

EVALUASI SIMULATIF SISTEM AGROSHIELD BERBASIS IOT UNTUK PEMANTAUAN RISIKO OPT PADI DAN KENDALI AKTUATOR MENGGUNAKAN RULE-BASED DECISION

SIMULATIVE EVALUATION OF AN IOT-BASED AGROSHIELD SYSTEM FOR PADDY RICE OPT RISK MONITORING AND ACTUATOR CONTROL USING RULE-BASED DECISION

Alam Akbar Alfatah*, Dendy Satria Nugraha, Reni Rahmadewi, Safrian Andromeda

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

*2210631160002@student.unsika.ac.id, 2210631160007@student.unsika.ac.id, reni.rahmadewi@ft.unsika.ac.id, safrian@ft.unsika.ac.id

INFO ARTIKEL

Diterima: 15 Juni 2026

Direvisi: 22 Juni 2026

Disetujui: 10 Juli 2026

Kata Kunci:

AGROSHIELD, Internet Of Things, Monitoring OPT, Lahan Sawah Padi, Rule-Based Decision.

ABSTRAK

Penelitian ini merancang dan mensimulasikan AGROSHIELD, sebuah sistem pemantauan dan peringatan dini berbasis Internet of Things (IoT) untuk risiko organisme pengganggu tanaman (OPT) pada lahan sawah padi. Sistem ini mengintegrasikan pemantauan suhu, kelembapan, status curah hujan, ketinggian air, jumlah wereng yang terdeteksi, level cairan, dan status konektivitas ke dalam satu alur pengambilan keputusan. Metode penelitian menggunakan simulasi ESP32 pada Wokwi, dasbor pemantauan, dan rule-based decision engine untuk mengklasifikasikan status sistem menjadi aman, waspada, bahaya, atau error. Pengujian dilakukan melalui sepuluh skenario yang merepresentasikan kondisi normal, risiko wereng, risiko blas, kondisi air abnormal, level cairan rendah, dan gangguan konektivitas. Hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh sepuluh skenario menghasilkan output yang sesuai dengan aturan yang dirancang. Sistem juga memberikan respons aktuator secara selektif, khususnya pada kondisi bahaya wereng. AGROSHIELD dinilai layak sebagai dasar pengembangan prototipe fisik, meskipun hasil penelitian ini belum mencerminkan kemampuan dan akurasi deteksi sistem pada kondisi lapangan yang sebenarnya.

ABSTRACT

This study designs and simulates AGROSHIELD, an Internet of Things (IoT)-based monitoring and early warning system for plant pest and disease risks in paddy fields. The system integrates temperature, humidity, rainfall status, water level, detected planthopper count, liquid level, and connectivity status into a unified decision-making process. The research employs an ESP32 simulation on Wokwi, a monitoring dashboard, and a rule-based decision engine to classify system conditions as safe, alert, danger, or error. Testing was conducted through ten scenarios representing normal conditions, planthopper risk, blast disease risk, abnormal water conditions, low liquid level, and connectivity disruption. The simulation results showed that all ten scenarios produced outputs consistent with the predefined rules. The system also provided selective actuator responses, particularly under planthopper danger conditions. AGROSHIELD is considered feasible as a foundation for physical prototype development, although the results do not yet represent the system's detection performance or accuracy under actual field conditions.

Keywords:

AGROSHIELD, Internet Of Things, Monitoring OPT, Paddy Rice Field, Rule-Based Decision.

*Corresponding author: 2210631160002@student.unsika.ac.id

I. PENDAHULUAN

Padi merupakan komoditas pangan strategis yang berperan vital dalam mewujudkan ketahanan pangan nasional. Kabupaten Karawang, Jawa Barat, dikenal sebagai salah satu sentra produksi padi utama dengan kontribusi yang signifikan terhadap produksi nasional. Berdasarkan data [1], produksi padi Karawang mengalami peningkatan dari 1.041.530,95 ton pada tahun 2024 dengan luas panen 183.065,46 ha menjadi 1.194.712,00 ton pada tahun 2025 dengan luas panen 202.293,00 ha. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pengelolaan tanaman padi

memerlukan dukungan teknologi pemantauan yang cepat dan responsif, khususnya terhadap gangguan lingkungan serta organisme pengganggu tanaman (OPT).

Serangan hama, seperti wereng batang cokelat (*Nilaparvata lugens*) dan penyakit blas yang disebabkan oleh jamur *Magnaporthe oryzae*, menjadi tantangan utama dalam budidaya padi. Wereng batang cokelat dapat menurunkan produktivitas tanaman secara signifikan apabila tidak dideteksi sejak dini. [2] menunjukkan bahwa perangkat cahaya (light trap) berbasis IoT dapat digunakan untuk membantu pemantauan hama padi. Sementara itu, [3]

mengembangkan sistem deteksi dan penghitungan wereng berbasis citra digital, dan [4] membuktikan bahwa data suhu dan kelembapan dapat dimanfaatkan untuk peramalan dini penyakit blas.

Meskipun demikian, pemantauan OPT di lapangan hingga saat ini masih banyak dilakukan secara manual, sehingga bersifat periodik, sangat bergantung pada pengamat, rentan terhadap unsur subjektivitas, dan tidak berlangsung secara real-time. Padahal, kondisi lahan sawah dapat berubah dengan cepat akibat faktor ketinggian air, kelembapan, curah hujan, maupun dinamika populasi hama. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) membuka peluang besar bagi terwujudnya sistem pemantauan pertanian yang berbasis data. [5] mengembangkan sistem IoT untuk irigasi padi berbasis ketinggian air, sedangkan [6] menerapkan IoT untuk pemantauan sawah secara digital. Namun demikian, sebagian besar sistem yang ada masih bersifat parsial dan belum terintegrasi secara menyeluruh.

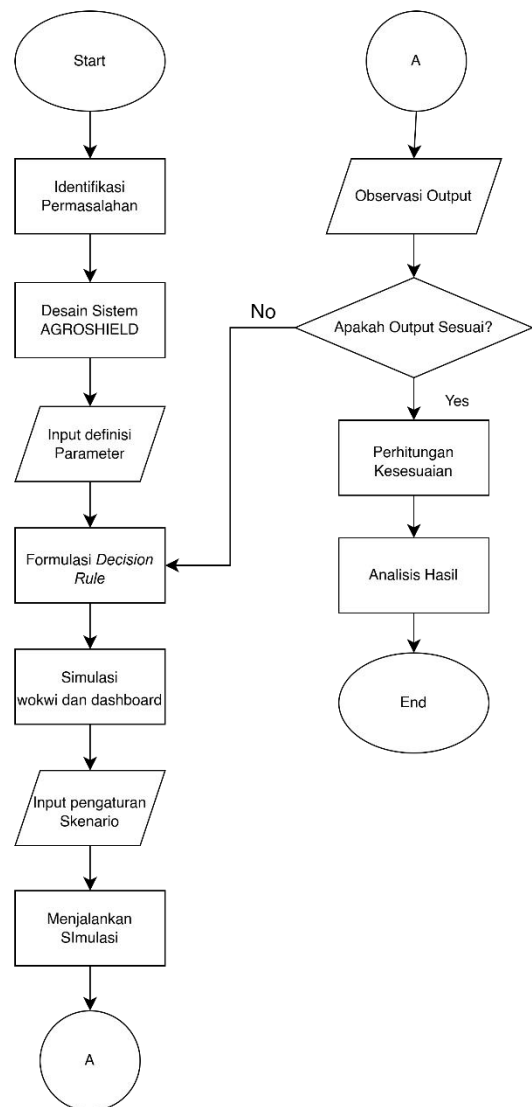
Penelitian ini merancang dan mensimulasikan AGROSHIELD, sebuah sistem pemantauan OPT padi berbasis IoT, dengan kebaruan (novelty) berupa integrasi antara risiko OPT, kondisi air, kesiapan aktuator, dan konektivitas dalam sebuah rule-based decision engine. Sistem ini memproses data lingkungan untuk menghasilkan status risiko, notifikasi pada dasbor, alarm peringatan, serta respons aktuator secara selektif yang diuji pada sepuluh skenario.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mensimulasikan sistem AGROSHIELD untuk menguji alur data, logika pengambilan keputusan, dasbor, serta respons aktuator sebelum dikembangkan menjadi prototipe fisik berbasis IoT. Penjelasan lebih rinci mengenai hal tersebut disajikan pada bagian-bagian berikut.

