Rancang Bangun Dashboard *Smart Farming* Berbasis Web Terintegrasi IoT-Anfis Pada Ruang Budidaya Cabai Rawit

[1st] Faaris Muwaffaq
S1 Teknik Informatika
Universitas Telkom Purwokerto
Banyumas, Indonesia
faaris@student.telkomuniversity.ac.id

[2nd] Abednego Dwi Septiadi
S1 Rekayasa Perangkat Lunak
Universitas Telkom Purwokerto
Banyumas, Indonesia
abednego@telkomuniversity.ac.id

[3nd] Yudha Islami Sulistiya
S1 Rekayasa Perangkat Lunak
Universitas Telkom Purwokerto
Banyumas, Indonesia
yudhaislami@telkomuniversity.ac.id

Abstrak*— Cabai rawit merupakan komoditas hortikultura yang sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan sehingga memerlukan pemantauan rutin. Keterbatasan pemantauan langsung mendorong pengembangan dashboard smart farming berbasis web yang terintegrasi Internet of Things (IoT) untuk monitoring, kontrol ruang budidaya, dan pendukung keputusan penyiraman menggunakan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Sistem memanfaatkan ESP32 untuk akuisisi data sensor dan pengendalian aktuator dalam mode manual maupun otomatis. Pengembangan dilakukan menggunakan metode prototyping dua iterasi dengan evaluasi System Usability Scale (SUS). Hasil evaluasi menunjukkan skor SUS meningkat menjadi 72,5 pada iterasi kedua, termasuk kategori acceptable dengan Grade C dan berada di atas rata-rata global SUS sebesar 68. Pengujian Black Box menunjukkan seluruh fungsi perangkat IoT, dashboard web, dan sistem otomatis berjalan sesuai spesifikasi. Model ANFIS yang dilatih menggunakan tiga parameter sensor dan fungsi keanggotaan Gaussian menghasilkan akurasi 98% dengan presisi kelas Siram sebesar 93%. Hasil inferensi memprediksi 105 kejadian penyiraman dibandingkan 106 eksekusi aktual, menunjukkan potensi ANFIS sebagai dasar pengembangan sistem penyiraman adaptif berbasis data sensor lingkungan.

Kata kunci*— smart farming, internet of things, dashboard web, anfis, monitoring, cabai rawit.

I. PENDAHULUAN

Cabai rawit (Capsicum frutescens L.) merupakan komoditas hortikultura strategis di Indonesia yang produktivitasnya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan budidaya. Parameter seperti suhu udara, kelembapan udara, intensitas cahaya, dan kelembapan tanah berperan penting terhadap pertumbuhan tanaman. Perubahan parameter yang tidak sesuai dapat meningkatkan risiko gangguan pertumbuhan maupun serangan patogen. Oleh karena itu, pemantauan kondisi lingkungan secara kontinu menjadi kebutuhan penting, terutama pada budidaya di lingkungan greenhouse [1][2].

Pada greenhouse mitra di Desa Tangkisan, Purworejo, pemantauan masih dilakukan melalui kunjungan langsung dan penyiraman semi-otomatis berbasis timer, sehingga perubahan lingkungan tidak dapat dipantau secara kontinu dan belum mendukung pengendalian jarak jauh berbasis data. Kondisi ini menunjukkan perlunya sistem smart farming yang mengintegrasikan monitoring, kontrol, dan otomatisasi dalam satu platform [3].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa dashboard terintegrasi IoT memiliki tingkat penerimaan pengguna yang baik berdasarkan evaluasi System Usability Scale (SUS) [4][5]. amun evaluasi umumnya hanya dilakukan di akhir pengembangan sehingga belum mencerminkan dampak perbaikan antarmuka per iterasi. Di sisi lain, ANFIS terbukti efektif sebagai pendukung keputusan penyiraman berbasis data sensor lingkungan [6][7]

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan dashboard smart farming berbasis web yang terintegrasi dengan IoT untuk monitoring dan kontrol ruang budidaya serta pendukung keputusan penyiraman menggunakan ANFIS. Sistem dikembangkan menggunakan metode prototyping dengan evaluasi kegunaan melalui SUS pada setiap iterasi dan pengujian fungsional menggunakan Black Box Testing. Hasil penelitian diharapkan menghasilkan sistem yang terintegrasi, mudah digunakan, serta mampu mendukung pengelolaan budidaya cabai rawit secara lebih efektif melalui pemanfaatan teknologi digital [8].

II. KAJIAN TEORI

A. Smart Farming

Smart farming merupakan pendekatan dalam pertanian modern yang mengintegrasikan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, serta keberlanjutan proses budidaya. Konsep ini tidak hanya berfokus pada mekanisasi, tetapi juga pada pemanfaatan sistem berbasis data dalam pengambilan keputusan dengan memanfaatkan berbagai teknologi, salah satu nya ialah Internet of Things (IoT. Pada implementasinya, smart farming mengandalkan sensor untuk mengukur parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan udara, dan kondisi tanah, yang kemudian dikirimkan ke sistem berbasis jaringan untuk diproses dan ditampilkan. Mekanisme ini mendukung pengambilan keputusan berbasis data, termasuk dalam pengendalian irigasi otomatis, sehingga terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan air, menjaga kondisi lingkungan tanaman tetap optimal, serta berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas dan pengurangan penggunaan sumber daya secara signifikan [9][10]

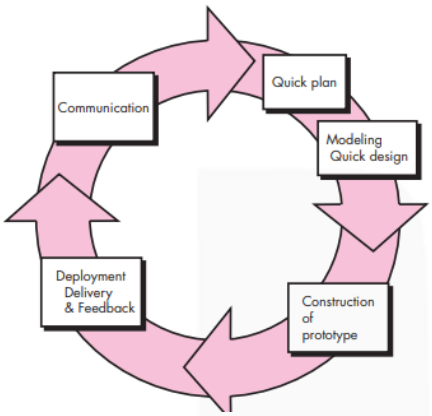
B. Cabai Rawit

Cabai rawit (*Capsicum frutescens L.*) merupakan salah satu varietas cabai yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan menjadi komoditas hortikultura strategis di Indonesia. Jenis ini dikenal luas karena cita rasa pedas khas dan

penggunaannya dalam industri pengolahan makanan maupun konsumsi rumah tangga [1]. Tanaman cabai rawit tumbuh optimal pdengan suhu ideal 22 sampai 30°C dengan kelembapan tanah pada rentang 60% hingga 80% atau lembab namun tidak becek. Media tanam yang sesuai adalah tanah yang gembur, serta kaya bahan organik. Selain kondisi tanah, intensitas cahaya matahari berperan penting bagi tanaman cabai rawit [2].

C. Prototyping

Prototyping merupakan pendekatan pengembangan perangkat lunak yang menekankan pada pembuatan model awal sebagai representasi sistem sebelum dikembangkan menjadi produk final [11]. Prototype tidak harus memiliki seluruh fitur secara lengkap, namun cukup merepresentasikan fungsi utama sehingga dapat digunakan sebagai media uji coba dan validasi kebutuhan [11]. Pendekatan ini memungkinkan sistem yang terus disesuaikan berdasarkan umpan balik pengguna. Selain itu, waktu pengembangan relatif lebih singkat dan implementasi menjadi lebih terarah karena pengguna dapat langsung mengevaluasi bentuk sistem yang dikembangkan [11]. Proses *prototyping* ditunjukkan pada Gambar 1.



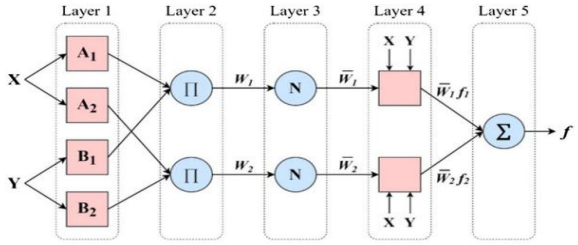
GAMBAR 1
(Proses Prototyping)

D. UML

Unified Modeling Language (UML) merupakan bahasa pemodelan standar yang digunakan untuk memvisualisasikan, merancang, dan mendokumentasikan sistem perangkat lunak. Dalam penelitian ini, UML digunakan melalui use case diagram dan class diagram. Use case diagram berfungsi menggambarkan interaksi antara pengguna dengan sistem serta kebutuhan fungsional yang harus dipenuhi, sedangkan class diagram digunakan untuk merepresentasikan struktur statis sistem yang terdiri atas kelas, atribut, metode, dan hubungan antar kelas sebagai dasar perancangan komponen dan basis data sistem [12].

