

RANCANG BANGUN DAN UJI FUNGSIONAL SISTEM AKUISISI DATA MIKROKLIMAT DAN DETEKSI INFRAMERAH BERBASIS IOT PADA PERANGKAP FEROMON

Rudi Hermawan¹, Dewanto Rosian Adhy 1, Siti Maesaroh 2 dan Qudrat 3
Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik
Universitas Mayasari Bakti
rudihermawan@mayasaribakti.ac.id

ABSTRAK

Pengendalian Hama Terpadu (PHT) untuk ulat grayak (*Spodoptera frugiperda*) membutuhkan pemantauan populasi hama dan parameter lingkungan secara presisi. Penelitian ini bertujuan merancang bangun dan menguji secara fungsional sistem akuisisi data mikroklimat serta deteksi inframerah berbasis Internet of Things (IoT) yang diintegrasikan pada perangkat feromon. Perangkat keras dirancang menggunakan sensor suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan inframerah, yang mentransmisikan data secara nirkabel menuju peladen. Hasil pengujian sensing unit menunjukkan bahwa optimasi software debouncing dan physical masking berhasil mengeliminasi gangguan cahaya luar dan kesalahan penghitungan ganda (double counting). Pada segmen komunikasi, penerapan mekanisme fallback insertion pada skrip API memberikan ketahanan adaptif terhadap mutasi skema basis data, sehingga memastikan zero data loss. Uji beban (stress-test) pada arsitektur basis data single-table terbukti tangguh dalam mengeksekusi lonjakan data (burst data) secara beruntun dengan presisi latensi satu detik tanpa memicu bottleneck pada peladen. Selanjutnya, evaluasi kualitas antarmuka dashboard pada lingkungan produksi menggunakan Google Lighthouse mencatatkan skor Best Practices (96/100) dan Accessibility (90/100), yang memvalidasi tingkat keamanan dan fungsionalitas sistem meski performa pemuatan awal (21/100) dipengaruhi oleh latensi shared hosting. Purwarupa ini secara meyakinkan terbukti andal sebagai Proof of Concept (PoC) untuk mendukung digitalisasi pertanian presisi.

Kata kunci: Internet of Things, Mikroklimat, Pengendalian Hama Terpadu, Sensor Inframerah

ABSTRACT

Integrated Pest Management (IPM) for the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) requires precise monitoring of pest populations and environmental parameters. This study aims to design, construct, and functionally test an Internet of Things (IoT)-based microclimate data acquisition and infrared detection system integrated into a pheromone trap. The hardware is designed using temperature, humidity, wind speed, and infrared sensors, which transmit data wirelessly to the server. The sensing unit test results indicate that software debouncing and physical masking optimizations successfully eliminated ambient light interference and double-counting errors. In the communication segment, implementing a fallback insertion mechanism in the API script provided adaptive resilience against database schema mutations, ensuring zero data loss. Stress testing on the single-table database architecture proved robust in executing sequential burst data with one-second latency precision without triggering a server bottleneck. Furthermore, dashboard interface quality evaluation in a production environment using Google Lighthouse recorded scores of Best Practices (96/100) and Accessibility (90/100), validating the system's security and functionality despite the initial load performance (21/100) being affected by shared hosting latency. This prototype is convincingly proven reliable as a Proof of Concept (PoC) to support the digitalization of precision agriculture.

Keywords: *Infrared Sensor, Integrated Pest Management, Internet of Things, Microclimate*

PENDAHULUAN

Sektor pertanian memiliki peran strategis dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Namun, produktivitas tanaman pangan hingga saat ini masih menghadapi berbagai tantangan, salah satunya adalah serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Ulat grayak (*Spodoptera frugiperda*) merupakan salah satu hama invasif yang menjadi ancaman serius karena sifatnya yang polifag, daya adaptasi yang tinggi, serta kemampuan berkembang biak yang cepat [1]. Hama ini diketahui menyerang berbagai komoditas penting sehingga berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan. Upaya otomatisasi perangkat feromon berbasis IoT sebenarnya telah mulai dikembangkan, salah satunya dengan mengintegrasikan kamera IoT pada perangkat untuk pemantauan hama ngengat secara semi-otomatis [2]. Selanjutnya, Sejumlah sistem pemantauan berbasis perangkat feromon juga telah dikembangkan dengan pendekatan open source untuk menekan biaya, namun umumnya masih memerlukan infrastruktur kompleks yang tidak mudah dikustomisasi di lapangan [3]. Tinjauan sistematis terhadap sistem deteksi hama berbasis IoT

menunjukkan bahwa sebagian besar sistem yang ada masih berjalan secara parsial dan belum terintegrasi langsung dengan instrumen biologis seperti perangkat feromon di lapangan [4]. Di Indonesia, pengendalian ulat grayak secara konvensional sering kali bersifat reaktif setelah kerusakan terjadi parah, serta berisiko menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan akibat penggunaan bahan kimia yang berlebih [5].