A. Desain Penelitian

Tahapan penelitian ini meliputi identifikasi masalah, perancangan sistem, perumusan aturan keputusan (decision rule), simulasi, pengujian skenario, evaluasi luaran, serta analisis keterbatasan sistem. Tahapan tersebut secara ringkas disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Desain Penelitian AGROSHIELD

Diagram alur pada Gambar 1 menggambarkan urutan penelitian AGROSHIELD berbasis simulasi, dimulai dari identifikasi masalah, perancangan sistem, penentuan parameter input, perumusan aturan keputusan, simulasi Wokwi–dashboard, pengaturan skenario, hingga pelaksanaan simulasi. Ketinggian air disertakan untuk mendukung irigasi lahan sawah dan pemantauan banjir [7]. Keluaran yang diamati kemudian dinilai kesesuaiannya, guna memastikan aturan yang dapat ditelusuri serta respons sistem yang mudah dipahami pada sepuluh skenario dalam tahap pengujian simulasi [7].

B. Formulasi Sistem dan Rule-Based Decision

AGROSHIELD menggunakan metode *rule-based decision* untuk mengubah data masukan menjadi status risiko, notifikasi, indikator peringatan, dan respons aktuator. Data masukan sistem dinyatakan sebagai vektor berikut:

$$X = [T, RH, R, WL, BPH, FL, NET] \quad (1)$$

Keterangan:

Simbol	Arti	Simbol	Arti
T	Suhu	BPH	Pendeteksi Wereng
RH	Kelembaban Udara	FL	Level Cairan
R	Status Hujan	NET	Koneksi Internet
WL	Tinggi Muka air		

Luaran sistem dirumuskan sebagai:

$$Y = [S_{WL}, S_{BPH}, S_{BLAST}, S_{TOTAL}, A, N] \quad (2)$$

Simbol	Arti	Simbol	Arti
S_{WL}	Water Level Status	S_{TOTAL}	Overall System Status
S_{BPH}	Planthopper Risk Status	A	Actuator Status
S_{BLAST}	Blast Risk Status	N	System Notification

Fungsi utama AGROSHIELD dalam mengonversi input sistem menjadi luaran dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Y = f(X) \quad (3)$$

Fungsi $f(X)$ merepresentasikan proses pengambilan keputusan berbasis aturan (*rule-based*) untuk mengonversi input menjadi status risiko, notifikasi, dan respons aktuator. Pendekatan ini dipilih karena sifatnya yang sederhana, mudah ditelusuri (*traceable*), serta dapat diverifikasi selama tahap simulasi[8]. Risiko genangan air, wereng, dan blas diklasifikasikan berdasarkan ketinggian air, suhu terkait wereng batang cokelat (BPH), serta kelembapan dan curah hujan [9]. Sebagaimana lengkapnya pada tabel 1.

TABEL I
DECISION RULE SISTEM AGROSHIELD

Aturan	IF	THE N	Response
<i>Rule 1</i>	$NET = 0$	Light trap, pompa, Error Koneksi	solenoid, servo, dan sprayer OFF
<i>Rule 2</i>	$NET = 1 \wedge FL < 20\%$	Cairan Rendah	sebagai proteksi aktuator
<i>Rule 3</i>	$NET = 1 \wedge WL < 2 \text{ cm}$	Air Rendah	Sprayer OFF

Aturan	IF	THE N	Response
<i>Rule 4</i>	$NET = 1 \wedge WL > 8 \text{ cm}$	Genangan Tinggi	Sprayer OFF
<i>Rule 5</i>	$NET = 1 \wedge BPH \geq 30 \wedge T \geq 32^\circ\text{C} \wedge RH \geq 85 \wedge R = 1 \wedge FL \geq 20\%$	Bahaya Ganda	Pompa, solenoid, servo, dan sprayer ON
<i>Rule 6</i>	$NET = 1 \wedge BPH \geq 30 \wedge T \geq 32^\circ\text{C} \wedge FL \geq 20\%$	Bahaya Wereng	solenoid, servo, dan sprayer ON
<i>Rule 7</i>	$NET = 1 \wedge RH \geq 85\% \wedge R = 1$	Bahaya Blas	Sprayer OFF
<i>Rule 8</i>	$NET = 1 \wedge 15 \leq BPH < 30$	Waspada Wereng	Sprayer OFF
<i>Rule 9</i>	$NET = 1 \wedge RH \geq 85\% \wedge R = 0$	Waspada Blas	Sprayer OFF
<i>Rule 10</i>	$NET = 1 \wedge 2 \leq WL \leq 8 \text{ cm} \wedge BPH < 15 \wedge RH < 85\% \wedge FL \geq 20\%$	Aman	Sprayer OFF dan light trap ON

C. Implementasi Simulasi AGROSHIELD

Implementasi AGROSHIELD mencakup simulasi perangkat IoT dan dasbor pemantauan. Platform Wokwi digunakan untuk menguji mikrokontroler ESP32 beserta komponen virtual lainnya [10], sementara ESP32 dipilih karena mendukung konektivitas IoT [11]. Input sistem berasal dari sensor DHT22, potensiometer, dan saklar (switch), sedangkan output ditampilkan melalui layar OLED, LED, buzzer, relai (relay), servo, perangkat cahaya (light trap), dan dasbor[12].

D. Pengujian Skenario

Pengujian dilakukan menggunakan sepuluh skenario simulasi yang merepresentasikan kondisi aman, risiko OPT, kondisi air abnormal, keterbatasan aktuator, serta gangguan

konektivitas. Rancangan skenario pengujian disajikan pada Tabel 2.

TABEL 2
SKENARIO SIMULASI PENGUJIAN AGROSHIELD

Skenario	Kondisi Pengujian	Input	Status yang diharapkan
S1	Kondisi Normal	T=28°C, RH=70%, WL=5 cm, BPH=0, FL=80%, R=0, NET=1	Aman
S2	Wereng Mulai Terdeteksi	BPH=16 ekor/trap	Waspada Wereng
S3	Wereng Terdeteksi Banyak	T=33°C, BPH=35 ekor/trap, FL=75%	Bahaya Wereng
S4	Kelembaban Tinggi	RH=88%, R=0	Waspada Blas
S5	Kelembaban tinggi dan Hujan	RH=92%, R=1	Bahaya Blas
S6	Risiko serangan wereng dan blas	T=32°C, RH=92%, R=1, BPH=35, FL=75%	Bahaya Blas
S7	Kondisi muka air rendah	WL=1 cm	Air rendah
S8	Kondisi Muka air Tinggi	WL=10 cm	Air Tinggi
S9	Low sprayer liquid	T=33°C, BPH=35, FL=10%	Cairan Rendah
S10	Connection disruption	NET=0	Terkoneksi (Online)

Klasifikasi status muka air dirumuskan sebagai:

$$S_{WL} = \begin{cases} \text{Air Rendah,} & WL < 2 \text{ cm} \\ \text{Normal,} & 2 \text{ cm} \leq WL \leq 8 \text{ cm} \\ \text{Genangan Tinggi,} & WL > 8 \text{ cm} \end{cases}$$

Klasifikasi risiko wereng dirumuskan sebagai:

$$S_{BPH} = \begin{cases} \text{Aman,} & BPH < 15 \\ \text{Waspada Wereng,} & 15 \leq BPH < 30 \\ \text{Bahaya Wereng,} & BPH \geq 30 \wedge T \geq 32^\circ\text{C} \end{cases}$$

Klasifikasi risiko penyakit blas dirumuskan sebagai:

$$S_{BLAST} = \begin{cases} \text{Aman,} & RH < 85\% \\ \text{Waspada Blas,} & RH \geq 85\% \wedge R = 0 \\ \text{Bahaya Blas,} & RH \geq 85\% \wedge R = 1 \end{cases}$$

Status proteksi level cairan dirumuskan sebagai:

$$S_{FL} = \begin{cases} \text{Cairan Rendah,} & FL < 20\% \\ \text{Cairan Mencukupi,} & FL \geq 20\% \end{cases}$$

Keputusan aktivasi sprayer dirumuskan sebagai:

$$A_{\text{sprayer}} = \begin{cases} 1, & \begin{aligned} &NET = 1 \wedge FL \geq 20\% \\ &\wedge BPH \geq 30 \\ &\wedge T \geq 32^\circ\text{C} \\ &\wedge 2 \leq WL \leq 8 \text{ cm} \\ &\text{kondisi lainnya} \end{aligned} \\ 0, & \end{cases}$$

dengan:

$$A_{\text{sprayer}} = 1$$

menunjukkan bahwa pompa, solenoid, dan servo nozel aktif, sedangkan:

$$A_{\text{sprayer}} = 0$$

menunjukkan bahwa seluruh aktuatur penyemprotan tidak aktif.

