

**IMPLEMENTASI GAMIFIKASI DALAM SISTEM CERDAS
BERBASIS IOT UNTUK MONITORING HIDROPONIK
TANAMAN KANGKUNG (*IPOMOEA AQUATICA* F.)**

SKRIPSI

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana**

Oleh:

**Rizky Fajar Maulana
NIM 22.52.0002**



PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI INFORMASI

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN
TEKNOLOGI
SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INFORMATIKA DAN KOMPUTER
PPKIA PRADNYA PARAMITA
MALANG
2026**

LEMBAR PERSETUJUAN

**IMPLEMENTASI GAMIFIKASI DALAM SISTEM CERDAS
BERBASIS IOT UNTUK MONITORING HIDROPONIK
TANAMAN KANGKUNG (IPOMOE A QUATICA F.)**

Oleh:
Rizky Fajar Maulana
NIM 22.52.0002

**Telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan
Pada tanggal 13 Mei 2026**

Menyetujui,
Komisi Pembimbing

Pembimbing I


Dr. Khoerul Anwar, ST., MT
NIK 00.12.01.009

Pembimbing II


Dinny Wahyu Widanti, S.Kom., MMSI
NIK 11.05.25.001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S-1 Teknologi Informasi


Dian Wahyuningsih, S.Kom., MMSI
NIK 09.03.25.001

LEMBAR PENGESAHAN

**IMPLEMENTASI GAMIFIKASI DALAM SISTEM CERDAS
BERBASIS IOT UNTUK MONITORING HIDROPONIK
TANAMAN KANGKUNG (IPOMOEA AQUATICA F.)**

**Skripsi oleh Rizky Fajar Maulana
Telah dipertahankan di depan dewan penguji
Pada tanggal 20 Mei 2026**

Dewan Penguji,
Ketua



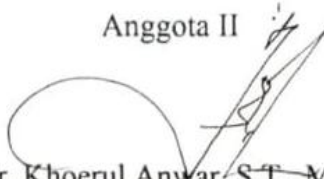
Mahmud Yunus, S.Kom., M.Pd. M.T.
NIK 00.12.01.011

Anggota I



Samsul Arifin, S.Kom., MMSI
NIK 11.10.25.004

Anggota II



Dr. Khoerul Anwar, S.T., M.T.
NIK 00.12.01.009

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknologi Informasi



Dian Wahyuningsih, S.Kom., MMSI
NIK 09.03.25.001

Mengesahkan,
Ketua STMIK PPKIA
Pradnya Paramita



Dr. Th. Moh. Akhriz, S.Si., MMSI
NIK 00.12.01.002

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah SKRIPSI/TUGAS AKHIR ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah SKRIPSI/TUGAS AKHIR ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia SKRIPSI ini digugurkan dan gelar akademik yang saya peroleh (SARJANA/AHLI MADYA) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 18 Mei 2026

Mahasiswa,



Nama : Rizky Fajar M.

NIM : 22.52.0002

MOTTO

"I want to be at the intersection of humanities and science." — Edwin Land

"Humans are creatures that, even in the face of absolute rationalism, will still act on their emotions." — Tanya von Degurechaff (Youjo Senki)

"To create is to be human. To only consume is to forget what we are."
— R. Fajar Maulana

ABSTRAK

Maulana, Rizky Fajar. 2025. Implementasi Gamifikasi dalam Sistem Cerdas Berbasis IoT untuk Monitoring Hidroponik Tanaman Kangkung (*Ipomoea aquatica* F.). Program Studi S1 Teknologi Informasi STMIK PPKIA Pradnya Paramita. Pembimbing: (I) Dr. Khoerul Anwar, ST., M.T, (II) Dinny Wahyu Widarti, S.Kom., MMSI

Kata Kunci: Fusi Data Multimodal, Gamifikasi, Hidroponik, *Human-in-the-Loop*, *Internet of Things*, Sistem Cerdas.