Sebagai alternatif, konsep Pengendalian Hama Terpadu (PHT) menekankan pentingnya pemantauan populasi hama dan kondisi lingkungan sebagai dasar pengambilan keputusan. Perangkat feromon telah banyak digunakan untuk memantau keberadaan ngengat jantan, namun pencatatannya yang masih manual rawan terhadap kesalahan manusia dan sangat tidak efisien [6]. Di sisi lain, teknologi Internet of Things (IoT) sebenarnya membuka peluang untuk otomatisasi. Meskipun demikian, sistem akuisisi data terintegrasi yang pernah dikembangkan sebelumnya sering kali memiliki berbagai kelemahan. Sebagian besar sistem pemantauan tradisional atau yang berbasis pada pengembangan arsitektur tertutup umumnya membutuhkan biaya yang mahal, waktu pengembangan yang lama, serta

tingkat kompleksitas integrasi yang tinggi antara perangkat keras di lapangan dengan server [7]. Selain itu, penerapan IoT di bidang pertanian saat ini masih banyak yang berjalan secara parsial hanya memantau kondisi cuaca tanpa terintegrasi langsung dengan instrumen biologis seperti pendeteksi otomatis pada perangkat hama.

Berdasarkan celah permasalahan terkait mahalnya biaya dan tingginya kompleksitas sistem terdahulu, permasalahan krusial yang perlu dipecahkan adalah bagaimana merancang sebuah sistem akuisisi data alternatif yang andal, independen, dan terintegrasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun serta melakukan uji fungsional terhadap purwarupa sistem pemantauan berbasis IoT yang memadukan pembacaan parameter iklim mikro dan deteksi sensor inframerah pada perangkat feromon secara otomatis menuju dashboard pemantauan berbasis web.

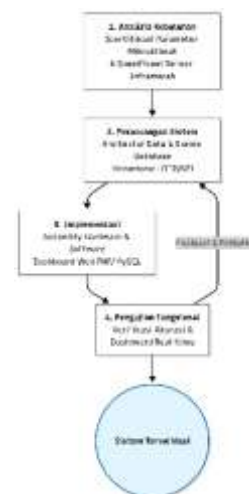
Keberhasilan uji fungsional dari purwarupa ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis berupa Proof of Concept (PoC) arsitektur sistem informasi pertanian yang lebih terjangkau, responsif, dan mudah dikustomisasi. Lebih jauh lagi, tersedianya sistem yang tervalidasi secara fungsional ini akan menjadi fondasi esensial dalam pengumpulan dataset lingkungan

secara kontinu, yang kelak dapat dimanfaatkan untuk pengembangan sistem peringatan dini dan prediksi serangan hama berbasis kecerdasan buatan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian rekayasa (engineering research) dengan fokus pada perancangan, pembangunan, dan pengujian prototipe sistem. Pendekatan ini dipilih karena tujuan utama penelitian adalah menghasilkan sebuah sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi antara pemantauan iklim mikro dan monitoring populasi hama menggunakan perangkat feromon berbasis sensor.

Metode yang digunakan adalah Metodologi pengembangan purwarupa (prototyping) diterapkan sebagai kerangka kerja utama untuk memvalidasi performa sistem. Berikut adalah adopsi tahapan dari metode prototyping yang digunakan.



Gambar 1. Tahapan prototyping

1. Analisis Kebutuhan

Tahap analisis kebutuhan bertujuan untuk menetapkan spesifikasi fungsional dan teknis sistem yang diperlukan agar target pemantauan hama dan lingkungan dapat tercapai secara efektif. Tahapan ini mencakup beberapa aspek berikut:

- Identifikasi Parameter Mikroklimat

Dilakukan analisis terhadap variabel cuaca yang berpengaruh signifikan terhadap siklus hidup ulat grayak (*Spodoptera frugiperda*). Berdasarkan studi literatur, suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, dan curah hujan dipilih sebagai parameter utama karena secara biologis memengaruhi aktivitas reproduksi dan pola penyebaran hama di lahan pertanian. Pemilihan parameter suhu dan kelembaban didasarkan pada bukti empiris bahwa kedua faktor tersebut secara signifikan memengaruhi laju reproduksi dan kelangsungan hidup *S. frugiperda*, di mana aktivitas reproduksi tertinggi tercatat pada suhu 32–33°C [8]

- Spesifikasi Perangkat Keras (Hardware)

Dilakukan pemilihan instrumen sensor berdasarkan kriteria presisi dan kompatibilitas dengan mikrokontroler.