Status keseluruhan sistem ditentukan berdasarkan urutan prioritas berikut:

$$\begin{aligned} &Error \text{ Koneksi} > \text{Cairan Rendah} > \\ &\text{Air Abnormal} > \text{Bahaya Ganda} > \text{Bahaya OPT} \\ &> \text{Waspada} > \text{Aman} \end{aligned}$$

Susunan prioritas tersebut memastikan bahwa kondisi gangguan konektivitas dan proteksi perangkat ditangani sebelum sistem memberikan respons terhadap risiko OPT. Sprayer hanya diaktifkan ketika risiko wereng berada pada kategori bahaya, level cairan mencukupi, muka air berada pada kondisi normal, dan konektivitas sistem tersedia. Risiko blas dan kondisi muka air abnormal hanya menghasilkan notifikasi serta alarm tanpa mengaktifkan sprayer.

E. Evaluasi Kesesuaian Hasil

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan output aktual dan output yang diharapkan (expected output) pada setiap skenario. Output dinyatakan sesuai (conforming) apabila status, indikator, notifikasi, dan aktuatur berjalan sesuai dengan aturan (rules) yang telah dirancang. Pendekatan ini selaras dengan metode pengujian sistem berbasis perbandingan hasil aktual dan hasil yang diharapkan[13], serta dengan prinsip verifikasi dan validasi model simulasi di sepanjang siklus pengembangan model [14].

$$K_o = N_s / N_t \times 100$$

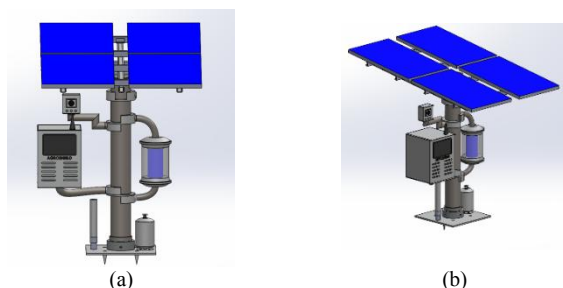
Keterangan

Symbol	Deskripsi
K_o	Tingkat Kesesuaian Output Simulasi
N_s	Jumlah Skenario dengan Output yang cocok
N_t	Total percobaan Skenario

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi, Desain, dan Implementasi AGROSHIELD

AGROSHIELD direpresentasikan melalui visualisasi CAD dan simulasi IoT, bukan dalam bentuk prototipe fisik. Gambar 2 menunjukkan komponen utama serta alur kerja perangkat.



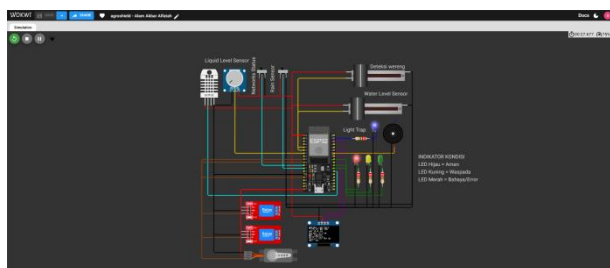
Gambar 2 Visualisasi CAD 3D AGROSHIELD dari tampak depan (a) dan tampak isometrik (b).

Komponen utama dalam desain AGROSHIELD disusun untuk mendukung tiga fungsi utama, yaitu pemantauan kondisi lingkungan, pemantauan risiko OPT, serta respons aktuatur secara simulatif. Fungsi masing-masing komponen utama disajikan pada Tabel 2.

TABEL 3
KOMPONEN UTAMA AGROSHIELD DAN FUNGSI

No	Komponen	Fungsi pada sistem
1	Solar Panel	Sumber energi mandiri untuk perangkat di lapangan
2	Sensor array	Memantau suhu, kelembapan, cahaya, dan hujan
3	Monitoring Camera	Mendukung pengamatan visual pada area tanaman/perangkap
4	Control box	Pusat kendali, pemrosesan data, dan komunikasi
5	Light Trap Wereng	Memantau aktivitas wereng batang cokelat
6	Sensor Ketinggian Air	Memantau kondisi genangan pada lahan sawah
7	Tangki Cairan	Menyimpan cairan untuk aktuatur sprayer
8	Pompa dan Solenoid	Mengatur aliran cairan
9	Servo nozzle	Mengarahkan nozel secara simulatif
10	Monitoring Dashboard	Menampilkan data, risiko, grafik, dan notifikasi

Sensor ketinggian air digunakan untuk memantau genangan pada lahan sawah, perangkat cahaya (light trap) merepresentasikan pemantauan wereng, sedangkan sensor suhu, kelembapan, dan curah hujan membaca kondisi mikroklimate untuk mendeteksi risiko penyakit blas. Simulasi Wokwi menggunakan ESP32 dengan DHT22, potensiometer, dan saklar (switch) sebagai input; serta OLED, LED, buzzer, relai, servo, dan light trap sebagai output, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Rangkaian Simulasi AGROSHIELD pada Wokwi

Potensiometer dan saklar digunakan untuk membentuk variasi input yang terkontrol, bukan untuk

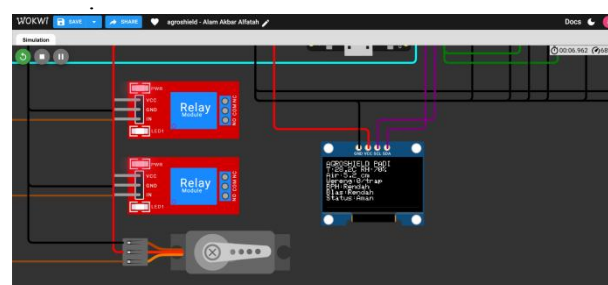
menggantikan sensor yang sesungguhnya. Pendekatan ini memungkinkan pengujian pada kondisi aman, peringatan wereng, bahaya wereng, peringatan blas, bahaya blas, air rendah, genangan tinggi, cairan rendah, dan gangguan konektivitas. Representasi lengkap komponen simulasi Wokwi disajikan pada Tabel 4 berikut.

TABEL 4
REPRESENTASI KOMPONEN AGROSHIELD DALAM SIMULASI WOKWI

No	Wokwi	AGROSHIELD	Fungsi dalam Simulasi
1	ESP32 DevKit V1	Control box/ microcontroller	Pusat pembacaan data dan kendali output
2	DHT22	Temperature and humidity sensor	Membaca mikroklimate lahan sawah
3	Potensio-meter 1	Water level sensor	Mensimulasikan ketinggian air 0–10 cm
4	Potensio-meter 2	Planthopper detection input	Mensimulasikan jumlah wereng 0–40 ekor/perangkap
5	Potensio-meter 3	Liquid level sensor	Mensimulasikan level cairan 0–100%
6	Slide switch	Rain sensor/connection status	Mensimulasikan hujan dan status online/offline
7	OLED SSD1306	Local display	Menampilkan data dan status sistem
8	LED indikator	Safe/alert/danger status	Indikator visual sistem
9	Buzzer	Local alarm	Aktif pada kondisi bahaya/error
10	Relay dan servo	Pump, solenoid, nozzle	Mensimulasikan aktuatur penyemprot
11	LED biru/ungu	Light trap wereng	Mensimulasikan perangkat cahaya

B. Hasil Pengujian Simulasi Skenario

Pengujian dilakukan pada sepuluh skenario, mencakup kondisi normal, risiko OPT, air abnormal, cairan rendah, dan gangguan konektivitas, untuk menilai perubahan input terhadap status risiko dan respons sistem



(a)



(b)

Gambar 4 Contoh tampilan OLED (a) dan serial monitor pada simulasi Wokwi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap perubahan input menghasilkan output sistem yang konsisten dengan aturan yang telah dirancang. Ringkasan hasil pengujian skenario simulasi AGROSHIELD ditunjukkan pada Tabel 5.