Perkembangan teknologi pertanian cerdas (*smart farming*) seringkali terhambat oleh tingginya biaya investasi aktuator mekanis otonom serta rendahnya konsistensi dan pemahaman petani pemula dalam merawat tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan purwarupa sistem pemantauan hidroponik cerdas untuk fase vegetatif kangkung air (*Ipomoea aquatica* F.) yang menyubstitusi peran aktuator otomatis dengan agen manusia melalui kerangka kerja *Human-in-the-Loop* (HITL). Sistem dikembangkan menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE. Arsitektur yang diusulkan mengintegrasikan jaringan sensor *Internet of Things* (IoT) dan Sistem Cerdas Klasifikasi Citra. Pengambilan keputusan klinis dieksekusi menggunakan mesin aturan fusi data multimodal, yang mengombinasikan data sensor lingkungan fisik (pH, TDS, suhu, kelembapan) dengan proporsi klorosis daun untuk menghasilkan instruksi tindakan interaktif berwujud elemen gamifikasi (Koin, EXP, dan Misi Harian). Hasil pengujian teknis menunjukkan bahwa kalibrasi sensor menggunakan metode regresi linear sukses menekan galat *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) secara signifikan, dengan perbaikan paling drastis pada sensor TDS dari 49,21% menjadi 7,80%. Pengujian algoritma sistem cerdas melalui metode *Confusion Matrix* membuktikan tingkat Akurasi Global sebesar 86% pada kondisi lingkungan yang tidak terkontrol. Pengukuran tingkat penerimaan pengguna menggunakan instrumen *System Usability Scale* (SUS) memperoleh skor akhir 87,0 (*Acceptable, Grade A, Excellent*). Kesimpulannya, integrasi IoT, sistem cerdas, dan gamifikasi ini terbukti efektif bertindak sebagai katalisator motivasi bagi petani pemula, sekaligus menghadirkan solusi pemantauan pertanian urban yang presisi, interaktif, dan terjangkau.

KATA PENGANTAR

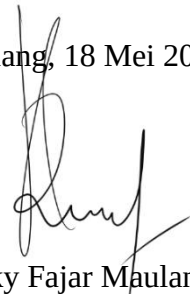
Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer..

Kami menyadari tanpa adanya dukungan dan kerja sama dari berbagai pihak, kegiatan skripsi ini tidak akan dapat berjalan baik. Untuk itu, kami ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan petunjuk dan hidayah dalam pembuatan skripsi dan penyusunan laporan sehingga dapat berjalan dengan baik dari awal hingga akhir.
2. Kedua orang tua kami yang telah memberikan doa dan dukungannya.
3. Bapak Dr. Tb. Mohammad Akhriza, S.Si, M.M.S.I, selaku Ketua STMIK PPKIA Pradnya Paramita.
4. Bapak Samsul Arifin, S.Kom., M.M.S.I., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknologi Informasi.
5. Bapak Dr. Khoerul Anwar, ST., M.T. dan Bapak Samsul Arifin, S.Kom., M.M.S.I., selaku dosen pembimbing skripsi.
6. Teman-teman dari Program Studi Teknologi Informasi yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama penyelesaian skripsi ini.
7. Dan seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung lancarnya pembuatan Skripsi dari awal hingga akhir yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis mengharapkan saran dan kritik dari berbagai pihak yang bersifat membangun demi penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini berguna bagi pembaca secara umum dan penulis secara khusus. Akhir kata, penulis ucapkan banyak terima kasih.