E. ANFIS

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan metode hibrida yang menggabungkan konsep logika fuzzy dengan jaringan saraf tiruan (*artificial neural network*) [13]. Pendekatan ini dirancang untuk mengakomodasi kemampuan penalaran berbasis aturan *if–then* dari sistem *fuzzy*, serta kemampuan pembelajaran adaptif dari *neural network* [14]. Secara umum, ANFIS digunakan untuk memetakan hubungan antara input dan output melalui proses pembelajaran parameter yang bersifat non-linear. Model ini mampu menyesuaikan diri terhadap pola data, sehingga efektif digunakan pada sistem yang memiliki ketidakpastian [13]. Struktur ANFIS tersusun atas lima lapisan yang saling terhubung dan bekerja secara berurutan. Setiap lapisan memiliki fungsi spesifik dalam mengolah data, mulai dari proses fuzzifikasi hingga menghasilkan output akhir. Struktur lima *layer* ANFIS ditunjukkan pada Gambar 2.



GAMBAR 2
(Lima *Layer* ANFIS)

F. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan sistem yang dikembangkan telah memenuhi kebutuhan fungsional dan mudah digunakan oleh pengguna. Pada penelitian ini, evaluasi *usability* dilakukan menggunakan *System Usability Scale* (SUS) pada setiap iterasi pengembangan untuk mengukur tingkat kemudahan penggunaan dan kepuasan pengguna melalui kuesioner berskala Likert [15][16]. Setelah seluruh proses pengembangan selesai, dilakukan *Black Box Testing* untuk memverifikasi bahwa setiap fungsi sistem berjalan sesuai kebutuhan dan spesifikasi tanpa memperhatikan struktur internal maupun kode program yang digunakan [17].

G. Confusion Matrix

Confusion matrix merupakan instrumen dalam *machine learning* yang berfungsi untuk memetakan korelasi antara nilai aktual dan hasil prediksi pada proses klasifikasi [14]. Melalui metode ini, performa sistem dapat diukur secara komprehensif menggunakan parameter akurasi, presisi, sensitivitas, serta F-skor [14]. Secara struktural, matriks ini membagi data ke dalam dua kategori utama: Kelas Aktual yang merepresentasikan data asli, dan Kelas Prediksi yang merupakan output dari pemrosesan sistem

H. MSE

Mean Squared Error (MSE) merupakan metrik statistik yang digunakan untuk mengukur rata-rata kuadrat selisih antara nilai prediksi yang dihasilkan model dan nilai aktual yang diamati [6][18]. Perhitungan MSE dilakukan dengan menjumlahkan kuadrat dari setiap selisih antara nilai prediksi dan observasi, kemudian dibagi dengan jumlah data yang digunakan [18]. Nilai MSE yang lebih kecil menunjukkan performa model yang lebih baik, karena selisih antara prediksi dan nilai sebenarnya semakin rendah. Secara matematis, perhitungan MSE ditunjukkan pada rumus 1.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \hat{Y}_i\right)^2 \quad (1)$$

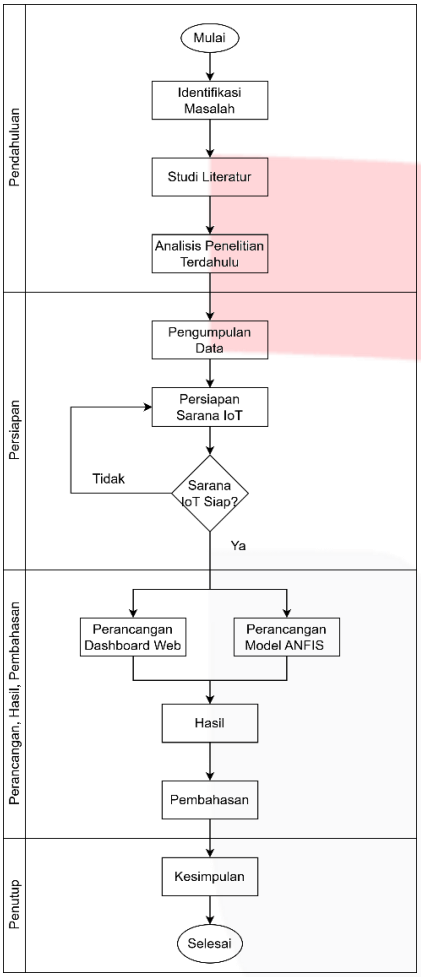
III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan rancang bangun dengan metode *prototyping* yang diintegrasikan dalam satu

kerangka alir penelitian. Subjek penelitian adalah Teras Greenhouse Tangkisan yang berlokasi di Desa Tangkisan, Purworejo. Objek penelitian mencakup pengembangan d*ashboard* berbasis web terintegrasi *Internet of Things* (IoT).

A. Rancangan Penelitian dan Diagram Alir

Penelitian dilakukan dengan tahapan yang disajikan pada diagram alir penelitian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



GAMBAR 3
(Diagram Alir Penelitian)

B. Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh dari dua sumber utama. Pertama, data primer berupa hasil wawancara semi-terstruktur dengan pemilik dan pengelola greenhouse mitra untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem, serta data sensor lingkungan yang direkam secara otomatis oleh sistem IoT selama tujuh hari pengamatan (18–25 April 2026) dengan interval pencatatan tiga menit. Kedua, data sekunder berupa jurnal ilmiah, buku referensi, dan penelitian terdahulu sebagai dasar teori yang relevan.

C. Persiapan Sarana IoT

Perancangan perangkat keras dimulai dari penyusunan wiring diagram yang menghubungkan seluruh sensor dan modul pendukung ke ESP32. Sensor AHT10, BH1750, RTC DS3231, dan ADS1115 dihubungkan melalui bus I2C, sedangkan sensor DS18B20 dan modul relay 4 channel menggunakan pin GPIO, dengan level logic shifter sebagai jembatan tegangan antara ESP32 (3,3 V) dan modul LCD (5 V). Firmware ESP32 dirancang menggunakan FreeRTOS dengan lima task paralel yang mencakup akuisisi sensor (filter median dan moving average), sinkronisasi log relay secara event-driven, manajemen konektivitas jaringan, pengiriman data near real-time, serta pencatatan periodik dan logika penyiraman otomatis. Sinkronisasi antar-task dikelola melalui mekanisme mutex dan semaphore. Selanjutnya, konektivitas backend menggunakan Supabase dengan lima tabel utama: sensor_logs untuk data time-series periodik, live_sensor untuk pembaruan near real-time, relay_logs untuk jejak aktivitas relay berbasis kejadian, live_relay sebagai jembatan perintah kontrol dari dashboard, dan automation untuk menyimpan parameter mode operasi dan konfigurasi penyiraman.

D. Perancangan Dashboard Web

Pengembangan dashboard web mengikuti tahapan *prototyping* sebagai berikut. Pada tahap *communication*, kebutuhan fungsional dan non-fungsional diidentifikasi berdasarkan hasil pengumpulan data bersama mitra. Pada tahap *quick plan and modeling quick design*, kebutuhan dipetakan ke fitur sistem, disusun jadwal pengembangan, kemudian dimodelkan menggunakan diagram UML. Pada tahap *construction of prototype*, antarmuka dibangun menggunakan Next.js. Pada tahap *deployment, delivery and feedback*, prototype di-deploy ke Vercel untuk kemudian diuji langsung oleh mitra. Evaluasi usability dilakukan menggunakan kuesioner System Usability Scale (SUS) dengan dua responden dari pihak mitra pada setiap akhir iterasi.

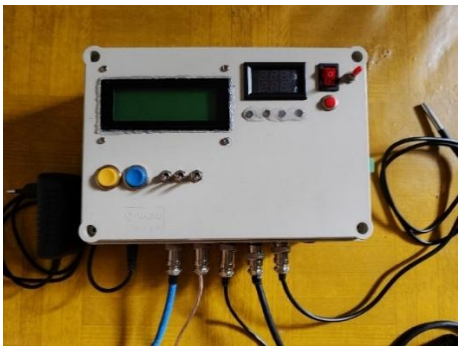
E. Perancangan Model ANFIS

Data pelatihan diambil dari tabel sensor_logs pada rentang 18–24 April 2026. Preprocessing mencakup standarisasi timestamp ke WIB, penyaringan hanya data dari mode automatic dan rentang siang (06.00–18.00 WIB), seleksi atribut (suhu udara, kelembapan tanah, intensitas cahaya, status relay), dan pembersihan nilai NaN. Dataset dibagi tanpa shuffle dengan porsi latih 70%, validasi 15%, dan uji 15%. Model ANFIS dikonfigurasi dengan tiga variabel input, masing-masing tiga fungsi keanggotaan Gaussian, membentuk 27 aturan fuzzy. Output dipetakan menggunakan fungsi sigmoid untuk klasifikasi biner (Siram/Tidak Siram). Pelatihan dilakukan selama 100 epoch dengan metode Hybrid Learning. Evaluasi menggunakan confusion matrix, akurasi, presisi, recall, dan F1-score.