TABEL 5
HASIL PENGUJIAN SKENARIO SIMULASI AGROSHIELD

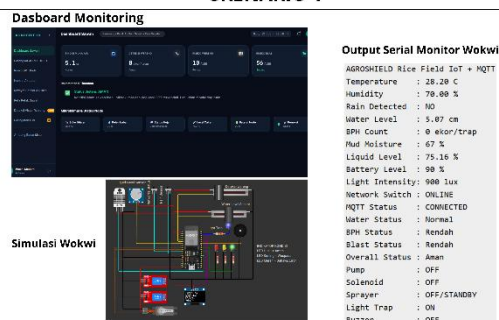
Scenario	Input	Output dan Respon Sistem	Note
S1	Normal	Safe; LED-G ON, BZ OFF, actuator OFF	S
S2	BPH 16 Wereng/ekor	Planthopper Alert; LED-Y ON, sprayer OFF	S
S3	T 33°C, BPH 35, FL 75%	Planthopper Danger; LED-R ON, BZ ON, sprayer ON	S
S4	RH 88%, tidak hujan	Blast Alert; LED-Y ON, sprayer OFF	S
S5	RH 92%, Hujan	Blast Danger; LED-R ON, BZ ON, sprayer OFF	S
S6	BPH 35, RH 92%, Hujan, FL 75%	Dual Danger; LED-R ON, BZ ON, sprayer ON	S
S7	WL 1 cm	Low Water; LED-R ON, BZ ON, sprayer OFF	S
S8	WL 10 cm	High Flooding; LED-R ON, BZ ON, sprayer OFF	S
S9	BPH 35, FL 10%	Low Liquid; LED-R ON, BZ ON, sprayer OFF	S
S10	NET offline	Connection Error; LED-R ON, BZ ON, LT OFF, actuator OFF	S

Keterangan:

Simbol	Arti	Simbol	Arti
T	Suhu	LED-G	Led Green
RH	Kelembaban Udara	LED-Y	Led Yellow
WL	Sensor Tinggi Muka Air	LED-R	Led Red
BPH	Pendeteksi wereng	BZ	Buzzer
FL	Level Cairan	LT	Light Trap
NET	Status koneksi Internet (online)	S	Sesuai

Berdasarkan Tabel 5, sistem menghasilkan status yang konsisten pada setiap skenario, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil pada dasbor pemantauan, simulasi Wokwi, dan output serial monitor untuk masing-masing skenario berikut:

SKENARIO 1



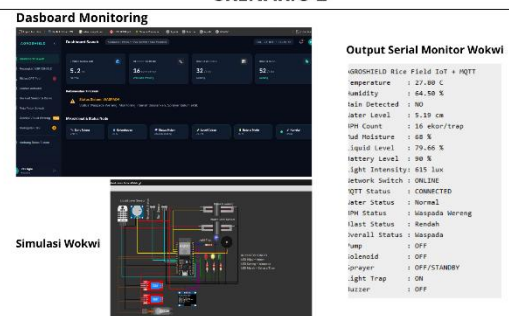
Gambar 5 Hasil Skenario 1

Pada Skenario S1, seluruh parameter berada pada rentang normal, yaitu suhu 28,20°C, kelembapan 70,00%, muka air 5,07 cm, jumlah wereng 0 ekor per perangkat, dan level cairan 75,16%. Sistem menetapkan status

keseluruhan Aman dengan seluruh aktuator pengendalian tidak aktif, kecuali light trap yang tetap menyala.

Kestabilan sistem pada kondisi ini bersumber dari logika ambang ganda yang mendasari setiap parameter kritis, di mana suatu aturan bahaya baru terpicu apabila nilai sensor melewati batas atas tertentu, sementara nilai di bawah batas tersebut secara default jatuh pada kategori aman tanpa memerlukan aturan eksplisit tambahan. Mekanismenya berjalan melalui proses eliminasi berurutan, yaitu setiap parameter diperiksa terhadap ambang bahayanya masing masing, dan hanya apabila seluruhnya gagal terpicu maka status akhir jatuh ke kategori Aman sebagai nilai bawaan, bukan karena ada aturan khusus yang secara aktif mendefinisikan kondisi aman tersebut. Ketepatan ambang batas menjadi faktor penentu keandalan mekanisme ini, sebab ambang yang terlalu longgar berisiko mengabaikan kondisi yang sesungguhnya sudah mengarah ke bahaya, sementara ambang yang terlalu ketat akan memicu alarm palsu yang menurunkan kepercayaan pengguna terhadap validitas peringatan sistem. Kondisi light trap yang tetap menyala meski status Aman turut menegaskan bahwa perancang membedakan antara aktuator responsif terhadap ancaman, seperti pompa dan sprayer, dengan aktuator pemantauan pasif yang memang dirancang beroperasi terus menerus tanpa bergantung pada status risiko, sebuah pemisahan fungsi yang menjaga populasi hama tetap terpantau bahkan ketika tidak ada indikasi bahaya aktif.

SKENARIO 2



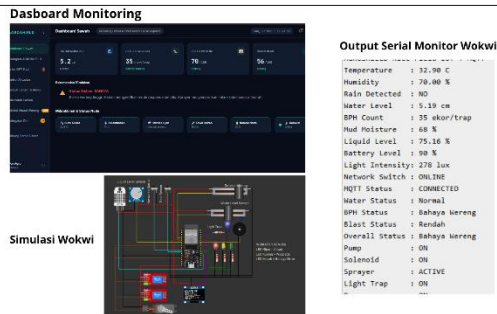
Gambar 6 Hasil Skenario 2

Pada Skenario S2, satu satunya variabel yang berubah dari S1 adalah jumlah wereng, meningkat dari 0 menjadi 16 ekor per perangkat, dan perubahan tunggal ini cukup mengubah status dari Aman menjadi Waspada.

Kepekaan sistem terhadap perubahan satu variabel ini menunjukkan bahwa arsitektur keputusan AGROSHIELD tidak menerapkan skema pembobotan gabungan yang mensyaratkan banyak variabel melewati ambang secara bersamaan, melainkan skema aturan independen per parameter, sehingga satu variabel yang melewati ambang menengahnya sudah cukup memicu perubahan status tanpa menunggu variabel lain ikut berubah. Mekanisme ini dapat dijelaskan melalui konsep ambang bertingkat, di mana variabel jumlah wereng memiliki lebih dari satu titik potong, yaitu ambang Waspada di kisaran 16 ekor dan ambang Bahaya yang jauh lebih tinggi di kisaran 35 ekor sebagaimana terlihat pada S3, sehingga populasi hama diklasifikasikan secara gradual,

bukan sekadar ada atau tidak ada serangan. Dinamika populasi wereng yang bersifat eksponensial pada kondisi mendukung menjadi faktor yang melandasi kelayakan desain ini, sebab peringatan pada tahap populasi masih rendah memberi jendela waktu intervensi manual, seperti pengecekan visual atau penyesuaian pengelolaan air, sebelum populasi mencapai titik yang benar benar memerlukan aplikasi pestisida. Ambang bertingkat ini secara fungsional meniru prinsip pengendalian hama terpadu yang menunda tindakan kimiawi selama masih memungkinkan, dan baru mengeskalasi tindakan ketika ambang ekonomi hama benar benar terlampaui.

SKENARIO 3

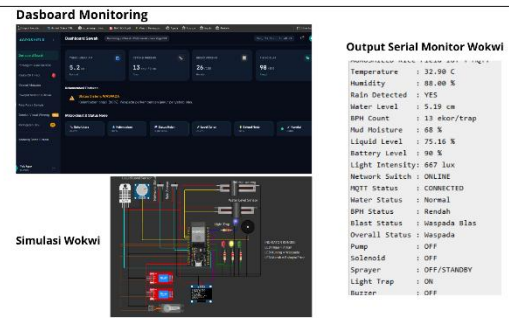


Gambar 7 Hasil Skenario 3

Pada Skenario S3, jumlah wereng melonjak ke 35 ekor per perangkap disertai kenaikan suhu ke 32,90°C, dan kombinasi ini mengaktifkan seluruh aktuatur pengendalian secara serentak, yaitu pompa, solenoid, dan sprayer.

Penyertaan suhu sebagai faktor pemicu berkaitan dengan pengaruhnya terhadap laju metabolisme dan reproduksi wereng batang cokelat secara biologis, di mana suhu pada kisaran 30 hingga 33°C berada dekat dengan rentang optimal perkembangan hama tersebut, sehingga kombinasi suhu tinggi dan populasi tinggi menghasilkan tingkat urgensi yang lebih besar dibandingkan apabila hanya salah satu faktor yang tinggi. Urgensi ganda ini diterjemahkan secara komputasional melalui aktivasi simultan tiga aktuatur berbeda, yaitu pompa untuk menyediakan tekanan cairan, solenoid untuk membuka jalur aliran, dan sprayer untuk eksekusi penyemprotan, yang menunjukkan bahwa keputusan Bahaya Wereng bukan sekadar mengubah label status, melainkan memicu rangkaian aktivasi bertahap yang saling bergantung, serupa dengan konsep interlock berurutan pada sistem kendali industri, di mana satu aktuatur tidak akan bekerja efektif tanpa aktuatur pendahulunya. Validasi pada tahap ini baru terjadi pada level keputusan logis, sedangkan faktor fisik seperti tekanan pompa aktual, homogenitas droplet semprot, dan waktu tempuh cairan dari tangki ke nozel berada di luar cakupan simulasi, sehingga kepastian bahwa sprayer aktif benar benar berarti hama terkendali masih memerlukan rantai pembuktian tambahan pada tahap purwarupa fisik.