Malang, 18 Mei 2026



Rizky Fajar Maulana
NIM 22.52.0002

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI.....	iv
MOTTO	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	7
1.3. Tujuan Penelitian	8
1.4. Batasan Masalah.....	8
1.5. Kontribusi Penelitian.....	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	12
2.1. Tinjauan Pustaka	12
2.2. Landasan Teori.....	14
2.2.1. Hidroponik dan Syarat Tumbuh Kangkung	15
2.2.2 <i>Internet of Things</i> (IoT) pada Budidaya Tanaman	16
2.2.3 Sistem Cerdas Klasifikasi Citra dalam Pemantauan Tanaman	23
2.2.4 Gamifikasi dalam Aplikasi Monitoring Hidroponik	26
2.2.5 Aplikasi <i>Mobile</i> sebagai Mesin Penalaran Sistem Cerdas	29
2.2.6 Regresi Linier dan Model Kalibrasi (R^2 , MAE, dan MAPE).....	31
2.2.7 <i>System Usability Scale</i> (SUS)	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1. Model Pengembangan Sistem	36

3.2.	Perancangan Arsitektur Sistem dan Fusi Data Multimodal	37
3.3.	Arsitektur Sistem Cerdas Klasifikasi Citra	42
3.3.1	Pemrosesan Tingkat Rendah (<i>Low-Level Processing</i>).....	43
3.3.2	Pemrosesan Tingkat Menengah (<i>Mid-Level Processing</i>).....	43
3.3.3	Penalaran Kontekstual Sistem Cerdas (Fusi Data Multimodal).....	44
3.4.1	Use Case Diagram	52
3.4.2	Activity Diagram	54
3.4.3	Sequence Diagram.....	56
3.5.1	Uji Akurasi Sensor (Kalibrasi)	57
3.5.2	Uji Validitas Sistem Cerdas Klasifikasi Citra	60
3.5.3	Uji Fungsionalitas Gamifikasi.....	62
3.5.4	Uji Usabilitas (System Usability Scale)	63
BAB IV	PENGUJIAN DAN HASIL.....	67
4.1	Hasil Implementasi Sistem	67
4.2	Pengujian dan Kalibrasi Sensor.....	67
4.2.1	Hasil Pengujian Sensor pH Air	67
4.2.2	Pengujian dan Kalibrasi Sensor TDS Meter V1.0.....	70
4.2.3	Hasil Pengujian dan Kalibrasi Sensor Suhu Air.....	79
4.2.4	Pengujian dan Kalibrasi Sensor DHT22	86
4.3	Hasil Implementasi dan Pengujian Sistem Cerdas	103
4.4	Pengujian Perangkat Lunak (Blackbox Testing).....	107
4.5	Implementasi Gamifikasi pada Sistem	114
4.5.1	Sistem <i>Experience Points</i> (EXP) dan Penentuan Level	114
4.5.2	Misi Harian dan Sistem <i>Reward</i>	116
4.5.3	Pencapaian Jangka Panjang.....	116
4.5.4	Ekonomi Virtual (Koin dan <i>Virtual Store</i>).....	117
4.6	Pengujian Penerimaan Pengguna (<i>User Acceptance Testing</i>).....	118
4.6.1	Karakteristik Responden	118
4.6.2	Rekapitulasi dan Perhitungan Skor SUS	120
4.6.3	Analisis Distribusi Skor Berdasarkan Kelompok Usia	121

4.6.4 Analisis dan Kesimpulan Usability	122
4.7 Ringkasan Hasil.....	122
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	126
5.1 Kesimpulan.....	126
5.2 Saran	128
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