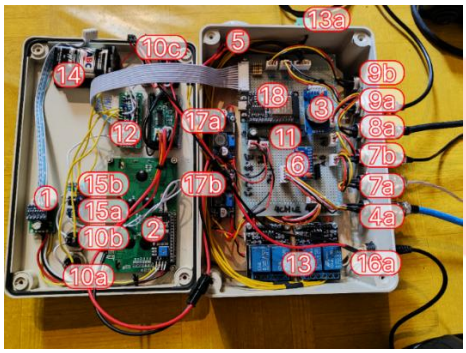
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Sarana IoT

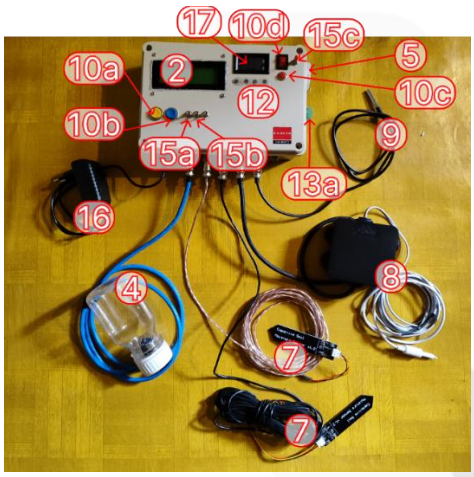
Seluruh komponen sistem IoT dirakit pada protoboard, kemudian dipindahkan ke dalam boks pelindung. Panel depan boks memuat LCD I2C 20×4 sebagai media tampilan parameter sensor, volt dan ampere meter, serta sejumlah saklar dan tombol kendali meliputi saklar ON/OFF, saklar mode catu daya, tombol restart, tombol alih mode, saklar notifikasi suara, dan saklar backlight LCD. Bagian bawah boks memuat konektor input daya dan antarmuka sensor untuk memudahkan pemasangan dan perawatan. Hasil perakitan perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 4 hingga Gambar 6.



GAMBAR 4
(Alat IoT yang Dirakit di Box)



GAMBAR 5
(Tampak Dalam Box Alat IoT)



GAMBAR 6
(Rangkaian Perangkat Keras Alat IoT)

Setiap komponen pada rangkaian telah diberi penanda nomor sebagai identifikasi perangkat. Keterangan dan fungsi dari masing-masing indeks nomor pada perangkat yang dirangkai ditunjukkan pada Tabel 1

TABEL 1
(Keterangan Perangkat Yang Dirangkai)

No	Nama Perangkat	Keterangan
1	Level Logic Shifter	Menyesuaikan sinyal 3.3V ESP32 dengan perangkat 5V (LCD).
2	LCD i2C 20x4	Menampilkan informasi secara langsung dari parameter sensor.
3	Modul RTC DS3231	Penyedia waktu real-time.
4	Sensor BH1750	Sensor intensitas cahaya untuk mengukur iluminasi lingkungan (lux).
4a	Konektor Sensor BH1750	Mengubungkan kabel sensor ke perangkat utama.
5	Sensor AHT10	Sensor suhu dan kelembapan udara.
6	Modul ADS1115	ADC eksternal untuk membaca data analog dengan resolusi lebih tinggi.
7	Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif	Membaca kelembapan tanah.
7a	Soket Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif Chanel 1	Mengubungkan kabel sensor ke perangkat utama.
7b	Soket Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif Chanel 2	Mengubungkan kabel sensor ke perangkat utama.
8	Sensor TDS	Menghitung jumlah padatan terlarut pada air (ppm).
8a	Soket Sensor TDS	Mengubungkan kabel sensor ke perangkat utama.
9	Sensor DS18B20	Sensor suhu dengan output digital.
9a	Soket Sensor DS18B20 Chanel 1	Mengubungkan kabel sensor ke perangkat utama.
9b	Soket Sensor DS18B20 Chanel 2	Mengubungkan kabel sensor ke perangkat utama.
10a	*Push Button* Mode	Tombol untuk masuk ke mode pengaturan (setup/config) saat perangkat dinyalakan.
10b	*Push Button* Tambahan	Tombol tambahan yang dapat digunakan jika dibutuhkan.
10c	*Push Button* Reset	Tombol untuk melakukan reset/restart sistem.
10d	Saklar ON OFF Alat IoT	Saklar utama untuk memutus dan menyambung daya perangkat secara keseluruhan.
11	*Buzzer* Aktif	Indikator audio untuk notifikasi status system.
12	LED Indikator	Indikator visual untuk menunjukkan kondisi tertentu, seperti status koneksi dan status relay.
13	Modul *Relay*	Saklar elektronik yang dapat dikontrol untuk mengendalikan beban eksternal.
13a	Konektor *Relay*	Konektor keluaran relay menuju beban eksternal.
14	Baterai 9 Volt	Sumber daya cadangan/alternatif.
15a	Saklar *Backlight* LCD	Saklar untuk mengaktifkan/menonaktifkan lampu latar LCD.
15b	Saklar *Buzzer*	Saklar untuk mengaktifkan / menonaktifkan notifikasi suara.
15c	Saklar Mode Daya	Saklar pemilih sumber catu daya, menggunakan baterai internal atau daya dari adaptor eksternal.
16	Adaptor AC to DC 12 Volt 2 Ampere	Catu daya utama untuk menyuplai sistem dari listrik AC 220V menjadi DC 12V.
16a	Soket *Adaptor AC to DC* 12 *Volt* 2 *Ampere*	Soket input adaptor sebagai titik masuk catu daya eksternal ke rangkaian.
17	*Volt* dan *Ampere* meter	Menampilkan informasi arus listrik dan tegangan kerja yang sedang berjalan pada perangkat IoT.
17a	LM 2596 DC to DC 3.3v	Modul step-down untuk menurunkan 12V menjadi 3.3V sebagai suplai perangkat berdaya 3.3V.
17b	LM 2596 DC to DC 5v	Modul step-down untuk menurunkan 12V menjadi 5V sebagai suplai perangkat berdaya 5V.
18	ESP32 Dev *Module*	Unit mikrokontroler utama yang menjalankan program, membaca sensor, mengendalikan relay, serta mengatur komunikasi jaringan ke backend.

Tahapan berikutnya yaitu, pemasangan sensor di lapangan dilakukan pada titik representatif: sensor BH1750 ditempatkan di area yang menerima paparan cahaya optimal, sensor kelembapan tanah kapasitif dibenamkan pada media tanam, sensor TDS ditempatkan pada jalur air irigasi, serta sensor DS18B20 dipasang untuk mengukur suhu tanah dan suhu udara secara terpisah.

B. Hasil Dashboard WEB

1. Comunication

Pada iterasi pertama, tahap communication dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan dashboard web berdasarkan kondisi operasional greenhouse mitra. Hasil identifikasi berupa kebutuhan fungsional sistem yang digunakan sebagai dasar pengembangan, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

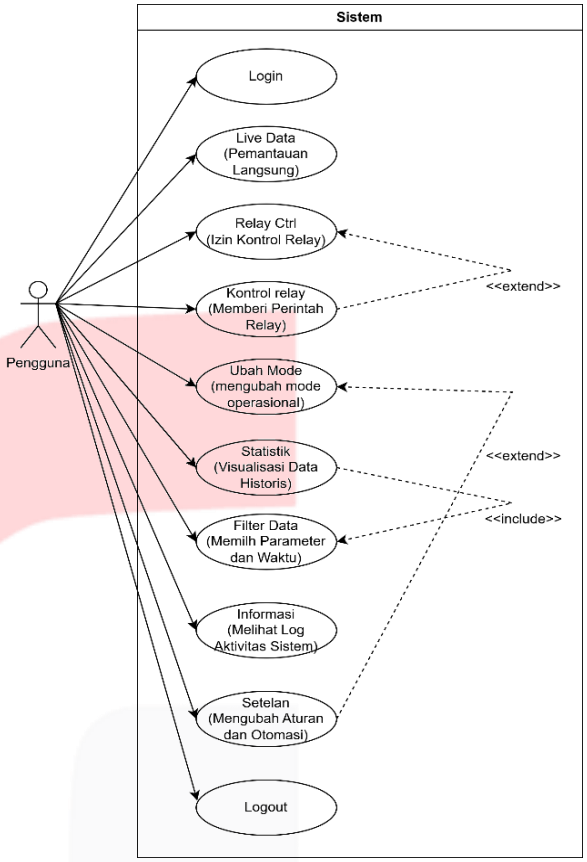
TABEL 2

(Kebutuhan Fungsional Dashboard Web Iterasi 1)