SKENARIO 4

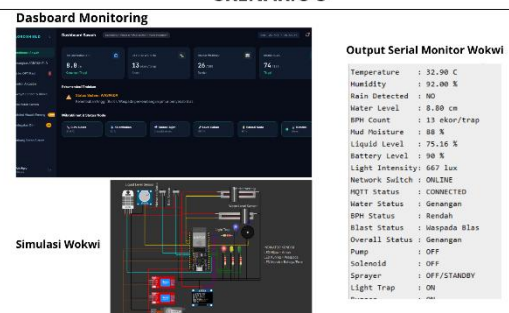


Gambar 8 Hasil Skenario 4

Pada Skenario S4, kelembapan tinggi sebesar 88% disertai hujan terdeteksi menghasilkan status Waspada Blas, meskipun jumlah wereng rendah dan tidak ada aktivasi aktuatur penyemprotan.

Penggunaan kombinasi kelembapan dan hujan sebagai proksi bagi risiko penyakit blas mencerminkan pendekatan sistem berbasis sensor lingkungan, di mana penyakit blas yang disebabkan oleh jamur *Pyricularia oryzae* secara ilmiah memang berkembang pesat pada kondisi kelembapan tinggi dan permukaan daun yang basah akibat hujan atau embun, sehingga kedua variabel ini merupakan prediktor tidak langsung yang sah secara agronomis, meski tetap bukan konfirmasi langsung terhadap infeksi aktual. Keseimbangan antara sensitivitas deteksi dini dan risiko alarm berlebih terlihat dari pilihan menetapkan status Waspada, bukan Bahaya, sehingga pengguna diberi sinyal untuk meningkatkan kewaspadaan visual tanpa dipaksa mengambil tindakan kimiawi berdasarkan proksi yang belum tentu akurat. Ketepatan ambang ini ke depan bergantung pada ketersediaan data validasi lapangan yang menghubungkan kombinasi kelembapan dan durasi basah daun dengan insiden blas aktual, sebab tanpa data tersebut, ambang 85 persen kelembapan yang digunakan tetap bersifat asumsi rekayasa yang masuk akal namun belum tervalidasi secara empiris terhadap kondisi agroekosistem spesifik lokasi penerapan.

SKENARIO 5



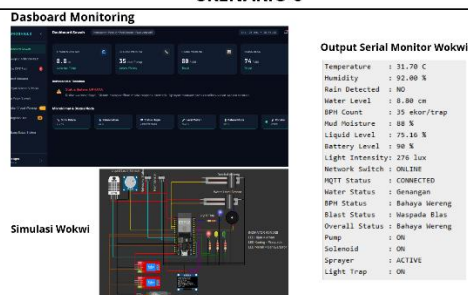
Gambar 9 Hasil Skenario 5

Pada Skenario S5, dua kondisi peringatan muncul bersamaan, yaitu genangan air pada 8,80 cm dan mikroklimat pendukung blas, namun sistem memprioritaskan status Genangan di atas Waspada Blas.

Prioritas yang diberikan kepada genangan dibandingkan risiko penyakit tanaman berakar pada

perbedaan sifat risiko antara kedua kondisi tersebut, yaitu genangan air berlebih berpotensi menyebabkan kerusakan struktural pada tanaman padi dalam hitungan jam, seperti pembusukan akar atau rebah tanaman, sementara perkembangan penyakit blas umumnya membutuhkan waktu berhari-hari dari infeksi awal hingga gejala tampak signifikan, sehingga pemberian prioritas pada genangan mencerminkan urutan urgensi berbasis kecepatan potensi kerusakan, bukan sekadar urutan sewenang-wenang. Mekanisme arbitrase ini menunjukkan bahwa sistem tidak memproses setiap aturan secara terisolasi, melainkan menerapkan resolusi konflik yang membandingkan tingkat urgensi antar kategori risiko sebelum menetapkan satu label status tunggal untuk ditampilkan kepada pengguna. Tantangan yang muncul dari pendekatan ini adalah bahwa kedua kondisi tetap terjadi secara simultan secara fisik di lahan, sehingga pelabelan tunggal berisiko membuat pengguna hanya menindaklanjuti satu masalah dan mengabaikan yang lain, yang berarti antarmuka pengguna idealnya perlu menampilkan kedua status secara paralel, bukan hanya status dengan prioritas tertinggi, agar informasi yang sampai kepada petani tetap utuh.

SKENARIO 6



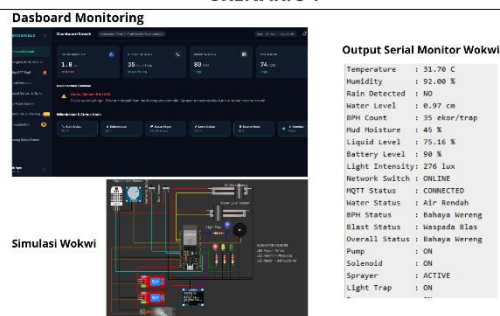
Gambar 10 Hasil Skenario 6

Pada Skenario S6, status Bahaya Wereng tetap menjadi status keseluruhan meskipun genangan air turut terdeteksi, dan sprayer tetap diaktifkan tanpa hambatan dari kondisi air.

Prioritas yang diberikan kepada hama aktif dibandingkan kondisi genangan, berbeda dengan pola pada S5 yang memprioritaskan genangan di atas risiko blas, mengungkap cara sistem menimbang urgensi berdasarkan tingkat kepastian dan kedekatan ancaman terhadap kerugian hasil panen, bukan berdasarkan jenis kondisi secara kaku. Populasi wereng pada kategori Bahaya merupakan ancaman yang telah terkonfirmasi secara langsung melalui penghitungan perangkat, sehingga tingkat kepastiannya lebih tinggi dibandingkan risiko blas yang masih bersifat prediktif berbasis proksi lingkungan, dan hal ini menjelaskan mengapa Bahaya Wereng mampu mengalahkan Genangan sementara Waspada Blas tidak mampu mengalahkan Genangan pada S5. Logika ini bekerja melalui konsep pembobotan berbasis kepastian bukti, di mana aturan dengan tingkat konfirmasi lebih tinggi memperoleh prioritas eksekusi lebih besar dibandingkan aturan yang masih bersifat prediksi. Konsekuensi logis dari desain ini adalah bahwa muka air pada rentang genangan, yaitu di atas 8 cm, tidak diperlakukan sebagai kondisi yang membahayakan operasi pompa maupun solenoid, sebuah asumsi yang masuk akal

untuk pompa berbasis submersible namun tetap perlu dipastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi teknis perangkat keras aktual yang akan digunakan pada implementasi lapangan.

SKENARIO 7

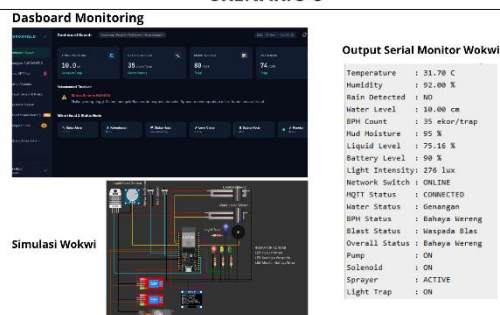


Gambar 11 Hasil Skenario 7

Pada Skenario S7, muka air turun ke titik ekstrem berlawanan yaitu 0,97 cm, namun keputusan penyemprotan tetap tidak berubah dari S6, membuktikan stabilitas keputusan pada rentang variasi muka air yang luas.

