan di bawah ambang batas, maupun manual melalui perintah dari website. Flask web server menghubungkan website dengan Firebase, menyediakan API untuk menampilkan data sensor dan mengirim perintah kontrol. Website, yang dibangun dengan HTML, Bootstrap, dan JavaScript, menjadi antarmuka pengguna yang menampilkan data secara informatif dan menyediakan fitur kontrol penyiraman.



Gambar 3. 1 Blok Diagram Sistem

3.2 Use Case

Use Case Diagram menggambarkan interaksi User dengan sistem melalui website yang terhubung ke Firebase via Flask. Pengguna memulai dengan login untuk mengakses fitur monitoring dan kontrol. Setelah login, pengguna diarahkan ke dashboard yang menampilkan data real-time: grafik gauge kelembapan tanah (warna merah–kuning–hijau) dan suhu udara. Di halaman kontrol, pengguna dapat memantau status mode (otomatis/manual), mengganti mode, serta menyalakan/mematikan pompa. Dalam mode otomatis, pompa aktif saat kelembapan di bawah ambang batas dan berhenti setelah waktu aman. Semua aksi pengguna dan sistem dicatat di log aktivitas, termasuk perubahan mode dan kontrol pompa. Pengguna juga dapat mengakses histori kelembapan dalam bentuk grafik berdasarkan sensor dan rentang waktu. Sistem membatasi akses hanya untuk pengguna terautentikasi, serta menyediakan fitur logout untuk keamanan. Diagram ini menunjukkan bagaimana pengguna dapat memantau dan mengontrol greenhouse secara interaktif, sementara sistem mengelola penyiraman otomatis sesuai kebutuhan.



Gambar 3. 2 Use Case

3.3 Flowchart

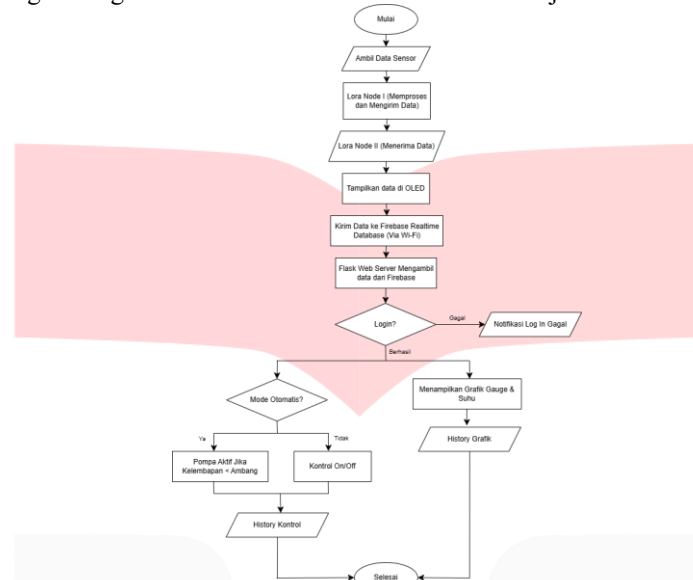
Flowchart ini menggambarkan alur sistem Smart Greenhouse berbasis LoRa yang terintegrasi dengan web menggunakan Flask dan Bootstrap. Proses dimulai saat perangkat aktif dan membaca data dari 13 sensor kelembapan tanah melalui multiplexer. Data dikumpulkan oleh LoRa Node 1, dikemas, lalu dikirim ke LoRa Node

2 melalui komunikasi LoRa (866 MHz). Node 2 menampilkan data di OLED dan mengirimkannya ke Firebase Realtime Database via Wi-Fi.

Flask Web Server mengambil data dari Firebase dan menyediakan endpoint untuk website. Pengguna harus login sebelum mengakses dashboard. Jika gagal, sistem meminta login ulang; jika berhasil, pengguna dapat memantau grafik gauge kelembapan per sensor, suhu udara, serta rata-rata kelembapan.

Pengguna dapat memilih mode otomatis (pompa aktif jika kelembapan < ambang) atau manual (kontrol pompa langsung melalui web). Semua aksi dan perubahan mode dicatat di Firebase sebagai log histori. Pengguna juga dapat melihat grafik historis kelembapan per sensor dengan rentang waktu tertentu.

Proses pembacaan data dan pembaruan website berjalan otomatis setiap beberapa detik, sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol greenhouse secara real-time dari mana saja.