No	Kebutuhan Fungsional	Tujuan	Fitur Sistem
1	Login *dashboard web.*	Membatasi akses hanya digunakan oleh pengguna berwenang.	Login
2	Fitur menampilkan data sensor secara langsung dengan toleransi < 10 detik serta fitur dapat dinonaktifkan.	Pemantauan kondisi lingkungan secara near real-time dan mengurangi beban jaringan saat pemantauan langsung tidak diperlukan.	Live Data
3	Fitur master relay sebagai sakelar utama untuk mengatur izin operasional seluruh relay pada sistem..	Mengurangi beban jaringan serta beban perangkat saat control relay manual tidak diperlukan.	Relay Ctrl
4	Kontrol relay disertai umpan balik.	Memastikan status ON/OFF relay terkonfirmasi pada antarmuka pengguna.	Kontrol Relay
5	Fitur ganti mode operasi (Auto, Manual, Smart).	Memberi fleksibilitas pengoperasian sesuai kebutuhan pengguna.	Ubah Mode
6	Melihat data historis tersimpan	Meninjau riwayat kondisi lingkungan untuk analisis tren.	Statistik
7	Memfilter data historis berdasarkan paameter sensor dan rentang waktu.	Memberi ringkasan cepat untuk membaca kondisi dominan tanpa meninjau seluruh data mentah.	Filter Data
8	Menampilkan log aktivitas sistem.	Melihat aktivitas kontrol serta penelusuran kejadian saat terjadi masalah.	Informasi
9	Mengubah setelan otomatisasi seperti target kelembapan tanah minimum, durasi siram, tunda penyiraman, interval pengecekan.	Mengatur parameter operasi sesuai kebutuhan budidaya tanpa mengubah kode program di ESP32. Seperti ambang batas (min/max), waktu tunda, dan durasi siram.	Setelan
10	Logout *dashboard web.*	Keluar dari *dashboard web* dengan mengakhiri sesi yang terautentikasi.	Logout

2. Quick Plan Modeling and Quick Design

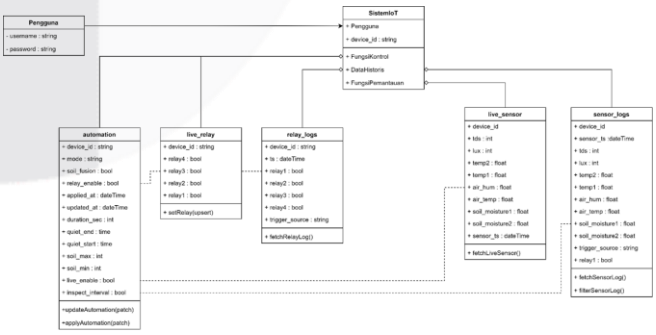
Tahap *quick plan modeling* dan *quick design* dilakukan dengan memetakan kebutuhan sistem, merancang struktur data, model interaksi pengguna, dan desain awal dashboard menggunakan Figma. *Use case diagram* iterasi pertama menggambarkan interaksi pengguna dengan fitur utama dashboard, seperti monitoring, kontrol, pengaturan sistem, dan logout. Diagram ini menunjukkan hubungan antara pengguna, dashboard, Supabase, dan ESP32. *Use case diagram* ditunjukkan pada Gambar 7.



GAMBAR 7.

(Use Case Diagram Dashboard Web Iterasi 1)

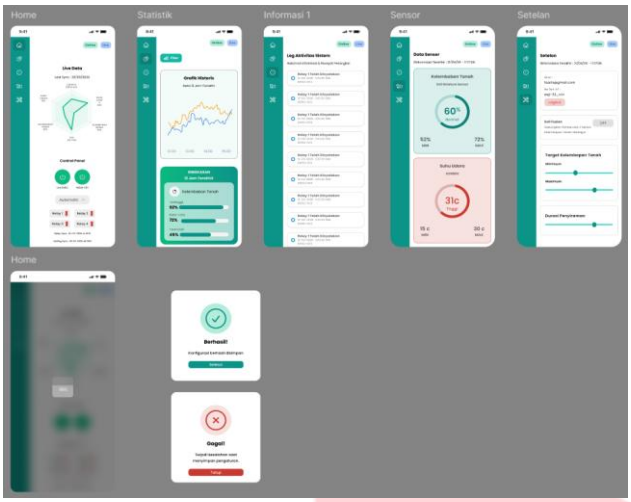
Class diagram iterasi pertama menggambarkan struktur data dan hubungan antar komponen sistem, yang meliputi data pengguna, sensor, relay, log historis, konfigurasi otomatisasi, dan perangkat. Diagram ini mendukung pengelolaan data monitoring, kontrol aktuator, pencatatan riwayat, serta pengaturan sistem otomatis. Class diagram ditunjukkan pada Gambar 8.



GAMBAR 8

(Class Diagram Iterasi 1)

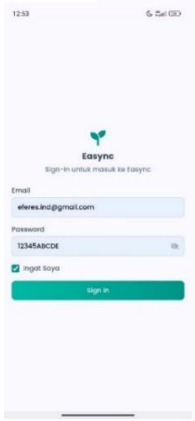
Tahap desain antarmuka dilakukan menggunakan Figma. Mockup digunakan sebagai gambaran awal tampilan dashboard sebelum diimplementasikan ke dalam prototipe web. Rancangan mencakup halaman login, beranda, statistik, informasi, setelan dan setelan.



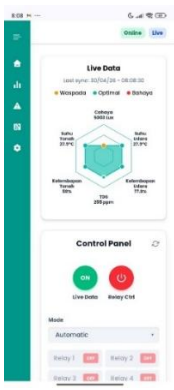
GAMBAR 9
(Desain Mockup Dashboard Web)

3. Construtction of Prototype

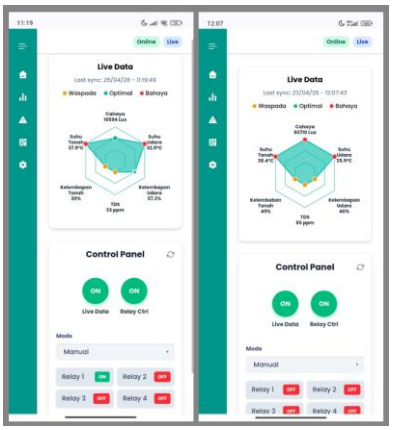
Prototipe iterasi pertama dibangun menggunakan Next.js dan terdiri atas lima halaman utama: (1) Login sebagai gerbang autentikasi dengan opsi simpan sesi; (2) Beranda sebagai pusat monitoring radar chart enam parameter sensor dan panel kontrol relay; (3) Statistik menampilkan grafik historis dengan fitur filter parameter dan rentang waktu; (4) Informasi menampilkan log aktivitas sistem beserta sumber pemicu dan timestamp; serta (5) Setelan untuk konfigurasi parameter otomatisasi. Tampilan antarmuka ditunjukkan pada Gambar 10–16.



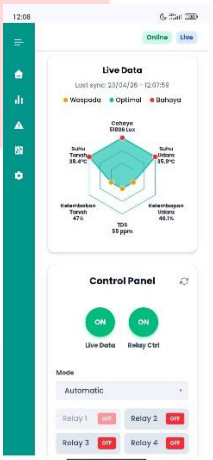
GAMBAR 10
(Tampilan Halaman Login)



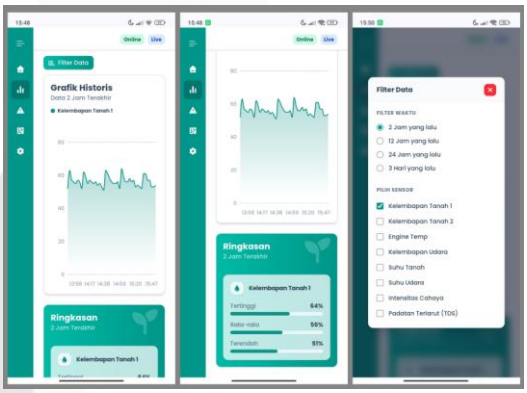
GAMBAR 11
(Tampilan Halaman Beranda)



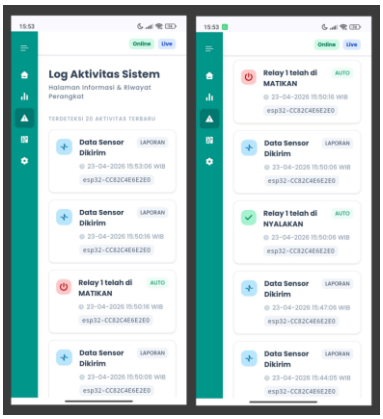
GAMBAR 12
(Tampilan Dashboard pada Mode Manual)