Pengujian pada dua kutub ekstrem, genangan tinggi dan air rendah, memberikan bukti stabilitas keputusan yang lebih meyakinkan dibandingkan pengujian pada satu arah perubahan saja, sebab jika sistem hanya diuji pada satu arah, ada kemungkinan bahwa keputusan yang tampak stabil sebenarnya hanya berlaku kebetulan untuk rentang nilai tertentu, bukan mencerminkan independensi logika terhadap variabel muka air secara menyeluruh. Independensi ini secara teknis tercermin dari fakta bahwa aturan Bahaya Wereng tidak memiliki ketergantungan bersyarat terhadap nilai muka air dalam struktur logikanya, sehingga kedua aturan dievaluasi pada jalur keputusan yang terpisah dan tidak saling memodifikasi keluaran satu sama lain. Relevansi independensi ini secara agronomis didukung oleh kenyataan bahwa penyemprotan pestisida kontak maupun sistemik pada dasarnya tidak memerlukan prasyarat ketinggian genangan tertentu untuk dapat bekerja efektif, sehingga keputusan untuk tidak mengaitkan status air dengan aktivasi sprayer sejalan dengan praktik pengendalian hama yang sesungguhnya, di mana faktor penentu efektivitas penyemprotan lebih berkaitan dengan kondisi angin, waktu aplikasi, dan konsentrasi larutan, bukan ketinggian genangan di petak sawah.

SKENARIO 8

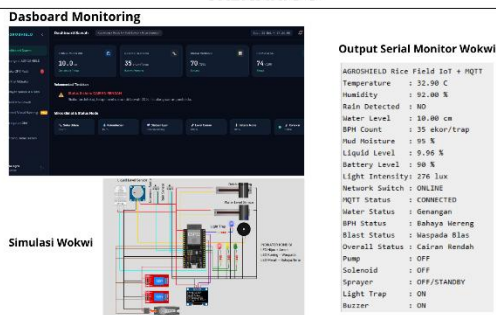


Gambar 12 Hasil Skenario 8

Pada Skenario S8, muka air dinaikkan lebih jauh ke 10,00 cm dengan kelembapan tanah 95%, dan hasil tetap konsisten dengan S6 dan S7, yaitu Bahaya Wereng tetap mendominasi keputusan akhir.

Rangkaian tiga skenario berurutan, yaitu S6, S7, dan S8, berfungsi sebagai uji variasi satu faktor, yaitu teknik pengujian yang mengubah satu variabel secara bertahap sementara variabel lain dijaga tetap, sehingga pengaruh spesifik dari variabel muka air terhadap keputusan akhir dapat diisolasi secara meyakinkan dari pengaruh variabel lain seperti suhu atau kelembapan. Nilai pembuktian rangkaian ini menjadi lebih kuat dibandingkan skenario tunggal karena akumulasi bukti pada tiga titik data berbeda yang seluruhnya mengarah pada kesimpulan sama, yaitu jumlah wereng merupakan variabel dominan, sehingga kemungkinan bahwa hasil pada satu skenario hanya kebetulan menjadi jauh lebih kecil ketika didukung oleh dua skenario tambahan yang konsisten. Cakupan nilai yang diuji, yaitu 0,97 hingga 10,00 cm, menjadi faktor yang membatasi generalisasi hasil ini, sehingga klaim dominasi variabel wereng hanya berlaku sah dalam rentang tersebut, dan pengujian pada nilai ekstrem di luar rentang ini, misalnya genangan yang jauh lebih dalam akibat banjir, tetap memerlukan verifikasi tambahan sebelum generalisasi dapat diperluas.

SKENARIO 9



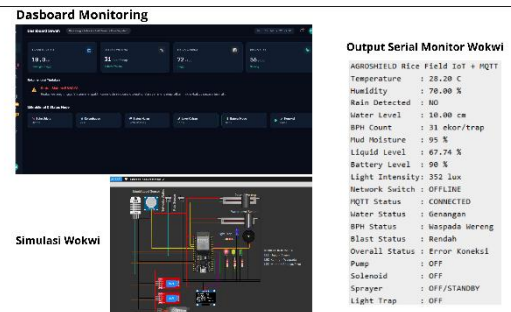
Gambar 13 Hasil Skenario 9

Pada Skenario S9, seluruh parameter dipertahankan identik dengan S8, kecuali level cairan yang dijatuhkan secara ekstrem ke 9,96%, dan perubahan tunggal ini berhasil membalikkan keputusan dari Bahaya Wereng menjadi Cairan Rendah, menonaktifkan seluruh aktuator penyemprotan.

Kemampuan satu variabel ini mengalahkan variabel wereng yang pada delapan skenario sebelumnya selalu terbukti dominan bersumber dari perbedaan mendasar antara jenis risiko yang ditangani oleh masing-masing aturan, yaitu aturan Bahaya Wereng menangani risiko agronomis yang berkembang dalam skala waktu hari hingga minggu, sedangkan aturan Cairan Rendah menangani risiko kerusakan perangkat keras yang dapat terjadi dalam hitungan detik hingga menit apabila pompa dipaksa beroperasi tanpa cairan, sehingga secara rasional risiko kerusakan permanen pada aktuator diberi prioritas mutlak di atas risiko agronomis yang masih memiliki jendela waktu penanganan lebih longgar. Mekanisme ini menunjukkan penerapan pola gerbang pengaman yang lazim digunakan pada sistem kendali otomatis, yaitu

sebuah kondisi keselamatan kritis yang, ketika terpenuhi, akan menutup seluruh jalur keputusan lain tanpa terkecuali, terlepas dari seberapa mendesak aturan lain tersebut, sebuah desain yang secara sengaja mengorbankan responsivitas terhadap hama demi mencegah kerugian yang lebih besar berupa kerusakan permanen pada pompa. Metode isolasi variabel tunggal yang diterapkan pada skenario ini, dengan menjaga seluruh kondisi lain identik dengan S8, menjadikan atribusi perubahan hasil kepada variabel level cairan menjadi meyakinkan, tanpa ada kemungkinan variabel perancu lain yang turut memengaruhi hasil.

SKENARIO 10



Gambar 14 Hasil Skenario 10

Pada Skenario S10, Network Switch berstatus luring sementara MQTT tetap terhubung, dan kondisi ini menghasilkan status Error Koneksi yang mengunci seluruh aktuator, menempatkan keselamatan konektivitas di atas seluruh hierarki keputusan agronomis yang telah teruji pada sembilan skenario sebelumnya.

Terkuncinya seluruh sistem akibat gangguan pada satu komponen jaringan saja, sementara komponen lain seperti MQTT masih berfungsi, mengungkap prinsip keselamatan yang lebih dalam, yaitu bahwa keandalan sistem otomatis jarak jauh tidak dapat digantungkan pada asumsi bahwa sebagian jalur komunikasi yang masih berfungsi otomatis berarti keseluruhan sistem dapat dipercaya, sebab apabila Network Switch terputus namun aktuator tetap diizinkan beroperasi berdasarkan data lokal yang mungkin sudah usang, risiko yang muncul adalah aktuator bertindak berdasarkan kondisi lapangan yang sudah tidak relevan lagi dengan kondisi terkini, sebuah risiko yang jauh lebih berbahaya dibandingkan sekadar menunda tindakan sampai konektivitas pulih. Logika fail safe ini bekerja secara arsitektural dengan memperlakukan status koneksi sebagai prasyarat gerbang yang harus terpenuhi sebelum evaluasi aturan agronomis apa pun diizinkan menghasilkan aktivasi aktuator, serupa dengan prinsip interlock keselamatan pada mesin industri yang tidak akan menyala apabila sensor pengaman menunjukkan kondisi pintu terbuka, terlepas dari perintah operator. Durasi maksimum sistem dapat bertahan dalam kondisi terkunci sebelum risiko agronomis yang tertunda, seperti serangan wereng yang terus berkembang selama koneksi belum pulih, mulai melampaui manfaat dari sikap kehati-hatian ini, menjadi faktor yang menentukan seberapa jauh prinsip ini dapat diandalkan pada implementasi nyata, sehingga penelitian lanjutan idealnya perlu menentukan

ambang waktu maksimum gangguan koneksi yang masih dapat ditoleransi sebelum sistem beralih ke mode operasi cadangan berbasis keputusan lokal.