- Sensor suhu dan kelembaban dipilih untuk pembacaan kondisi udara kontinu.
- Sensor curah hujan dan kecepatan angin dipilih untuk merekam dinamika cuaca eksternal.
- Sensor inframerah dipilih sebagai transducer deteksi objek karena kemampuannya mendeteksi pergerakan (interupsi sinar) saat ngengat memasuki ruang perangkap feromon. Sensor inframerah telah terbukti efektif sebagai instrumen deteksi otomatis pada serangga terbang, di mana sinyal interupsi cahaya inframerah mampu merekam lintasan objek dengan presisi tinggi tanpa memerlukan kontak fisik [9]
- Analisis Kebutuhan Data dan Komunikasi

Dilakukan penentuan frekuensi pengiriman data (sampling rate) untuk memastikan keseimbangan antara efisiensi konsumsi daya node IoT dan kebutuhan data real-time pada dashboard. Dalam penelitian ini digunakan ESP8266 untuk menjembatani data yang dikirim oleh sensor ke database dengan menggunakan komunikasi wifi,

- Identifikasi Kebutuhan Fungsional Pengguna

Dilakukan pemetaan kebutuhan antarmuka bagi pengguna (petani atau peneliti). Hasil

analisis menetapkan bahwa *dashboard* harus mampu menyajikan:

- Visualisasi data time-series untuk grafik mikroklimat.
- Pencatatan akumulasi deteksi hama harian.
- Fitur akses data historis sebagai bahan evaluasi dan dokumentasi penelitian yang tersimpan dalam basis data MySQL.

2. Perancangan Sistem

Tahap ini berfokus pada pembangunan arsitektur sistem yang mengintegrasikan seluruh perangkat keras dan perangkat lunak menjadi satu kesatuan operasional. Perancangan dilakukan melalui empat sub-tahap teknis:

a. Perancangan Arsitektur Sistem



Gambar 2. Arsitektur Sistem

Gambar 2 menunjukkan alur sistem Internet of Things (IoT) yang dibangun, di mana proses pengambilan data hingga visualisasi dibagi menjadi empat segmen utama:

- Segmen pertama adalah Sensing Unit, Segmen ini berfungsi sebagai input data primer yang terdiri dari sensor

mikroklimat (DHT22 untuk suhu & kelembapan, sensor curah hujan, dan anemometer untuk kecepatan angin) serta sensor inframerah sebagai detektor objek pada perangkat feromon. Seluruh data analog maupun digital dari sensor tersebut dikumpulkan dan diproses oleh mikrokontroler Arduino sebagai pusat akuisisi data (data acquisition unit). Platform mikrokontroler Arduino telah terbukti menjadi pilihan yang andal dan hemat biaya untuk pembangunan jaringan sensor pemantauan mikroklimat berskala lapangan dengan akurasi tinggi [10]

- Segmen dua adalah segmen Data Acquisition, segmen ini menerima data dari yang telah dikumpulkan mikrokontroler Arduino ke NodeMCU (ESP8266) melalui protokol komunikasi Serial UART. NodeMCU dalam arsitektur ini berperan sebagai IoT gateway yang bertugas mengemas paket data dan menghubungkan sistem ke jaringan internet.

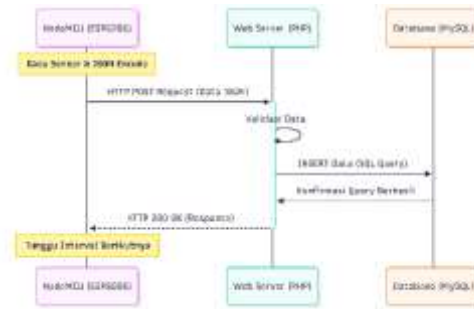
- Segmen ketiga adalah segmen communication berfungsi untuk mentransmisi data dari NodeMCU ke server dilakukan melalui jaringan internet nirkabel (Wi-Fi) menggunakan metode HTTP POST Request. Metode ini dipilih untuk menjamin pengiriman data secara terstruktur dan efisien dari node sensor menuju endpoint di server.

- Segmen keempat adalah segmen server Side, segmen ini bekerja pada sisi server, data diterima oleh Web Server berbasis PHP yang kemudian mengelola penyimpanan data secara terpusat ke dalam basis data MySQL. Data yang telah tersimpan selanjutnya ditampilkan secara real-time melalui aplikasi Dashboard Web, yang memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi mikroklimat dan dinamika populasi hama berdasarkan data deteksi secara terintegrasi.

b. Perancangan Mekanisme Komunikasi Data

Perancangan mekanisme komunikasi data bertujuan untuk memastikan alur pertukaran informasi antara node IoT dan server pusat berjalan secara sistematis, stabil, dan terintegrasi. Protokol komunikasi yang digunakan adalah HTTP POST Request yang bersifat stateless, memungkinkan data dari lapangan dikirimkan menuju endpoint skrip PHP di server.

Alur pertukaran data antara komponen sistem direpresentasikan melalui sequence diagram pada Gambar dibawah ini.



Gambar 3. sequence diagram alur pertukaran data

Proses komunikasi data pada Gambar diatas diuraikan ke dalam beberapa tahapan teknis berikut:

Proses dimulai pada sisi node IoT (NodeMCU ESP8266) yang melakukan pembacaan input sensor secara periodik. Data yang diperoleh kemudian dikonversi ke dalam format JSON (JavaScript Object Notation) untuk menjaga efisiensi payload selama proses transmisi melalui jaringan Wi-Fi.