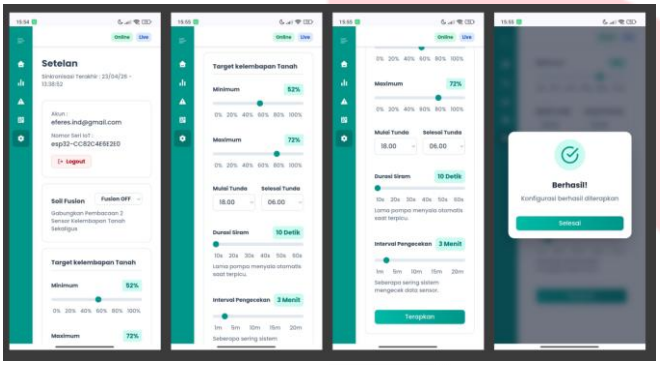
GAMBAR 13
(Tampilan Dashboard pada *Mode Automatic*)



GAMBAR 14
(Tampilan Halaman Statistik)



GAMBAR 15
(Tampilan Halaman Informasi)



GAMBAR 16
(Tampilan Halaman Setelan)

4. Deploy Delivery and Feedback

Dashboard web iterasi pertama di-deploy menggunakan Vercel. Tahap delivery dilakukan dengan memperlihatkan fitur yang telah tersedia kepada pengguna, kemudian mitra mencoba dashboard secara langsung pada perangkat mobile. Selanjutnya didapatkan feedback dari mitra sebagai dasar pengembangan iterasi kedua, melalui evaluasi *usability* dan wawancara, yang dilakukan menggunakan *System Usability Scale* dengan dua responden. Hasil perhitungan SUS iterasi pertama ditunjukkan pada Tabel 3.

TABEL 3
(Hasil Perhitungan Skor SUS Iterasi 1)

No	Perhitungan	Responden 1	Responden 2
1	Total skor pertanyaan ganjil	18	24
2	Perhitungan nilai SUS ganjil	13	19
3	Total skor pertanyaan genap	17	9
4	Perhitungan nilai SUS genap	8	16
5	Total nilai SUS	21	35
6	Skor akhir SUS	52.5	87.5
7	Skor rata-rata SUS	70	

5. Comunication

Tahap *communication* iterasi kedua dilakukan berdasarkan hasil evaluasi dan umpan balik pada iterasi pertama. Pada tahap ini, kebutuhan sistem berkembang menjadi antarmuka yang lebih informatif, aman, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Kebutuhan fungsional tambahan ditunjukkan pada Tabel 4, sedangkan kebutuhan non-fungsional ditunjukkan pada Tabel 5.

TABEL 4
(Kebutuhan Fungsional Dashboard Web Iterasi 2)

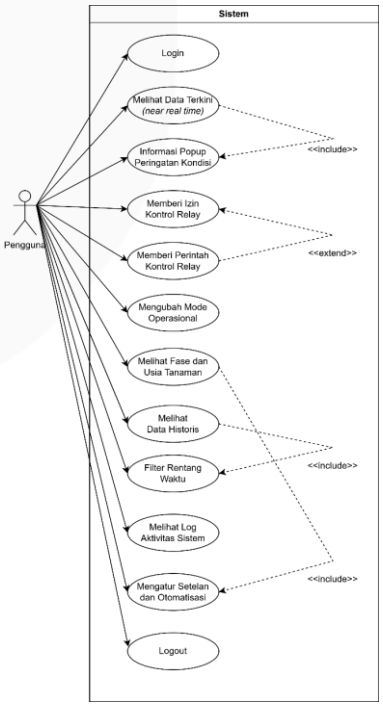
No	Kebutuhan Fungsional	Tujuan
1	Informasi pop-up peringatan Ubah Mode Operasional	Memberikan informasi pop-up ketika mengubah mode operasional sebagai konfirmasi.
2	Informasi pop-up peringatan kelembapan tanah	Memberikan informasi pop-up ketika kelembapan tanah berada pada kondisi dibawah atau diatas rentang normal
3	Fitur pengingat usia tanaman	Membantu pemantauan umur tanaman berdasarkan tanggal tanam sebagai acuan kegiatan budidaya
4	Opsi input penentuan durasi siram dengan *slider* maksimal durasinya dipanjangkan hingga 2 menit	Memberi fleksibilitas pengaturan durasi penyiraman agar sesuai kebutuhan operasional di lapangan

TABEL 5
(Kebutuhan Non-Fungsional)

No	Kebutuhan Non-Fungsional	Tujuan
1	Nama fitur diselaraskan memakai bahasa indonesia, dengan sidikit perubahan UI	Meningkatkan konsistensi tampilan dan mempermudah pengguna dalam mengenali fitur pada dashboard
2	Judul dan deskripsi keterangan di setelan	Meningkatkan kejelasan informasi agar pengguna lebih mudah memahami fungsi dan dampak setiap parameter konfigurasi

6. Quick Plan Modeling and Quick Design

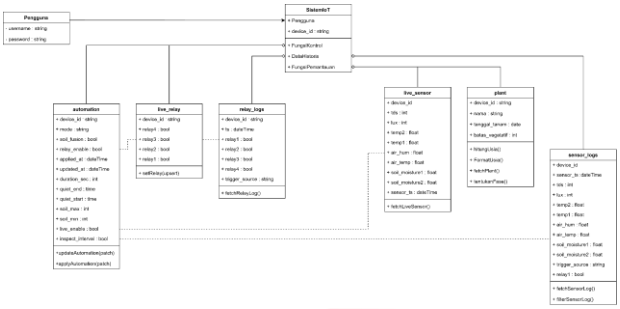
Pada tahap *quick plan modeling and quick design* iterasi kedua, sistem dikembangkan berdasarkan umpan balik pengguna pada iterasi pertama, ditunjukkan pada Gambar 17.



GAMBAR 17
(Use Case Diagram Dashboard Web Iterasi 2)

Class diagram juga diperbarui dengan penambahan kelas plant yang menyimpan informasi nama tanaman, tanggal

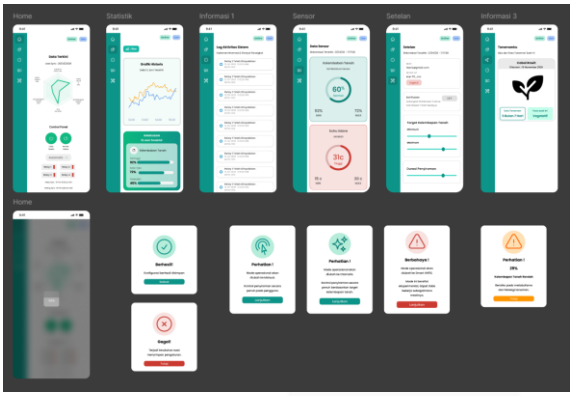
tanam, usia tanaman, dan fase pertumbuhan. Penambahan kelas ini mendukung fitur Tanamanku tanpa mengubah struktur utama sistem yang telah dibangun pada iterasi sebelumnya, dan ditunjukkan pada Gambar 18.



GAMBAR 18

(Class Diagram Iterasi 2)

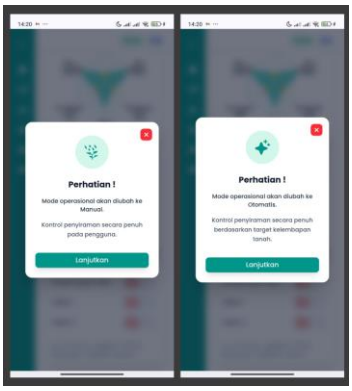
Desain antarmuka pada Figma diperbarui untuk mengakomodasi fitur baru, meliputi *pop-up* konfirmasi perubahan mode dan peringatan kelembapan tanah, fitur Tanamanku, penyesuaian durasi siram 120 detik, serta menu setelan yang lebih informatif ditunjukkan pada Gambar 19.



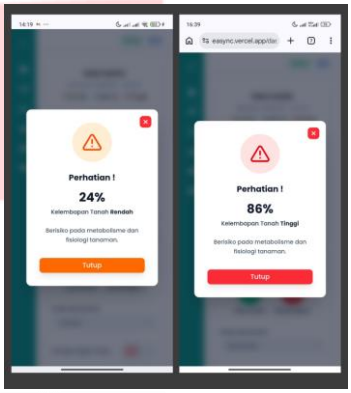
GAMBAR 19
(Desain Figma Iterasi Kedua)

7. Construtction of Prototype

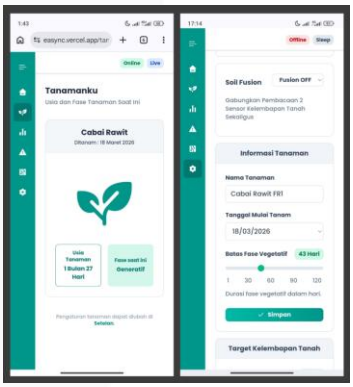
Iterasi kedua menambahkan empat fitur baru berdasarkan umpan balik mitra: (1) pop-up konfirmasi perubahan mode operasional yang menampilkan ringkasan konsekuensi sebelum perubahan diterapkan (Gambar 20); (2) pop-up peringatan kelembapan tanah dengan indikator warna oranye (rendah) dan merah (tinggi) (Gambar 21); (3) fitur Tanamanku yang menampilkan nama tanaman, tanggal tanam, usia, dan fase pertumbuhan secara otomatis (Gambar 22); serta (4) slider durasi siram hingga 120 detik (Gambar 23). Selain itu dilakukan penyelarasan istilah ke Bahasa Indonesia dan penambahan deskripsi pada menu Setelan (Gambar 24–25).