Gambar 3. 3 Flowchart Website

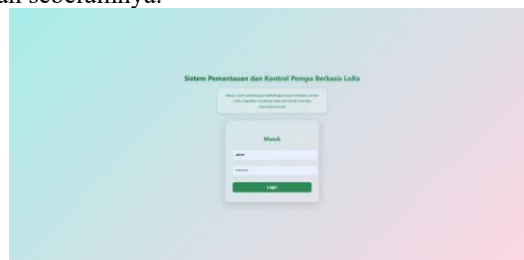
4. HASIL DAN PENGUJIAN

4.1 Hasil Website Monitoring dan Kontrol

Halaman login pada sistem ini berfungsi sebagai akses utama ke seluruh fitur, seperti monitoring sensor, kontrol pompa, dan histori aktivitas. Desain mengusung gaya modern dengan latar gradasi hijau muda ke merah muda untuk memberikan kesan segar dan profesional. Judul utama “Sistem Pemantauan dan Kontrol Pompa Berbasis LoRa” tampil mencolok di bagian atas, sedangkan informasi singkat tentang website ditempatkan di bawah.

Form login berada di tengah layar dengan desain glassmorphism (latar semi-transparan dan blur halus). Elemen form terdiri dari judul “Masuk”, kolom username dan password, serta tombol login berwarna hijau tua dengan efek hover dan animasi halus. Kolom input responsif dengan efek interaktif saat diklik, dan pesan error berwarna merah akan muncul di bawah judul jika input salah.

Proses login terhubung ke backend Flask untuk verifikasi kredensial. Jika valid, pengguna diarahkan ke dashboard; jika gagal, halaman tetap menampilkan pesan kesalahan secara dinamis. Gambar yang terlihat di bawah ini adalah tampilan awal dari website pendataan *port direction*. Pada tampilan ini, pengguna diberi kemudahan untuk memulai akses dengan dua pilihan utama: melakukan proses log masuk (*login*) jika sudah memiliki akun, atau mendaftar (*sign up*) jika mereka adalah pengguna baru. Sejalan dengan itu, administrator juga diberikan akses khusus untuk memasuki bagian *web admin* melalui penggunaan nama pengguna (*username*) dan kata sandi (*password*) yang telah ditetapkan sebelumnya.



Gambar 4. 1 Tampilan Awal Website

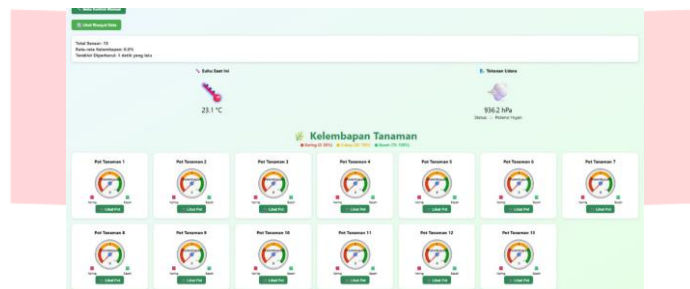
Setelah login, pengguna diarahkan ke dashboard utama untuk memantau kondisi greenhouse secara real-time. Halaman ini menampilkan data 13 sensor kelembapan tanah, suhu, dan tekanan udara dengan desain modern bergradasi biru-hijau.

Di bagian atas terdapat judul “Monitoring Kelembapan Tanah”, indikator waktu pembaruan, fitur auto-refresh (update tiap 10 detik), serta dua tombol navigasi: Kontrol Manual (untuk atur mode penyiraman dan pompa) dan Riwayat Data (melihat grafik historis).

Bagian ringkasan (summary box) menampilkan jumlah sensor aktif, rata-rata kelembapan, dan waktu pembaruan terakhir. Di bawahnya terdapat panel suhu (ikon termometer dengan warna sesuai kondisi) dan tekanan udara (dilengkapi status interpretasi, misalnya “Potensi Hujan” atau “Cerah dan Kering”).

Indikator legenda kelembapan menjelaskan warna gauge: merah (kering), kuning (cukup), hijau (basah). Bagian utama adalah gauge chart 13 sensor (Google Charts) dalam grid responsif, diperbarui otomatis hanya saat ada perubahan.

Tersedia tombol untuk melihat lokasi pot dan logout di pojok kanan atas. Secara keseluruhan, dashboard ini informatif, interaktif, dan mudah digunakan untuk mendukung pengelolaan irigasi berbasis data real-time.