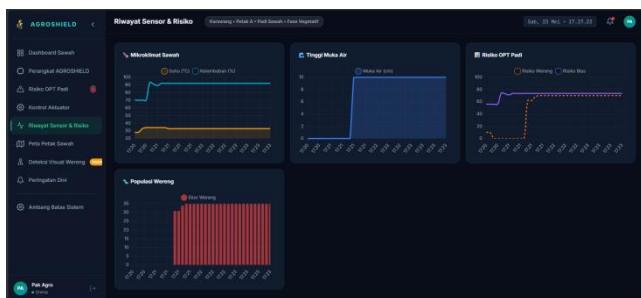
C. Risiko OPT dan Analisis Kondisi Air Sawah

Analisis risiko pada AGROSHIELD berfokus pada tiga aspek, yaitu wereng batang cokelat, penyakit blas, dan ketinggian air sawah. Risiko wereng direpresentasikan melalui jumlah wereng yang terdeteksi, risiko blas direpresentasikan melalui status kelembapan dan curah hujan, sedangkan kondisi air direpresentasikan melalui ketinggian air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan risiko berdasarkan perubahan input. Kondisi wereng pada tahap awal menghasilkan status Waspada Wereng tanpa mengaktifkan sprayer, sedangkan jumlah wereng yang tinggi disertai level cairan yang mencukupi memicu status Bahaya Wereng, alarm, dan sprayer aktif. Risiko blas hanya diposisikan sebagai peringatan mikroklimat, sementara kondisi air rendah dan genangan tinggi memicu alarm tanpa mengaktifkan sprayer. Ringkasan hasil disajikan pada Tabel 6.

TABEL 6
ANALISIS RESPONS RISIKO HAMA DAN KONDISI AIR SAWAH

Fokus Risiko	Input	Status Sistem	Makna Respon
Wereng awal	BPH 16 ekor/trap	Waspada Wereng	Peringatan awal, sprayer OFF
Wereng tinggi	BPH 35, T 33°C, FL cukup	Bahaya Wereng	Alarm dan sprayer ON
Blas awal	RH 88%, tidak hujan	Waspada Blas	Peringatan mikroklimat
Blas tinggi	RH 92%, hujan	Bahaya Blas	Alarm ON, sprayer OFF
Risiko ganda	BPH tinggi, RH tinggi, hujan	Bahaya Ganda	Alarm ON, sprayer mengikuti risiko wereng
Air rendah	WL 1 cm	Air Rendah	Peringatan kekurangan air
Genangan tinggi	WL 10 cm	Genangan Tinggi	Peringatan kelebihan air
Cairan rendah	BPH tinggi, FL 10%	Cairan Rendah	Proteksi aktuator, sprayer OFF

Berdasarkan Tabel 6, AGROSHIELD mampu mengonversi data sensor menjadi status risiko yang jelas. Respons sistem mengikuti penyebab risiko yang terdeteksi: bahaya wereng mengaktifkan sprayer, sedangkan risiko blas dan kondisi air abnormal hanya memicu peringatan.



Gambar 15 Tampilan dasbor risiko OPT dan kondisi air sawah

Hasil analisis menunjukkan bahwa AGROSHIELD mampu mengintegrasikan parameter hama, penyakit, dan air ke dalam satu sistem pemantauan. Risiko wereng mengaktifkan aktuator pada tingkat bahaya, sedangkan risiko blas dan kondisi air menghasilkan peringatan, sehingga membantu pengguna memahami status lahan secara lebih cepat dan ringkas.

D. Respon Aktuator dan Analisis Dashboard Monitoring

Respons sistem dianalisis melalui output aktuator dan dasbor. LED, buzzer, relai, servo, dan *light trap* menunjukkan respons lokal, sedangkan dasbor menampilkan status risiko, notifikasi, grafik, dan aktuator. *Sprayer* hanya aktif pada status Bahaya Wereng atau Bahaya Ganda ketika cairan mencukupi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 16. Output aktuator dalam simulasi Wokwi pada status Bahaya Wereng.

Pada kondisi Bahaya Blas, Air Rendah, dan Genangan Tinggi, sistem hanya memberikan peringatan melalui LED merah dan buzzer, tanpa mengaktifkan sprayer karena risiko yang terdeteksi tidak berkaitan dengan penyemprotan. Proteksi aktuator muncul pada kondisi Cairan Rendah dan Error Konektivitas; sprayer tetap tidak aktif ketika cairan rendah, *light trap* mati ketika koneksi terputus, dan seluruh aktuator dijaga tetap tidak aktif sehingga perangkat hanya beroperasi ketika status risiko, cairan, dan konektivitas berada dalam kondisi aman. Ringkasan hubungan antara status sistem, respons aktuator, dan tampilan dasbor disajikan pada Tabel 7.

TABEL 7
RINGKASAN RESPONS AKTUATOR DAN DASBOR AGROSHIELD

Status Sistem	Respon Komponen	Tampilan Dashboard	Arti
Aman	LED-G ON, aktuator OFF	Status Normal	Sistem Stabil
Waspada	LED-Y ON, sprayer OFF	Peringatan dini	Diperlukan pemantauan
Bahaya Wereng/ Ganda	LED-R ON, BZ ON, sprayer ON	Status Bahaya, aktuator aktif	Respon <i>sprayer</i>
Bahaya wereng dan double hama	LED-R ON, BZ ON, sprayer OFF	Risiko Mikroklimat tinggi	Bahaya Penyakit
Kondisi air tidak normal	LED-R ON, BZ ON, sprayer OFF	Kekurangan air/ genangan air	Peringatan terkait air sawah
Cairan rendah/error	LED-R ON, BZ ON, aktuator OFF	<i>System protection/error</i>	The actuator is locked

Keterangan:

Simbol	Arti	Simbol	Arti
T	Suhu	LED-G	Led Green

RH	Kelembaban Udara	LED-Y	Led Yellow
WL	Water Level Sensor	LED-R	Led Red
BPH	Pendeteksi jumlah wereng	BZ	Buzzer
FL	Level Cairan	LT	Light Trap
NET	Koneksi internet	S	Sesuai

Berdasarkan Tabel 7, AGROSHIELD memberikan respons selektif sesuai jenis risiko. Sprayer aktif hanya pada bahaya wereng dengan cairan mencukupi, sedangkan blas, air abnormal, cairan rendah, dan error konektivitas hanya memicu peringatan atau proteksi. Dasbor mengonversi data sensor menjadi status, indikator, grafik, dan notifikasi secara konsisten dan mudah diinterpretasikan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mensimulasikan AGROSHIELD sebagai sistem pemantauan dan peringatan dini berbasis IoT untuk OPT padi dengan pengambilan keputusan berbasis aturan (rule-based decision making). Sistem ini mengintegrasikan suhu, kelembapan, curah hujan, ketinggian air, jumlah wereng, level cairan, dan status konektivitas untuk menghasilkan status aman, waspada, bahaya, atau error. Pengujian terhadap sepuluh skenario menunjukkan bahwa seluruh skenario simulasi menghasilkan output yang sesuai dengan *rule* yang telah dirancang, dengan sprayer aktif secara selektif pada kondisi bahaya wereng atau kondisi ganda ketika level cairan mencukupi. Meskipun demikian, hasil ini masih bersifat simulatif, sehingga diperlukan pengujian sensor aktual (fisik), validasi ambang batas (*threshold*), dan implementasi di lapangan untuk memastikan kesesuaian rule dengan kondisi agroekosistem yang sesungguhnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Reni Rahmadewi dan Bapak Safrian Andromeda atas bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga dalam penyusunan sistem AGROSHIELD ini. Tidak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan yang telah memberikan saran dan dukungan selama proses simulasi dan pengujian sistem, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

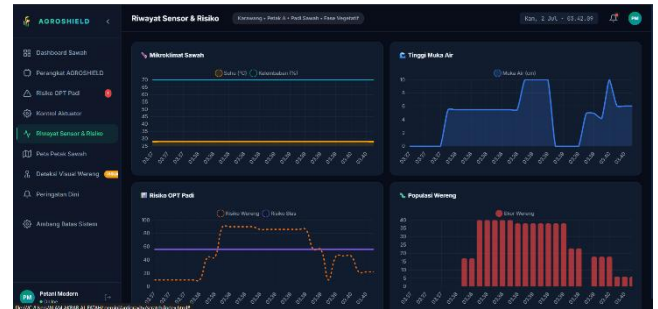
DAFTAR RUJUKAN

- [1] BPS Provinsi Jawa Barat, "Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat. (2025). Luas panen, produktivitas, dan produksi padi menurut kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat, 2025. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat. - Penelusuran Google." Diakses: 23 Juni 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.google.com/search?q=Badan+Pusat+Statistik+Provinsi+Jawa+Barat.+%282025%29.+Luas+panen%2C+produktivitas%2C+dan+produksi+padi+menurut+kabupaten%2Fkota+di+Provinsi+Jawa+Barat%2C+2025.+Badan+Pusat+Statistik+Provinsi+Jawa+Barat.&dq=Badan+Pusat+Statistik+Pr>