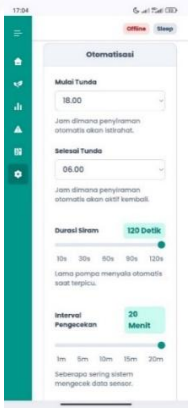
GAMBAR 20
(Informasi Pop-up Ubah Mode Operasional)



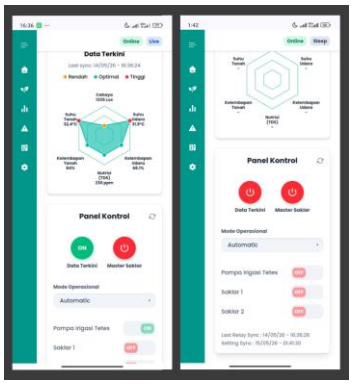
GAMBAR 21
(Pop-up Peringatan Kelembapan Tanah)



GAMBAR 22
(Fitur Pengingat Usia Tanaman)



GAMBAR 23
(Input Durasi Siram hingga Dua Menit)



GAMBAR 24
(Penyelarasan Bahasa di Beranda)



GAMBAR 25
(Menu Setelan Baru)

8. Deploy Delivery and Feedback

Pada tahap *deploy, delivery, and feedback* iterasi kedua, dashboard yang telah diperbarui di-*deploy* menggunakan Vercel dan dapat diakses melalui perangkat mobile tanpa instalasi tambahan. Setelah demonstrasi fitur baru dan uji coba oleh mitra, evaluasi *usability* kembali dilakukan menggunakan *System Usability Scale* (SUS) dengan dua responden yang sama. Hasil perhitungan SUS iterasi kedua ditunjukkan pada Tabel 6.

TABEL 6

(Pengujian SUS Iterasi Kedua)

No	Perhitungan	Responden 1	Responden 2
1	Total skor pertanyaan ganjil	14	17
2	Perhitungan nilai SUS ganjil	14	17
3	Total skor pertanyaan genap	12	15
4	Perhitungan nilai SUS genap	12	15
5	Total nilai SUS	26	32
6	Skor akhir SUS	65	80
7	Skor rata-rata SUS	72.5	

9. Blackbox Testing

Pengujian Black Box dilakukan terhadap 41 skenario yang mencakup seluruh fitur dashboard. Seluruh skenario dinyatakan berhasil (*pass*). Ringkasan hasil pengujian per kelompok fitur disajikan pada Tabel 7.

TABEL 7

(Black Box Testing)

No	Fitur	Skenario	Hasil yang diharapkan	Status
1	Login	Masukkan email dan password benar lalu klik Login	Berhasil masuk ke Dashboard, sesi aktif dibuat.	Berhasil
		Masukkan kredensial salah, klik Login	Muncul pesan error Gagal Login	Berhasil
		Klik tombol "Logout" di halaman Setelan.	Keluar dari dashboard web, pengguna diarahkan kembali ke Login.	Berhasil
2	Monitoring Intensitas Cahaya	Lihat dan amati nilai intensitas cahaya pada grafik radar.	Nilai intensitas cahaya tampil secara *near real-time* dan grafik bergeser secara dinamis sesuai data sensor yang masuk.	Berhasil
3	Monitoring Suhu Udara	Lihat dan amati suhu udara pada grafik radar.	Nilai suhu udara tampil secara *near real-time* dan grafik bergeser secara dinamis sesuai data sensor yang masuk.	Berhasil
4	Monitoring Kelembapan Udara	Lihat dan amati nilai kelembapan udara pada grafik radar.	Nilai Kelembapan udara tampil secara *near real-time* dan grafik bergeser secara dinamis sesuai data sensor yang masuk.	Berhasil
5	Monitoring Nutrisi (TDS)	Lihat dan amati nilai nutrisi terlarut pada grafik radar.	Nilai PPM TDS tampil secara *near real-time* dan grafik bergeser secara dinamis sesuai data sensor yang masuk.	Berhasil
6	Monitoring Kelembapan Tanah	Lihat dan amati nilai kelembapan tanah pada grafik radar.	Nilai kelembapan tanah tampil secara *near real-time* dan grafik bergeser secara dinamis sesuai data sensor yang masuk.	Berhasil
7	Monitoring Suhu Tanah	Lihat dan amati nilai suhu tanah pada grafik radar.	Suhu tanah tampil secara *near real-time* dan grafik	Berhasil

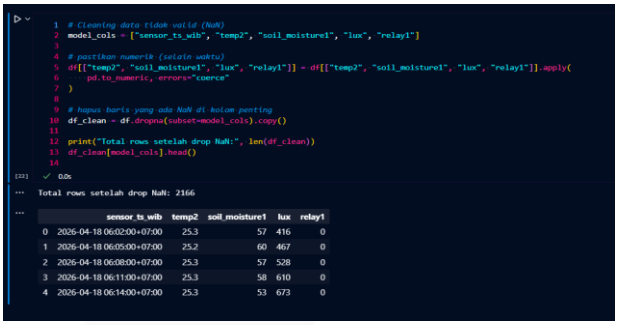
No	Fitur	Skenario	Hasil yang diharapkan	Status
			bergeser secara dinamis sesuai data sensor yang masuk.	
8	Popup kondisi rendah	Picu kondisi kelembapan tanah di bawah batas minimum.	Popup "Perhatian!" muncul dengan tema warna Orange.	Berhasil
9	Popup kondisi tinggi	Picu kondisi kelembapan tanah di atas batas maksimum.	Popup "Perhatian!" muncul dengan tema warna Merah.	Berhasil
10	Data Terkini ON	Mengubah status "Data Terkini" dari OFF ke ON.	Grafik radar mulai melakukan pembaruan data sensor.	Berhasil
11	Data Terkini OFF	Mengubah status "Data Terkini" dari ON ke OFF.	Polling data berhenti, grafik hilang.	Berhasil
12	Master Saklar ON	Mengubah status "Master Saklar" dari OFF ke ON.	Kontrol saklar individu (relay) menjadi aktif/bisa diklik.	Berhasil
13	Master Saklar OFF	Mengubah status "Master Saklar" dari ON ke OFF.	Semua saklar individu terkunci (disabled) dan non-aktif.	Berhasil
14	Pompa Irigasi ON	Klik saklar Pompa Irigasi Tetes dari posisi OFF.	Status berubah menjadi ON, pompa fisik menyala.	Berhasil
15	Pompa Irigasi OFF	Klik saklar Pompa Irigasi Tetes dari posisi ON.	Status berubah menjadi OFF, pompa fisik mati.	Berhasil
16	Saklar 1 ON	Klik Saklar 1 dari posisi OFF.	Status berubah menjadi ON, perangkat pada saklar 1 menyala.	Berhasil
17	Saklar 1 OFF	Klik Saklar 1 dari posisi ON.	Status berubah menjadi OFF, perangkat pada saklar 1 mati.	Berhasil
18	Saklar 2 ON	Klik Saklar 2 dari posisi OFF.	Status berubah menjadi ON, perangkat pada saklar 2 menyala.	Berhasil
19	Saklar 2 OFF	Klik Saklar 2 dari posisi ON.	Status berubah menjadi OFF, perangkat pada saklar 2 mati.	Berhasil
20	Mode Manual	Pilih mode "Manual" pada dropdown operasional.	Muncul popup konfirmasi untuk beralih ke kontrol manual.	Berhasil
21	Mode Automatic	Pilih mode "Automatic" pada dropdown operasional.	Muncul popup konfirmasi untuk beralih ke kontrol otomatis.	Berhasil
22	Identitas tanaman	Melihat nama tanaman dan tanggal mulai tanam.	Tampil nama tanaman dan tanggal tanam sesuai dengan input di Setelan.	Berhasil
23	Usia tanaman	Melihat perhitungan otomatis usia tanaman.	Usia tanaman tampil dalam format Hari/Bulan/Tahun.	Berhasil
24	Fase tanaman	Melihat penentuan fase (Vegetatif/Generatif).	Fase berubah otomatis berdasarkan usia vs batas vegetatif.	Berhasil
25	Filter Data	Membuka modal filter data.	Modal muncul.	Berhasil
		Memilih rentang waktu (misal: 12 Jam, 24 Jam, 3 Hari).	Grafik dan ringkasan memperbarui data sesuai rentang waktu terpilih.	Berhasil
		Memilih sensor yang ingin ditampilkan di grafik.	Grafik hanya menampilkan garis data sensor yang dicentang.	Berhasil
		Menutup modal filter dan melihat perubahan.	Grafik dan ringkasan diperbarui seketika sesuai filter yang baru disetel.	Berhasil
26	Statistik	Mengarahkan kursor (hover) ke titik grafik.	Tooltip muncul menampilkan nilai sensor dan waktu perekaman.	Berhasil
		Melihat panel ringkasan di sisi kanan (atau bawah mobile).	Tampil nilai Tertinggi, Rata-rata, dan Terendah untuk tiap sensor.	Berhasil
27	Log aktivitas	Melihat daftar riwayat aktivitas sistem.	Tampil daftar 20 aktivitas terbaru dari sensor dan relay.	Berhasil
28	Pemicu log	Melihat kolom sumber pemicu (Manual/Auto/Smart).	Label sumber pemicu tampil sesuai dengan asal perintah.	Berhasil
29	Timestamp log	Melihat waktu kejadian pada setiap baris log.	Waktu tampil lengkap (Tanggal, Bulan, Tahun,	Berhasil