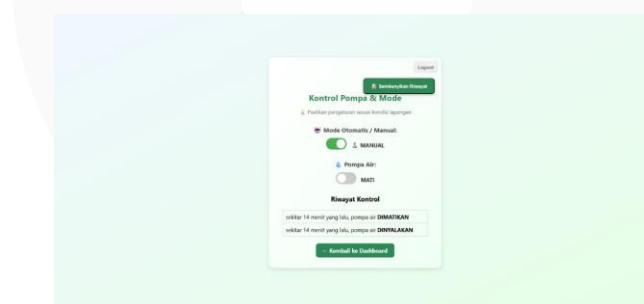


Gambar 4. 2 Tampilan Dashboard

Fitur kontrol penyiraman pada sistem ini memiliki dua mode: otomatis dan manual, keduanya dapat diakses melalui website.

1. Mode otomatis: Sistem membandingkan data kelembapan dengan ambang batas (mis. <30%). Jika di bawah ambang, pompa aktif melalui relay, dengan durasi diatur timer agar efisien. Setelah selesai, pompa mati otomatis. Semua aktivitas tercatat di log Firebase.
2. Mode manual: Pengguna dapat menghidupkan/mematikan pompa lewat panel kontrol web. Perintah dikirim ke Flask, lalu status relay diperbarui di Firebase dan dieksekusi oleh LoRa Node 2. Mode ini digunakan untuk inspeksi atau kondisi darurat, dan semua aksi dicatat di log.

Firebase menjadi pusat sinkronisasi perintah dan status, menyimpan histori penyiraman (otomatis/manual) lengkap dengan waktu dan data sensor. Antarmuka web menampilkan status real-time, termasuk perubahan mode, kondisi relay, dan log aktivitas, sehingga kontrol lebih interaktif dan jelas tanpa perlu refresh halaman.



Gambar 4. 3 Tampilan Kontrol

Fitur visualisasi data kelembapan tanah pada sistem ini menyajikan informasi sensor secara interaktif dan mudah dipahami melalui antarmuka web. Data dari 13 sensor tidak hanya ditampilkan dalam bentuk angka, tetapi juga melalui gauge meter real-time dan grafik historis linier untuk mempermudah interpretasi kondisi tanah.

Pengguna dapat memilih sensor tertentu (CH0–CH12) dan rentang waktu (harian hingga 30 hari) untuk analisis. Data historis diambil dari Firebase Realtime Database dan divisualisasikan dengan Plotly.js, memungkinkan interaksi seperti zoom, hover untuk detail nilai, dan tampilan responsif.

Grafik dilengkapi zona warna latar:

1. Merah: kering (0–30%)
2. Kuning: cukup (31–69%)

3. Hijau: basah (70–100%)

Visualisasi ini mempermudah deteksi kondisi kritis, analisis pola kelembapan, dan evaluasi efektivitas penyiraman otomatis. Pengguna juga dapat menampilkan perbandingan antar-sensor untuk mengetahui perbedaan kelembapan di berbagai zona. Dengan fitur ini, pengambilan keputusan penyiraman menjadi lebih cepat, akurat, dan berbasis data, tanpa harus melakukan pengamatan manual di lapangan.



Gambar 4. 4 Grafik Kelembapan Tanah

4.2 Hasil Kuesioner

Dalam rangka mengevaluasi sejauh mana website sistem monitoring dan kontrol smart greenhouse ini telah memenuhi kebutuhan pengguna serta menilai tingkat kelayakannya untuk digunakan, sebuah kuesioner telah disusun dan disebarluaskan kepada responden yang relevan, yaitu mahasiswa magang yang sedang atau pernah menjalani kegiatan magang di Laboratorium GreenTech, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom. Kuesioner ini dirancang dengan pertanyaan-pertanyaan terarah yang bertujuan menilai fitur-fitur utama dari website, mulai dari kemudahan penggunaan, tampilan visual, kejelasan data sensor, hingga fungsionalitas kontrol pompa otomatis dan manual.



Gambar 4. 5 Hasil Survei I

Berdasarkan hasil kuesioner terhadap pertanyaan “Seberapa mudah Anda mengakses website ini melalui perangkat Anda?”, diperoleh data yang sangat positif dari para responden. Sebanyak 8 responden telah mengisi kuesioner ini, dan hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada satu pun responden yang mengalami kesulitan dalam mengakses website. Sebanyak 4 responden (50%) memberikan skor 4 (Mudah), yang berarti mereka merasa website ini dapat diakses dengan baik dan cukup responsif pada perangkat mereka. Sementara itu, 4 responden lainnya (50%) memberikan skor tertinggi yaitu 5 (Sangat Mudah), menunjukkan bahwa mereka sangat puas dengan kecepatan, kemudahan navigasi, serta kompatibilitas tampilan website di perangkat yang digunakan.