Node IoT mengirimkan data menggunakan metode HTTP POST menuju endpoint skrip PHP pada web server. Protokol ini dipilih karena kemudahannya dalam integrasi dengan sistem web server berbasis hosting. Setelah menerima paket data, web server melalui skrip PHP melakukan validasi integritas data. Jika data dinyatakan valid, server akan mengeksekusi SQL Query untuk melakukan penyimpanan data (INSERT) ke dalam tabel basis data MySQL yang telah dirancang sebelumnya.

Sebagai bentuk mekanisme handshaking, basis data memberikan konfirmasi keberhasilan eksekusi query kepada web server. Selanjutnya, web server mengirimkan respons berupa kode status HTTP 200 OK kepada node IoT. Respons ini menjadi penanda bagi node IoT bahwa data telah tersimpan dengan aman, sehingga sistem dapat memasuki fase idle (tunggu) sesuai interval waktu yang telah ditentukan sebelum memulai siklus pengiriman berikutnya.

3. Perancangan Skema Basis Data (Database)

Pengelolaan data hasil akuisisi sensor dilakukan menggunakan basis data relasional MySQL. Struktur basis data dirancang untuk menyimpan seluruh data sensor dan hasil deteksi dalam satu tabel terpadu untuk memudahkan sinkronisasi data time-series. Tabel monitoring memiliki struktur data sebagai berikut:

- a. id: Primary key dengan auto-increment untuk identitas unik setiap entri data.
- b. suhu (float), kelembaban (float), angin (float): Kolom numerik untuk menyimpan data iklim.
- c. hama (int): Kolom untuk menyimpan data jumlah deteksi hama (dengan default value 0).

- d. waktu (timestamp): Kolom yang mencatat waktu presisi setiap entri data secara otomatis (current_timestamp), yang menjadi dasar utama dalam pembuatan grafik time-series dan analisis tren pada dashboard.

Desain single-table ini dipilih karena efisiensinya dalam proses penyimpanan data IoT yang bersifat sekuensial (log-based). Dengan struktur ini, sistem dapat melakukan satu kali perintah INSERT untuk menyimpan seluruh parameter sensor dalam satu baris data, sehingga beban query pada web server menjadi minimal dan proses visualisasi data historis pada dashboard dapat dilakukan dengan cepat.

4. Perancangan Antarmuka Dashboard (Aplikasi Web)

Perancangan antarmuka dashboard dilakukan melalui pendekatan User-Centered Design, yang dimulai dari tahap sketsa kasar (low-fidelity) hingga implementasi high-fidelity. Hal ini bertujuan untuk memastikan alur informasi (seperti data suhu, kelembapan, dan log deteksi hama) dapat diakses dengan cepat dan intuitif oleh pengguna.

a. Rancangan Low-Fidelity (Wireframe)



Gambar 4. Rancangan low fidelity Aplikasi

Rancangan antarmuka awal pada gambar diatas difokuskan pada prinsip tata letak hierarki informasi (Information Hierarchy). Elemen informasi kritis diletakkan di bagian atas (Stat Cards) untuk pemantauan cepat, diikuti oleh elemen analisis tren (Grafik) di bagian tengah, dan data detail (Log Tabel) di bagian bawah. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan pengguna dapat melakukan pengambilan keputusan secara cepat (real-time) saat mengakses sistem.

b. Implementasi Antarmuka (High-Fidelity)

Pengembangan high-fidelity prototype dilakukan sebagai tahap akhir dalam desain antarmuka, di mana rancangan wireframe diimplementasikan ke dalam kode pemrograman dengan memperhatikan detail visual, aksesibilitas, dan responsivitas.



Gambar 5. Rancangan High Fidelity Aplikasi

Implementasi desain antarmuka akhir (high-fidelity) ini merupakan pengembangan dari rancangan wireframe sebelumnya, dengan mengintegrasikan elemen visual, palet warna, dan tipografi untuk menciptakan pengalaman pengguna (user experience) yang intuitif. Penggunaan skema warna hijau sebagai warna dominan merepresentasikan identitas sektor pertanian, sementara komponen visual seperti kartu statistik (stat cards), grafik time-series, dan tabel log telah difungsionalisasikan dengan data riil dari basis data.

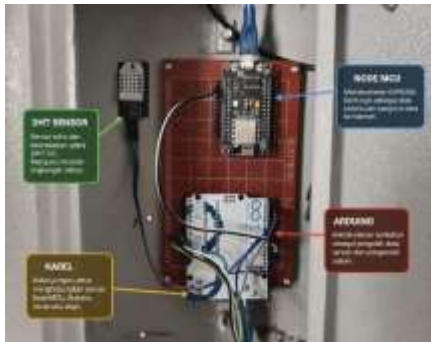
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memaparkan hasil implementasi dari sistem monitoring hama berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dirancang sesuai dengan tahapan metodologi yang dijelaskan pada bab sebelumnya.

a. Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras dilakukan untuk merealisasikan arsitektur sensing unit

dan gateway yang telah dirancang. Sistem dibangun dengan mengintegrasikan sensor mikroklimat dan detektor objek ke dalam satu kesatuan perangkat monitoring yang ringkas dan fungsional.