No	Fitur	Skenario	Hasil yang diharapkan	Status
			Jam, Menit, Detik).	
30	Kartu sensor	Melihat kartu data sensor (8 parameter).	Tampil 8 kartu sensor: Tanah 1, Tanah 2, Engine, Kelembapan Udara, Suhu Tanah, Suhu Udara, Cahaya, TDS.	Berhasil
31	Status visual	Melihat indikator warna pada kartu sensor.	Warna kartu berubah (Hijau: Optimal, Orange: Rendah, Merah: Tinggi, Abu: Offline).	Berhasil
32	Detail Min/Max	Melihat nilai batas minimum dan maksimum di bawah kartu kelembapan tanah.	Nilai MIN dan MAX kelembapan tanah tampil sesuai dengan konfigurasi di halaman Setelan.	Berhasil
33	Soil Fusion	Mengubah pilihan "Soil Fusion" (OFF/ON).	Muncul modal "Berhasil!" dan status fusion diperbarui.	Berhasil
34	Data tanaman	Mengisi nama tanaman & tanggal, lalu klik "Simpan".	Tombol "Simpan" aktif hanya jika data lengkap; data tersimpan ke sistem.	Berhasil
35	Batas vegetatif	Menggeser slider Batas Fase Vegetatif.	Nilai hari pada badge berubah sesuai pergeseran slider.	Berhasil
36	Ambang kelembapan	Mengatur slider Minimum & Maksimum Kelembapan.	Nilai % pada label berubah, sistem menggunakan nilai ini untuk pemicu pompa.	Berhasil
37	Waktu tunda	Mengatur jam "Mulai Tunda" dan "Selesai Tunda".	Format input jam (HH:mm) sesuai; sistem tidak menyiram pada rentang ini.	Berhasil
38	Parameter siram	Mengatur slider "Durasi Siram" & "Interval Cek".	Nilai detik/menit terupdate; durasi pompa menyala berubah sesuai input.	Berhasil
39	Feedback simpan	Klik tombol "Terapkan" pada bagian target kelembapan.	Muncul modal popup konfirmasi keberhasilan.	Berhasil
40	Sinkronisasi setelan	Melihat teks "Sinkronisasi Terakhir" di bagian header.	Menampilkan waktu terakhir kali pengaturan berhasil diterapkan ke perangkat.	Berhasil
41	Tombol logout	Klik tombol "Logout" di dalam box Info Akun.	Pengguna keluar dari aplikasi dan diarahkan ke halaman login.	Berhasil

C. Hasil Model ANFIS

1. Preprocessing

Dataset diperoleh dari tabel *sensor_logs* dengan data 18–24 April 2026 untuk pelatihan dan 24–25 April 2026 untuk inferensi. Setelah standarisasi *timestamp*, penyaringan data mode otomatis pada rentang 06.00–18.00 WIB, seleksi atribut, dan pembersihan nilai *NaN*, diperoleh dataset yang siap digunakan. Hasil *preprocessing* ditunjukkan pada Gambar 26.



GAMBAR 26
(Hasil Pembersihan Data NaN)

2. Konfigurasi dan Pelatihan Model

Dataset dibagi tanpa shuffle dengan porsi latih 70%, validasi 15%, dan uji 15%. Model ANFIS dikonfigurasi dengan variabel input suhu udara, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya, serta output biner (0=Tidak Siram, 1=Siram). Setiap input direpresentasikan oleh tiga fungsi keanggotaan Gaussian yang dikonversi dari rentang kategori segitiga (Rendah/Sedang/Tinggi), menghasilkan 27 aturan fuzzy. Rentang kategori dan parameter Gaussian setelah konversi disajikan pada Tabel 8.

TABEL 8

(Fungsi Keanggotaan Fuzzy Gaussian)

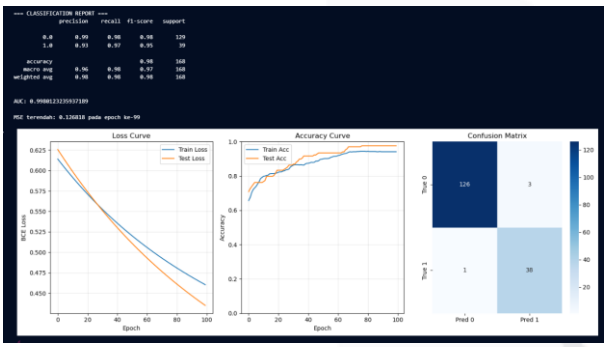
Parameter	Kategori 1	μ 1	σ 1	Kategori 2	μ 2	σ 2	Kategori 3	μ 3	σ 3
Suhu Udara	Rendah	13.0	3.9514	Sedang	27.0	0.9119	Sedang	34.0	1.8237

Parameter	Kategori 1	μ 1	σ 1	Kategori 2	μ 2	σ 2	Kategori 3	μ 3	σ 3
Kelembapan Tanah (%)	Rendah	27.5	8.3587	Sedang	62.5	3.7994	Sedang	85.0	4.5593
Intensitas Cahaya	Rendah	4000	1215.8055	Sedang	11000.0	1215.8055	Sedang	32000.0	5471.1246

Parameter consequent diinisialisasi menggunakan pendekatan least squares (LSE) sebelum pelatihan. Pelatihan dilakukan selama 100 epoch dengan metode Hybrid Learning yang menggabungkan *backpropagation* untuk memperbarui parameter premis dan konsekuen. Output akhir Layer 5 dipetakan melalui fungsi sigmoid untuk menghasilkan probabilitas klasifikasi, dengan ambang keputusan 0,5.

3. Evaluasi Performa Model

Hasil evaluasi model ANFIS pada data uji disajikan pada Tabel 6. Kurva loss dan akurasi per epoch menunjukkan konvergensi yang stabil dengan nilai MSE terendah sebesar 0,127 pada epoch ke-99. Visualisasi hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 27.



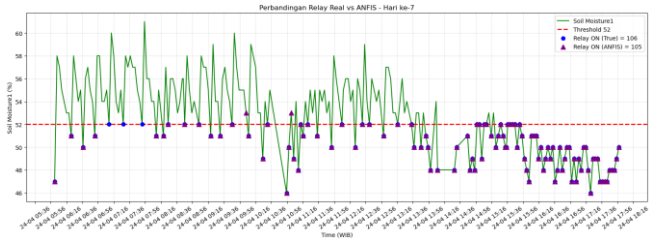
GAMBAR 28

(Visualisasi Hasil Pelatihan Model ANFIS)

Akurasi 98% menunjukkan kemampuan model dalam merepresentasikan pola keputusan penyiraman dengan sangat baik. Presisi kelas Siram sebesar 93% mengindikasikan bahwa ketika model memprediksi penyiraman diperlukan, prediksi tersebut benar dalam 93% kasus.

4. Hasil Inferensi

Inferensi dilakukan menggunakan data hari ke-7 (24–25 April 2026) yang berada di luar rentang data pelatihan. Hasil menunjukkan bahwa sistem otomatis mencatat 106 kejadian penyiraman aktual, sedangkan model ANFIS memprediksi 105 kejadian. Visualisasi perbandingan titik siram aktual dan prediksi ANFIS ditunjukkan pada Gambar 28.