Gambar 4. 6 Hasil Survei II

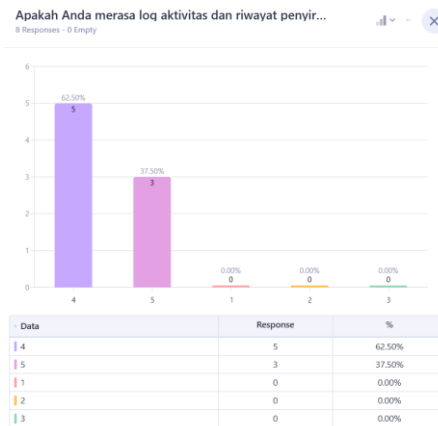
Berdasarkan hasil kuesioner terhadap pertanyaan “Apakah warna, ikon, dan grafik yang digunakan memudahkan Anda memahami informasi?”, diperoleh tanggapan yang sangat positif dari para responden. Dari total 8 orang yang mengisi kuesioner, sebanyak 5 responden (62,5%) memberikan skor 4 (Mudah Dipahami) dan 3 responden (37,5%) memberikan skor 5 (Sangat Mudah Dipahami). Tidak ada satupun responden yang memberikan nilai 1, 2, atau 3, yang berarti tidak ditemukan keluhan terkait tampilan visual, ikon, maupun grafik yang digunakan dalam website.



Gambar 4. 7 Hasil Survei III

Berdasarkan hasil kuesioner untuk pertanyaan “Apakah informasi data kelembapan dan suhu ditampilkan dengan akurat dan real-time?”, diperoleh distribusi tanggapan yang cenderung positif dari para responden. Dari total 8 responden, sebanyak 4 orang (50%) memberikan skor 4 (Akurat dan Hampir Selalu Real-time), menunjukkan bahwa sebagian besar pengguna merasa sistem sudah mampu menampilkan informasi kelembapan dan suhu secara cukup tepat waktu dan sesuai dengan kondisi lapangan.

Sebanyak 3 responden (37,5%) memberikan nilai 3 (Cukup Akurat dan Umumnya Real-time), yang mengindikasikan bahwa data yang ditampilkan masih dianggap relevan, meskipun mungkin terdapat sedikit keterlambatan atau fluktuasi dalam pembaruan real-time. Sementara itu, hanya 1 responden (12,5%) yang memberikan nilai 5 (Sangat Akurat dan Real-time), yang menandakan pengalaman terbaik dari segi keakuratan dan kecepatan tampilan data. Tidak ada responden yang memberikan nilai rendah (1 atau 2), yang berarti tidak ditemukan keluhan signifikan terhadap akurasi atau keterlambatan data suhu dan kelembapan yang ditampilkan oleh sistem.



Gambar 4. 8 Hasil Survei IV

Berdasarkan hasil kuesioner terhadap pertanyaan “Apakah Anda merasa log aktivitas dan riwayat penyiraman membantu dalam memantau penggunaan sistem?”, diperoleh respon yang sangat positif dari para pengguna. Dari total 8 responden, sebanyak 5 orang (62,5%) memberikan nilai 4 (Membantu), sementara 3 orang sisanya (37,5%) memberikan nilai 5 (Sangat Membantu).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Website berhasil dirancang menggunakan Flask sebagai backend dan Bootstrap sebagai antarmuka responsif, serta terintegrasi dengan teknologi LoRa yang memungkinkan komunikasi sensor secara efisien tanpa koneksi internet langsung.
2. Tampilan data dirancang dalam bentuk grafik gauge real-time, grafik historis, serta ikon dan warna status kelembapan yang informatif, sehingga memudahkan pengguna dalam memahami kondisi lingkungan greenhouse. Berdasarkan kuesioner, 62,5% responden menyatakan tampilannya mudah dipahami, dan 37,5% menyatakan sangat mudah dipahami.
3. Sistem mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan greenhouse dengan kontrol penyiraman otomatis berdasarkan ambang kelembapan, serta mode manual melalui website. Sebanyak 62,5% responden merasa fitur log dan kontrol membantu, dan 37,5% merasa sangat membantu. Website juga dinilai sangat mudah diakses oleh 50% responden, dan mudah oleh 50% sisanya