Gambar 6. Rangkaian sistem monitoring sistem

Proses implementasi perangkat keras diuraikan ke dalam tiga tahap utama:

a. Integrasi Modul Akuisisi Data

Data acquisition unit berbasis Arduino digunakan sebagai pusat pemrosesan data primer. Sensor suhu dan kelembaban (DHT22) dihubungkan ke Arduino untuk pembacaan kondisi udara secara kontinu. Rangkaian dirakit menggunakan papan prototyping untuk memastikan konektivitas yang stabil dan memudahkan akses selama proses pengujian lapangan. Modul ESP8266 (NodeMCU) dihubungkan ke Arduino melalui protokol Serial UART untuk menjalankan fungsi sebagai IoT gateway yang melakukan transmisi data ke server.

b. Integrasi pada Perangkat Perangkat



Gambar 7. Rangkaian Sistem dan integrasi pada Peromon trap

Untuk memastikan perlindungan komponen terhadap faktor eksternal, seluruh rangkaian ditempatkan ke dalam casing pelindung yang tahan cuaca. Pada bagian atas perangkat, terpasang anemometer (sensor kecepatan angin) yang telah dikalibrasi untuk memastikan akurasi data dalam merekam dinamika cuaca eksternal di area lahan.

c. Implementasi Sensor Deteksi Hama

Sensor inframerah diposisikan secara presisi pada lubang akses perangkat feromon. Penempatan ini dirancang agar setiap objek (ngengat) yang memasuki pintu perangkat akan memutus sinar inframerah, sehingga menghasilkan pemicu (trigger) deteksi yang akurat dan tercatat dalam sistem secara otomatis



Gambar 8. Penempatan sensor Inframerah pada peromon trap

b. Impelementasi Perangkat Lunak

Implementasi antarmuka web telah berhasil direalisasikan sebagai pusat kendali monitoring yang responsif dan fungsional.



Gambar 9. Implementasi Antar Muka Aplikasi

Gambar diatas merupakan implementasi antarmuka aplikasi web telah berhasil direalisasikan melalui integrasi framework Bootstrap 5 yang menyajikan data suhu, kelembapan, dan kecepatan angin pada Stat Cards responsif dengan mekanisme auto-refresh 10 detik untuk menjamin aktualitas data. Selain itu, sistem telah mengintegrasikan library Chart.js guna merender grafik time-series interaktif yang memungkinkan pengguna memantau fluktuasi mikroklimat secara presisi melalui fitur tooltip yang akurat. Sebagai pelengkap, sistem manajemen log data telah diimplementasikan dengan struktur single-

table yang optimal, memungkinkan perekaman riwayat deteksi hama secara kronologis dengan latensi rendah, serta dilengkapi fitur ekspor data ke format CSV untuk mendukung fleksibilitas analisis dan dokumentasi penelitian lebih lanjut.

c. Hasil Pengujian Fungsional

a. Pengujian Sensing Unit

Fungsionalitas sensing unit divalidasi melalui stabilitas pembacaan parameter mikroklimat serta akurasi deteksi objek hama oleh sensor inframerah (IR). Data hasil akuisisi yang tersimpan secara kronologis pada basis data memverifikasi bahwa mikrokontroler mampu menerjemahkan interupsi fisik menjadi event trigger digital yang valid. Sampel data historis (raw data) hasil rekaman operasional sistem pada tabel monitoring saat mendeteksi adanya aktivitas hama disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sampel Data Historis Hasil Rekaman

I D	Suh u	Kelembaban	Kecepatan Angin	Deteksi Hama	Waktu
195	26.6	79.1	0.0	1	2025-12-30 14:34:5

I	Suh	Kelem	Ke	Deteksi	Wakt
D	u	baban	c.A	Hama	u
			ngi		
			n		
5					48
1	26.6	79.5	0.0	1	2025-
9					12-30
5					14:34:
6					59
1	26.6	79.5	0.0	0	2025-
9					12-30
5					14:35:
7					00
1	26.5	79.7	0.0	1	2025-
9					12-30
5					14:35:
8					04
1	26.5	79.7	0.0	0	2025-
9					12-30
5					14:35:
9					05

Meskipun data populasi dan iklim mikro berhasil direkam secara berkesinambungan seperti ditunjukkan pada Tabel 1, fase pengujian awal di lingkungan terbuka sempat mengidentifikasi dua kendala teknis kritis akibat karakteristik sensitivitas tinggi dari sensor IR. Kendala pertama adalah fenomena double counting (overcount), di mana satu individu ngengat yang bergerak aktif atau jatuh secara tidak stabil di depan sensor memicu interupsi sinyal berkali-kali

dalam hitungan milidetik, sehingga akumulasi data pada dashboard menjadi tidak valid (lebih tinggi dari jumlah fisik).