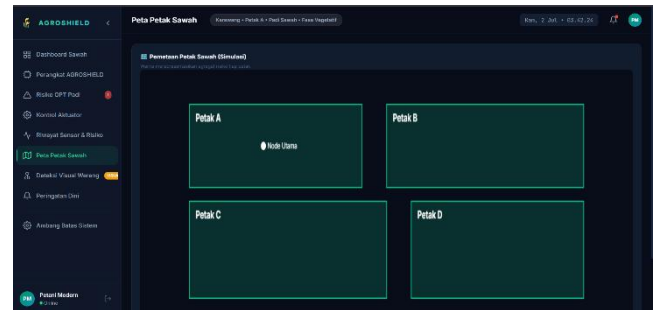
ovinsi+Jawa+Barat.+%282025%29.+Luas+panen%2C+produktivitas%2C+dan+produksi+padi+menurut+kabupaten%2Fkota+di+Provinsi+Jawa+Barat%2C+2025.+Badan+Pusat+Statistik+Provinsi+Jawa+Barat.&sourceid=chrome&ie=UTF-8

- [2] N. A. Ilahi dkk., "IoT-Enabled Solar-Powered Pest Control for Rice Agriculture: Monitoring and Efficiency of Light-Based Traps," *Journal of Power, Energy, and Control*, vol. 2, no. 1, hlm. 14–26, Apr 2025, doi: 10.62777/PEC.V2I1.41.
- [3] S. Khairunniza-Bejo, M. F. Ibrahim, M. Hanafi, M. Jahari, F. S. Ahmad Saad, dan M. A. Mhd Bookeri, "Automatic Paddy Planthopper Detection and Counting Using Faster R-CNN," *Agriculture 2024, Vol. 14, Page 1567*, vol. 14, no. 9, hlm. 1567, Sep 2024, doi: 10.3390/AGRICULTURE14091567.
- [4] Y. Kim, J. H. Roh, dan H. Y. Kim, "Early Forecasting of Rice Blast Disease Using Long Short-Term Memory Recurrent Neural Networks," *Sustainability 2018, Vol. 10, Page 34*, vol. 10, no. 1, hlm. 34, Des 2017, doi: 10.3390/SU10010034.
- [5] N. Teguh dkk., "Design and Implementation of an IoT-Based Irrigation Management System for Alternate Wetting and Drying (AWD) Technique in Rice Cultivation," *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, vol. 14, no. 4, hlm. 1256–1267, Jul 2025, doi: 10.23960/JTEPL.V14I4.1256-1267.
- [6] N. Widanti dkk., "Design Smart Farming in Rice Field for Monitoring Soil Fertility and Pest Rate Using Internet of Things," *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, vol. 10, no. 8, hlm. 5782–5788, Agu 2024, doi: 10.29303/JPPIPA.V10I8.8288.
- [7] K. M. S. D. Cruz, V. B. Ella, D. C. Suministrado, G. S. Pereira, dan E. S. Agulto, "A Low-Cost Wireless Sensor for Real-Time Monitoring of Water Level in Lowland Rice Field under Alternate Wetting and Drying Irrigation," *Water 2022, Vol. 14, Page 4128*, vol. 14, no. 24, hlm. 4128, Des 2022, doi: 10.3390/W14244128.
- [8] F. Sabrina, S. Sohail, F. Farid, S. Jahan, F. Ahamed, dan S. Gordon, "An Interpretable Artificial Intelligence Based Smart Agriculture System," *Computers, Materials & Continua*, vol. 72, no. 2, hlm. 3777–3797, Mar 2022, doi: 10.32604/CMC.2022.026363.
- [9] C. C. Baseca, S. Sendra, J. Lloret, dan J. Tomas, "A Smart Decision System for Digital Farming," *Agronomy 2019, Vol. 9, Page 216*, vol. 9, no. 5, hlm. 216, Apr 2019, doi: 10.3390/AGRONOMY9050216.

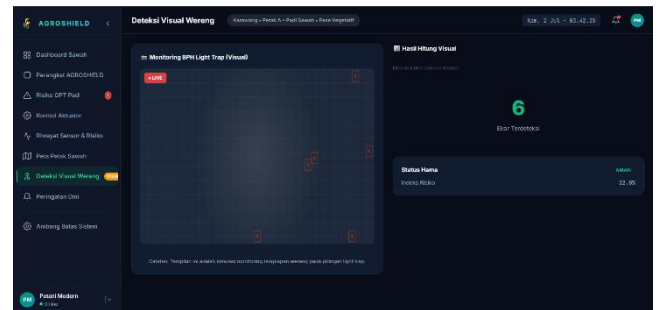
- [10] N. A. A. Shah, A. M. Noh, N. M. H. J, M. Z. M, dan W. M. S. W. H., "Identification of Optimum Time for Brown Planthopper (*Nilaparvata lugens*) Sampling using the Light Traps," *Advances in Agricultural and Food Research Journal*, vol. 5, no. 1, Des 2024, doi: 10.36877/AAFRJ.A0000373.
- [11] Wokwi, "Welcome to Wokwi! | Wokwi Docs." Diakses: 23 Juni 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://docs.wokwi.com/>
- [12] Espressif, "ESP32 Wi-Fi & Bluetooth SoC | Espressif Systems." Diakses: 23 Juni 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- [13] S. Sutono dan Y. H. Mohamed, "IoT-Based Smart Agriculture System Using ESP32, DHT22, and Soil Moisture Sensors with Relay Control, MySQL-Bootstrap (Without PDO), and Chart.js for Water-Scarce Environments," *Proceeding of International Conference on Informatics, Engineering, Science & Technology*, vol. 1, hlm. 1-8, Des 2025, doi: 10.34010/INCITEST.VII.823.
- [14] ISO/IEC/IEEE, "ISO/IEC/IEEE 29119-3:2013 - Software and systems engineering — Software testing — Part 3: Test documentation." Diakses: 23 Juni 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.iso.org/standard/56737.html>
- [15] P. Fonseca i Casas, "A Continuous Process for Validation, Verification, and Accreditation of Simulation Models," *Mathematics 2023, Vol. 11, Page 845*, vol. 11, no. 4, hlm. 845, Feb 2023, doi: 10.3390/MATH11040845.

Tampilan *Monitoring* Risiko Padi

Tampilan Riwayat Sensor dan Risiko Padi (Grafik)

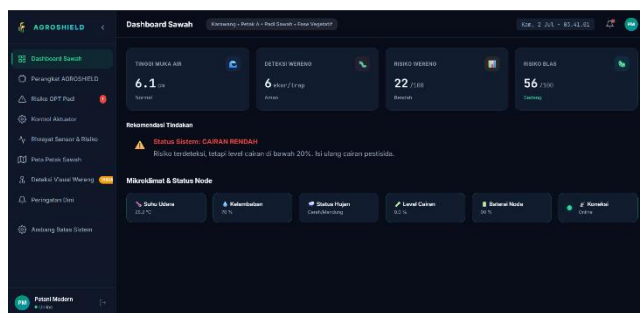


Tampilan Petak Sawah yang terlingkupi AGROSHIELD

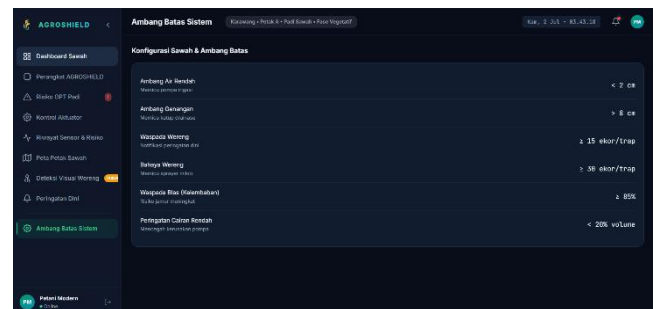
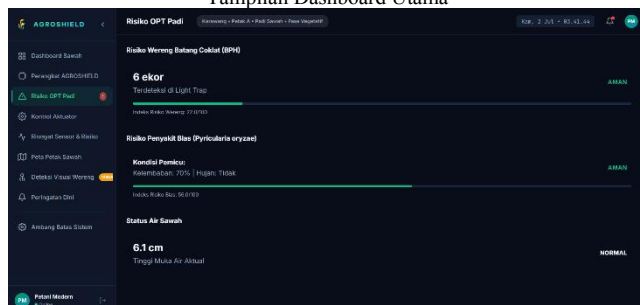


Tampilan deteksi visual wereng

LAMPIRAN



Tampilan Dashboard Utama



Tampilan Ambang Batas Sistem AGROSHIELD