GAMBAR 28

(Visualisasi Titik Siram Aktual dan Prediksi)

Selisih hanya satu kejadian dari 106 total penyiraman aktual menunjukkan kemampuan generalisasi model yang sangat baik terhadap data baru. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa ANFIS memiliki potensi kuat sebagai dasar pengembangan sistem adaptif yang mampu belajar dari pola data sensor lingkungan untuk mendukung pengambilan keputusan penyiraman secara otomatis.

D. Pembahasan

Sistem IoT berbasis ESP32 berhasil beroperasi di lingkungan budidaya greenhouse dengan desain konektor modular yang memudahkan pemasangan dan penggantian sensor. Arsitektur FreeRTOS terbukti efektif memungkinkan pembacaan sensor, komunikasi jaringan, dan kontrol relay berjalan secara paralel tanpa interferensi melalui mekanisme mutex dan semaphore untuk menjaga integritas data. Sistem mencatat data setiap tiga menit secara kontinu selama tujuh hari, menghasilkan dataset untuk pelatihan model ANFIS.

Metode prototyping terbukti efektif mengekspos kebutuhan yang tidak teridentifikasi sejak awal. Munculnya kebutuhan pop-up peringatan, fitur Tanamanku, dan penyelarasan bahasa setelah mitra berinteraksi langsung dengan prototipe membuktikan relevansi pendekatan ini. Peningkatan skor SUS dari 70,0 menjadi 72,5 mengkonfirmasi bahwa perbaikan berbasis umpan balik berdampak langsung pada usabilitas. Kesenjangan skor antara owner (52,5 → 65) dan pengelola (87,5 → 80) mencerminkan perbedaan ekspektasi berdasarkan intensitas penggunaan, di mana pengguna yang lebih sering berinteraksi dengan sistem cenderung memberikan penilaian lebih kritis.

Model ANFIS yang dikonfigurasi dengan 27 aturan fuzzy dari tiga input berhasil merepresentasikan pola keputusan penyiraman dengan akurasi 98%. Nilai ini melampaui akurasi 95% yang dilaporkan pada penelitian serupa menggunakan ANFIS untuk prediksi irigasi. Hasil inferensi dengan selisih hanya satu kejadian dari 106 total penyiraman aktual menunjukkan potensi ANFIS untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai komponen pengambilan keputusan yang adaptif. Ke depan, hasil inferensi dapat diintegrasikan langsung ke logika kontrol relay agar penyiraman berjalan berdasarkan prediksi pola multi-parameter sensor, bukan hanya aturan batas ambang sederhana.

Pengembangan lanjutan yang diprioritaskan mencakup: (1) integrasi hasil inferensi ANFIS langsung ke logika kontrol relay ESP32 agar penyiraman berjalan adaptif berdasarkan prediksi pola sensor; (2) penggantian sensor TDS dengan sensor N-P-K untuk informasi nutrisi yang lebih spesifik sebagai input tambahan model; serta (3) pengembangan aplikasi mobile native agar monitoring dan kontrol dapat dilakukan tanpa bergantung pada browser.

V. KESIMPULAN

Dashboard smart farming berbasis web terintegrasi IoT berhasil dirancang dan dibangun menggunakan metode *prototyping* dua iterasi. Sistem memanfaatkan ESP32 untuk mengakuisisi data multi-parameter sensor yang dikirim ke Supabase dan ditampilkan secara near real-time pada dashboard, serta menyediakan kontrol irigasi tetes jarak jauh dengan mode manual dan otomatis. Hasil Black Box Testing menunjukkan seluruh fungsi monitoring, kontrol, dan pencatatan data berjalan sesuai kebutuhan. Evaluasi usability menggunakan System Usability Scale (SUS) menunjukkan peningkatan skor rata-rata dari 70,0 menjadi 72,5 pada iterasi kedua, termasuk kategori acceptable Grade C dan berada di atas rata-rata global SUS sebesar 68. Model ANFIS dengan tiga input sensor dan fungsi keanggotaan Gaussian berhasil mengklasifikasikan keputusan penyiraman dengan akurasi 98% dan presisi kelas Siram sebesar 93%. Pengujian pada data baru menghasilkan selisih hanya satu kejadian dari 106 penyiraman aktual, menunjukkan kemampuan generalisasi model yang baik sebagai pendukung pengambilan keputusan adaptif pada sistem budidaya.

REFERENSI

[1] Kementerian Pertanian, *Outlook Cabai 2023*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian, 2024.

[2] N. Sevirasari, C. Adileksana, and A. B. Pratama, *Modul Pembelajaran Praktik Pertanian Terbaik Budi Daya Cabai Merah*. Edu Farmers International Foundation, 2023. [Online]. Available: https://www.edufarmers.org/cfind/source/files/learning-modules/modul-cabai-edufarmers.pdf

[3] R. S. Setiadi and F. Sulianta, "Smart Monitoring And Watering Of Chili Plants Using A Fuzzy Mamdani System," *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, vol. 4, no. 1, pp. 247–256, 2023, doi: 10.52436/1.jutif.2023.4.1.505.

[4] F. T. R. I. Atmaja and M. Fachrie, "Aplikasi Mobile Untuk Monitoring Tanaman Hidroponik Kangkung Berbasis Thingspeak dan Firebase Mobile Application for Hydroponic Plant Monitoring of Kale Based on Thingspeak and Firebase," vol. 10, pp. 176–188.

[5] N. S. Adhi and K. D. Irianto, "Evaluation of Smart Agriculture Prototype using SUS Method," vol. 8, no. 1, 2026, doi: 10.35842/ijicom.

[6] Salman, "Sistem Prediksi Irigasi Otomatis Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Anfis) Pada Smart Farming," *Jurnal Tugas Akhir Fakultas Informatika*, 2024.

[7] H. Februariyanti, T. Khristianto, A. Jananto, and E. Nurraharjo, "Analisis Sistem Kontrol Kelembapan Ruang Budidaya Berbasis ANFIS-IoT," *Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE)*, vol. 7, no. 2, pp. 119–133, 2025, doi: 10.20895/jtece.v7i2.1833.

[8] E. Ardias, N. Sharon, R. Azhar, and F. Syafa, "Penerapan Sistem Fertigasi Otomatis Berbasis Solar Panel untuk Efisiensi Produksi Cabai di Desa Sibedi Pendahuluan," vol. 5, no. 4, pp. 3160–3169, 2025.

[9] Ningsi Putri Srimulia, "Peran Smart Farming ,IoT, dan Pertanian Presisi dalam Mewujudkan Ketahanan Pangan Berkelanjutan," *Journal of Multidiciplinary*, vol. 1, no. 1, pp. 22–35, 2025.

[10] R. R. Rachmawati, "MAJU , MANDIRI , DAN MODERN Smart Farming 4 . 0 to Build Advanced , Independent , and Modern Indonesian Agriculture," vol. 38, no. 2, pp. 137–154, 2024.

[11] Ph. D. Roger S. Pressman, *Software Engineering A Practitioner's Approach*. 2010.

[12] L. P. Sumirat and others, *Dasar-Dasar Rekayasa Perangkat Lunak*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.

[13] H. Dehghanisanij, S. Emami, and A. Khasheisiuki, "Functional properties of irrigated cotton under urban treated wastewater using an intelligent method," *Appl. Water Sci.*, vol. 12, no. 4, pp. 1–10, 2022, doi: 10.1007/s13201-022-01598-3.

[14] A. F. Khariri, M. R. Nurfadila, D. Candra, and R. Novitasari, "Sistem Penunjang Keputusan Untuk Mendeteksi Tingkat Keparahan Cedera Panggul Menggunakan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System," vol. 9, no. 2, pp. 109–115, 2022.

[15] R. Wijaya Kusuma and E. Sinduningrum, "Rancang Bangun Sistem Informasi Penjualan Kura-Kura Berbasis Website Menggunakan Metode Prototype," *Bulletin of Computer Science Research*, vol. 5, no. 4, pp. 634–645, 2025, doi: 10.47065/bulletincsr.v5i4.604.

[16] V. Y. P. Ardhana, "Evaluasi Usability E-Learning Universitas Qamarul Huda Menggunakan System Usability Scale (SUS)," *Journal of Informatics, Electrical and Electronics Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 5–11, 2022, doi: 10.47065/jieee.v2i1.430.

[17] U. Press, *BUKU AJAR REKAYASA PERANGKAT LUNAK*. Sidoarjo: UMSIDA PRESS, 2020.

[18] M. H. Alkarim, I. I. Prasojo, S. A. Nugroho, dan E. E. Nugroho, "Penerapan Algoritma Filter Untuk Meningkatkan Akurasi Pembacaan Sensor Suhu Mlx90614 Pada Objek Dengan Eliminasi Pengaruh Suhu Lingkungan," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.6621..