Untuk mengatasi kendala operasional tersebut dan menjamin validitas dataset, dilakukan langkah optimasi pada dua aspek yaitu dilakukan

Optimasi Perangkat Lunak (Software Debouncing) yang menerapkan jeda waktu (delay) pada mikrokontroler untuk mencegah penghitungan ganda pada satu individu hama, serta Optimasi Perangkat Keras (Physical Masking) berupa pelapisan isolasi hitam pada area sensor guna menyerap cahaya luar (ambient light) sehingga deteksi palsu (false positive) dapat direduksi secara signifikan.

b. Pengujian Communication (Keandalan API)

Berdasarkan pengujian integrasi awal antara perangkat keras dan basis data di server, sempat ditemukan kendala kegagalan penyimpanan data (data loss). Kendala ini bukan disebabkan oleh koneksi internet, melainkan akibat inkonsistensi penamaan kolom (schema mutation) antara firmware perangkat keras dengan tabel pada basis data MySQL. Sebagai contoh, payload data yang dikirimkan menggunakan parameter bahasa Indonesia (seperti suhu dan kelembaban), namun struktur tabel di server

mengalami pembaruan menggunakan bahasa Inggris (seperti temperature dan humidity). Perbedaan sintaks relasional ini menyebabkan query MySQL ditolak dan data dari lahan terbuang.



Gambar 10. Tangkapan layar dan penjelasan penggunaan API

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, alur pada Gambar 10 menunjukkan optimasi keandalan segmen komunikasi melalui modifikasi skrip API yang menghasilkan dua keunggulan teknis utama. Pertama, sistem kini memiliki ketahanan adaptif terhadap perubahan skema basis data (schema mutation resilience) melalui mekanisme fallback insertion. Kedua, penerapan mekanisme respon balik (handshaking response) pada pengolahan payload HTTP memastikan adanya konfirmasi keberhasilan secara real-time.

c. Pengujian Server Side (Beban Basis Data)

Pengujian pada sisi server difokuskan pada evaluasi kinerja dan stabilitas basis data

MySQL dalam menangani aliran data (data stream) sekuensial dari node IoT. Pada sistem pemantauan tradisional yang menggunakan skema normalisasi yang ketat, beban eksekusi query relasional yang tinggi sering kali memicu antrean pemrosesan (query queuing) dan latensi penulisan, terutama saat sistem menerima paket data secara bertubi-tubi.

Untuk mengeliminasi risiko bottleneck tersebut, basis data pada penelitian ini dirancang menggunakan pendekatan denormalisasi melalui skema single table (tabel monitoring). Skema ini memungkinkan penyimpanan parameter iklim dan status sensor inframerah dieksekusi hanya dengan satu kali perintah INSERT.

A screenshot of a database table in a web interface. The table has columns: id, suhu, kelembapan, angin, hujan, and waktu. The data is displayed in a grid with alternating light and dark rows. Each row has icons for Edit, Copy, and Delete. The data shows various temperature, humidity, and wind speed readings over time.

	id	suhu	kelembapan	angin	hujan	waktu
✎	1227	27.5	85.8	0	0	2025-12-21 18:00:11
✎	1228	27.5	85.7	2.31	0	2025-12-21 18:00:16
✎	1229	27.5	85.7	4.63	0	2025-12-21 18:00:21
✎	1230	27.5	85.7	3.5	0	2025-12-21 18:00:26
✎	1231	27.5	85.7	0	0	2025-12-21 18:00:31
✎	1232	27.5	85.8	0	0	2025-12-21 18:00:36
✎	1233	27.5	85.7	0	0	2025-12-21 18:00:42
✎	1234	27.5	85.7	0	0	2025-12-21 18:00:47
✎	1235	27.5	85.7	0	0	2025-12-21 18:00:52
✎	1236	27.5	85.7	0	0	2025-12-21 18:00:57
✎	1237	27.5	85.7	0	0	2025-12-21 18:01:02
✎	1238	27.5	85.7	0	0	2025-12-21 18:01:07
✎	1239	27.5	85.7	0	0	2025-12-21 18:01:12
✎	1240	27.5	85.8	0	0	2025-12-21 18:01:17
✎	1241	27.5	85.6	0	0	2025-12-21 18:01:22

Gambar 11. Tangkapan Layar Raw Data Base

Pembuktian empiris mengenai ketangguhan performa penulisan (write performance) ditunjukkan pada Gambar 11. Ekstraksi data historis tersebut memperlihatkan

kemampuan sistem dalam menangani burst data (lonjakan data masuk). Secara nyata, pada rentang ID 1958 hingga 1962, sistem berhasil menyimpan lima baris data beruntun dengan interval yang sangat rapat, yaitu presisi 1 detik antar-baris (mulai dari pukul 14:35:04 hingga 14:35:08).