DAFTAR PUSTAKA

- A. Valente, "A LoRaWAN IoT System for Smart Agriculture for Vine Water," Agriculture-MDPI, 14 October 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/10/1695>. [Accessed 15 Juni 2025].
- H. Hasfani, "Infrastruktur Jaringan Komunikasi pada SmartGreen House Tanaman Anggur berbasis Edge," Elkomika: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, April 2024. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v12i2.484>. [Accessed 16 Juni 2025].
- Ciksadan, "Desain dan Pengembangan Website untuk Mendeteksi Malware Menggunakan Framework Flask yang Diintegrasikan dengan Machine Learning," Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Aplikasi, Juli 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32493/jtsi.v7i3.42003>. [Accessed 15 Juni 2025].
- R. T. Hong, "Design and Implementation of Environmental Monitoring System Using Flask-Based Web Application," MDPI, 29 April 2025. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2673-4591/92/1/37?utm_source=chatgpt.com. [Accessed 16 Juni 16].
- H. A. Kusuma, "Evaluating the Accuracy of BMP280 and BME280 Sensors for Sea Level in a," ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences, 23 June 2023. [Online]. Available: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ijms>. [Accessed 16 June 2025].
- D. Oktavia, "Sensor BMP280 Statistical Analysis For Barometric Pressure Acquisition," IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2 April 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/369427979_Sensor_BMP280_Statistical_Analysis_for_Barometric_Pressure_Acquisition. [Accessed 16 Juni 2025].

W. G. Lima, "LoRa Technology Propagation Models for IoT Network Planning at 915 MHz," MDPI , 16 May 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/>. [Accessed 16 Juni 2025].

A. W. Azim, "Layered Chirp Spread Spectrum Modulations for LPWANs," IEEE Transactions on Communications, Maret 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2405.18799>. [Accessed 17 Juni 2025].

D. M. d. F. Ozorio, "An Observational Study on Flask Web Framework Questions on Stack Overflow (SO)," Software: Practice and Experience, Wiley IET, Desember 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1049/sfw2/1905538>. [Accessed 17 Juni 2025].

A. Morchid, "IoT-enabled fire detection for sustainable agriculture: A real-time system," Results in Engineering, 28 Juli 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102705>. [Accessed 17 Juni 2025].

M. R. F. d. U. Firdaus, "Pengembangan Website Responsif Menggunakan Framework Bootstrap," ojs.unida.ac.id, November 2024. [Online]. Available: <https://ojs.unida.ac.id/karimahtauhid/article/view/15407/6141>. [Accessed Juli Juni 2025].

M. P. Toppany, "Integrasi Framework Bootstrap dan Chart.js untuk Visualisasi Data Sensor pada Sistem Hidroponik berbasis IoT," Jurnal Rekayasa Mekatronika, Sep 2024. [Online]. Available: <https://www.ejournal.pei.ac.id/index.php/JM/article/view/190/96>. [Accessed 17 Juni 2025].

A. Ozmen, "Comparative Analysis of Database Technologies for IoT Environments," Researchgate, Feb 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/388355441_Comparative_Analysis_of_Database_Technologies_for_IoT_Environments. [Accessed 17 Juli 2025].

X. Wu, "An IoT-Based Low-Cost Smart Greenhouse Monitoring System Using ESP8266 and Firebase Realtime Database," International Journal of Agriculture and Natural Sciences, 20 May 2025. [Online]. Available: <https://as-proceeding.com/index.php/ijanser>. [Accessed 17 Juni 2025].

J. J. Correa-Quiroz, "IoT System with ESP32 for Smart Drip Irrigation and Climate Monitoring in Greenhouses," Emerg. Sci. J., Jun 2025. [Online]. Available: <https://www.ijournalse.org/index.php/ESJ/article/view/2983/828>. [Accessed 17 Jun 2025].

S. K. Hussain, "Development of an IoT Based Real Time Embedded System for ESP32," IJRTI, 2023. [Online]. Available: <https://www.ijrti.org/papers/IJRTI2306162.pdf>. [Accessed 17 Juni 2025].

A. Kareem, "IoT cloud laboratory: Internet of Things architecture for cellular biology," Internet of Things, Des 2022. [Online]. Available: <https://pdf.sciencedirectassets.com/318491/1-s2.0-S2542660522X00048/1-s2.0-S2542660522001007/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEEwaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCICw769RVsagCt5x1lBZ3dspey2bCUiPUKmsGosMKhe0AiBW6rX6TrDTTFIKpcqdDgyNvktSPfft1EXua2IKqcbSiSqz>. [Accessed 18 Juni 2025].

P. Karampakakis, "A Web-Based Application for Smart City Data Analysis and Visualization," Future Internet, Mei 2025. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1999-5903/17/5/217>. [Accessed 18 Juni 2025].