Keberhasilan perekaman sekuensial berkecepatan tinggi ini memberikan dua konfirmasi fungsional. Pertama, pencatatan waktu otomatis menggunakan fungsi `current_timestamp()` berfungsi secara akurat tanpa delay. Kedua, skrip API berbasis PHP bersama MySQL mampu memproses koneksi HTTP POST yang datang bertubi-tubi tanpa mengalami table locking (penguncian tabel) atau crash pada memori server. Hasil uji beban alami ini memvalidasi bahwa sistem terbukti tangguh untuk diimplementasikan di lahan berskala besar yang menghasilkan ribuan paket data time-series secara kontinu.

d. Pengujian Dashboard Web

Sebagai tahap akhir pengujian antarmuka, dilakukan evaluasi kualitas perangkat lunak di sisi klien (client-side) menggunakan parameter metrik standar industri, yaitu Google Lighthouse. Pengujian kuantitatif ini bertujuan untuk mengukur efisiensi rendering dokumen HTML, stabilitas visual, serta tingkat aksesibilitas sistem bagi pengguna (end-user).



Gambar 12. Hasil audit tampilan menggunakan Google Lighthouse

Berdasarkan hasil audit yang disajikan pada Gambar 12, aplikasi pemantauan berhasil membuktikan keunggulan arsitektural pada tiga metrik utama. Pada metrik Praktik Terbaik (Best Practices), sistem meraih skor nyaris sempurna yakni 96/100. Hal ini memberikan bukti empiris bahwa skrip yang dibangun terbebas dari kerentanan keamanan (vulnerabilities), menggunakan protokol standar web modern, dan aman dari eksekusi kode berbahaya. Selanjutnya, pada metrik Aksesibilitas (Accessibility), sistem mencatatkan skor 90/100. Pencapaian ini memvalidasi bahwa antarmuka telah memenuhi kaidah User-Centered Design, dengan rasio kontras dan tipografi yang memastikan informasi tetap terbaca dengan jelas oleh petani maupun peneliti meski diakses di bawah terik matahari di lahan terbuka. Selain itu, skor SEO (90/100) mengonfirmasi bahwa penataan dokumen HTML bersifat semantik dan terstruktur dengan baik.

Pada sisi lain, evaluasi metrik Performa (Performance) mencatatkan skor 21/100. Berdasarkan analisis diagnostik, perlambatan waktu muat (page load) ini utamanya dipengaruhi oleh dua faktor eksternal yaitu latensi sumber daya pada peladen (shared hosting latency) dan eksekusi pustaka pihak ketiga (render-blocking resources) seperti framework Bootstrap serta Chart.js. Meskipun terdapat batasan kecepatan pada pemuatan visual awal, hal ini terbukti tidak memengaruhi stabilitas fungsi utama aplikasi. Fitur interaksi analitik grafik, auto-refresh, serta penarikan laporan CSV tetap berjalan secara presisi dan terhindar dari crash. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa

terlepas dari keterbatasan spesifikasi peladen, purwarupa sistem telah secara fungsional memenuhi tujuannya sebagai Proof of Concept (PoC) arsitektur sistem pertanian yang andal dan aman.

e. Rangkuman Hasil Pengujian Fungsional

Berdasarkan serangkaian pengujian fungsional yang telah dilakukan pada setiap segmen arsitektur (mulai dari sensing unit di lapangan hingga dashboard web pada perangkat pengguna), performa dan keandalan sistem dapat dievaluasi secara komprehensif. Rangkuman hasil pengujian beserta bukti empiris yang diperoleh selama fase evaluasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rangkuman Hasil pengujian system

Segmen Sistem	Fokus Pengujian	Hasil Pengujian (Bukti Empiris)	Status
1. <i>Sensing Unit</i>	Akurasi deteksi sensor inframerah (IR) dan stabilisasi pembacaan lingkungan.	Interupsi objek terekam presisi sebagai biner '1'. Optimasi <i>software debouncing</i> dan <i>physical</i>	Berhasil

Segmen Sistem	Fokus Pengujian	Hasil Pengujian (Bukti Empiris)	Status
		<p><i>masking</i> terbukti mengeliminasi anomali <i>double</i> <i>counting</i> dan gangguan cahaya luar.</p>	
2. <i>Communication</i> (API)	Keandalan transmisi HTTP POST dan ketahanan adaptif terhadap mutasi skema basis data.	<p>Mekanisme <i>fallback</i> <i>insertion</i> merespons inkonsistensi nama kolom secara dinamis. Tercapai <i>zero data loss</i> selama transmisi paket data ke peladen.</p>	Berhasil
3. <i>Server Side</i> (Basis Data)	Uji beban (<i>stress-test</i>) pada arsitektur <i>single-table</i> dalam menangani <i>burst data</i> .	<p>Sistem terbukti tangguh mengeksekusi kueri beruntun</p>	Berhasil

Segmen Sistem	Fokus Pengujian	Hasil Pengujian (Bukti Empiris)	Status
		dengan latensi presisi 1 detik antar-baris data tanpa mengalami <i>query queuing</i> atau <i>table locking</i> .	
4. <i>Dashboard</i> (Antarmuka)	<i>Web</i> Responsivitas grafik, fungsionalitas ekspor CSV, dan audit kualitas perangkat lunak.	Ekspor berjalan sempurna melalui rekonsiliasi variabel. Audit <i>Google Lighthouse</i> mencatatkan skor prima pada <i>Best Practices</i> (96), <i>Accessibility</i> (90), dan SEO (90) dengan fungsionalitas yang stabil.	CSV Berhasil

Hasil evaluasi keseluruhan pada Tabel 2 menegaskan bahwa purwarupa sistem pemantauan yang dirancang telah berhasil beroperasi secara sinkron dan memenuhi spesifikasi teknis yang diharapkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil membangun purwarupa sistem pemantauan hama ulat grayak (*Spodoptera frugiperda*) berbasis IoT yang andal dan terintegrasi sebagai Proof of Concept (PoC) untuk digitalisasi Pengendalian Hama Terpadu (PHT). Keberhasilan ini dibuktikan oleh presisi akuisisi data lapangan yang dioptimasi melalui software debouncing dan physical masking untuk mengeliminasi deteksi ganda serta gangguan cahaya eksternal. Arsitektur sistem juga terbukti tangguh berkat implementasi algoritma fallback insertion pada API yang menjamin zero data loss, skema basis data single-table yang mampu menangani burst data berkecepatan tinggi tanpa bottleneck, serta antarmuka dashboard di peladen.

Untuk penyempurnaan sistem di masa depan, prioritas utama adalah pengembangan sistem peringatan dini berbasis Artificial Intelligence (AI), dengan memanfaatkan dataset ekologis time-series sebagai data latih Machine Learning guna memprediksi tren ledakan populasi hama

[11] . Selain itu, guna mengatasi kendala latensi peladen pada skala implementasi yang lebih masif, disarankan untuk bermigrasi ke infrastruktur Cloud VPS atau menerapkan Progressive Web App (PWA).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Goergen, P. L. Kumar, S. B. Sankung, A. Togola, and M. Tamò, "First Report of Outbreaks of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a New Alien Invasive Pest in West and Central Africa," *PLoS One*, vol. 11, no. 10, pp. e0165632-, Oct. 2016, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165632>
- [2] S. Kawakita and T. Sato, "Towards automatic monitoring of insect pests using IoT camera-equipped pheromone traps: a case study for *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae)," *Appl. Entomol. Zool.*, vol. 58, pp. 265–272, 2023, doi: 10.1007/s13355-023-00830-z.
- [3] M. J. Schrader, P. Smytheman, E. H. Beers, and L. R. Khot, "An Open-Source Low-Cost Imaging System Plug-In for Pheromone Traps Aiding Remote Insect Pest Population Monitoring in Fruit Crops," *Machines*,

- vol. 10, no. 1, p. 52, 2022, doi: 10.3390/machines10010052.
- [4] D. O. Kiobia, J. Mafuru, and S. Reuben, "A Review of Successes and Impeding Challenges of IoT-Based Insect Pest Detection Systems for Estimating Agroecosystem Health and Productivity of Cotton," *Sensors*, vol. 23, no. 8, p. 4127, 2023, doi: 10.3390/s23084127.
- [5] F. Purnama, "Serangan hama tanaman jagung di Garut capai 520 hektare," <https://www.antaranews.com/berita/1241428/serangan-hama-tanaman-jagung-di-garut-capai-520-hektare>, Garut, pp. 1–1, Jan. 08, 2020.
- [6] B. WIDHAYASA and E. SURYA DARMA, "Peranan Faktor Cuaca terhadap Serangan Ulat Grayak Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) Pada Tanaman Jagung di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur," *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, vol. 4, no. 2, pp. 93–98, Feb. 2022, doi: DOI.210.35941/JATL.
- [7] A. H. Mursyidin, M. Qudsiyah S, B. Supeno, V. Fitrianti, and R. F. Insani, "DETEKSI SERANGAN HAMA INVASIF ULAT GRAYAK Spodoptera rugiperda J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) PADA PERTANAMAN JAGUNG LAHAN KERING DI LOMBOK TIMUR," *SEMINAR NASIONAL PERLINDUNGAN TANAMAN (SNPT)*, vol. 2, no. 1, pp. 43–54, Oct. 2024.
- [8] A. Karuppannasamy, B. Venkatasamy, and J. S. Kennedy, "Demography and population fitness traits of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) under elevated temperature and CO2 levels," *Int. J. Trop. Insect Sci.*, vol. 43, pp. 2189–2200, 2023, doi: 10.1007/s42690-023-01122-3.
- [9] K. Rydhmer *et al.*, "Automating insect monitoring using unsupervised near-infrared sensors," *Sci. Rep.*, vol. 12, p. 2603, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-06439-6.
- [10] L. K. Mühlbauer, "Arduinos in the wild: A novel, low-cost sensor network for high-resolution microclimate monitoring in remote ecosystems," *Ecological Solutions and Evidence*, vol. 4, p. e12255, 2023, doi: 10.1002/2688-8319.12255.
- [11] M. Rashid, B. S. Bari, Y. Yusup, M. A. Kamaruddin, and N. Khan, "A comprehensive review of crop yield

prediction using machine learning
approaches with special emphasis on
palm oil yield prediction," *IEEE Access*,

vol. 9, pp. 63406–63439, 2021, doi:
10.1109/ACCESS.2021.3075159.