No	Nama Tabel	Halaman
3.1	Skema Perolehan Koin dan EXP pada Aplikasi Bitleaf	48
3.2	Skema Parameter sensor beserta referensi dan metrik evaluasi yang akan digunakan	54
3.3	Skema Pernyataan yang akan digunakan	60
4.1	Hasil Pengujian Sensor pH Air	63
4.2	Hasil Pengujian Sensor TDS	67
4.3	Hasil Pengujian Sensor TDS Kalibrasi	70
4.4	Perbandingan Hasil Sebelum dan Sesudah Kalibrasi Sensor TDS	73
4.5	Hasil Pengujian Sensor Suhu Air Sebelum Kalibrasi.....	76
4.6	Hasil Pengujian Sensor Suhu Air Setelah Kalibrasi.....	78
4.7	Perbandingan Hasil Sebelum dan Sesudah Kalibrasi Sensor Suhu Air.....	81
4.8	Hasil Pengujian Suhu Udara dengan Sensor DHT22 Sebelum Kalibrasi	83
4.9	Hasil Pengujian Suhu Udara dengan Sensor DHT22 Seteleah Kalibrasi	87
4.10	Perbandingan Hasil Sebelum dan Sesudah Kalibrasi DHT22.....	89
4.11	Hasil Pengujian Kelembapan Udara dengan Sensor DHT22 Sebelum Kalibrasi ..	92
4.12	Hasil Pengujian Kelembapan Udara dengan Sensor DHT22 Setelah Kalibrasi	94
4.13	Perbandingan Hasil Sebelum dan Sesudah Kalibrasi Kelembapan Udara dengan Sensor DHT22	98
4.14	Hasil Confusion Matrix	102
4.15	Hasil Pengujian Blackbox Aplikasi Bitleaf.....	104
4.16	Capaian level pada aplikasi Bitleaf	111
4.17	Pencapaian pada aplikasi Bitleaf.....	113
4.18	Pengelompokan Usia pada Responden	115

4.19 Ringkasan Perhitungan Skor Kontribusi dan Skor SUS	116
4.20 Skor SUS Berdasarkan Kelompok Usia	116

DAFTAR GAMBAR

No	Nama Gambar	Halaman
2.1	Mikrokontroler ESP32 Development Board	13
2.2	DS18B20.....	13
2.3	DHT22	14
2.4	TDS Meter	14
2.5	PH-4502C.....	15
2.6	Growlight.....	15
2.7	Pompa Air Submersible	16
3.1	Kerangka Kerja Sistem	34
3.2	Diagram Blok.....	35
3.3	Diagram Alur Sistem Cerdas Klasifikasi Citra.....	38
3.4	Struktur Pohon Keputusan	41
3.5	Sub-Proses 1	42
3.6	Sub-Proses 2	44
3.7	Sub-Proses 3	46
3.8	Use Case Diagram.....	49
3.9	Activity Diagram.....	50
3.10	Sequence Diagram	52
4.1	Tren Pembacaan Referensi dan Sensor pH	64
4.2	Grafik Batang MAE dan MAPE sensor pH	65
4.3	Regresi Linear Sensor pH	66
4.4	Tren Pembacaan Referensi dan Sensor TDS.....	68
4.5	Grafik Batang MAE dan MAPE sensor TDS	69

4.6	Regresi Linear Sensor TDS	69
4.7	Tren Pembacaan Referensi dan Sensor TDS Kalibrasi I	71
4.8	Grafik Batang MAE dan MAPE sensor TDS Kalibrasi I	71
4.9	Regresi Linear Sensor TDS Kalibrasi I	72
4.10	Perbandingan MAE dan MAPE Sensor TDS Sesudah dan Sebelum Kalibrasi...	73
4.11	Perbandingan Tren Pembacaan Sensor TDS Sesudah dan Sebelum Kalibrasi ...	74
4.12	Tren Pembacaan Referensi dan Sensor Suhu Air	76
4.13	Grafik Batang MAE dan MAPE sensor Suhu Air	77
4.14	Regresi Linear Sensor Suhu Air	78
4.15	Tren Pembacaan Referensi dan Sensor Suhu Air Kalibrasi 1	79
4.16	Grafik Batang MAE dan MAPE sensor Suhu Air Kalibrasi 1	79
4.17	Regresi Linear Sensor Suhu Air Kalibrasi 1	80
4.18	Perbandingan MAE dan MAPE Sensor Suhu Air Sesudah dan Sebelum Kalibrasi	81
4.19	Perbandingan Tren Pembacaan Sensor Suhu Air Sesudah dan Sebelum Kalibrasi	82
4.20	Tren Pembacaan Referensi dan Sensor Suhu Udara	85
4.21	Grafik Batang MAE dan MAPE sensor Suhu Udara	85
4.22	Regresi Linear Sensor Suhu Udara	86
4.23	Tren Pembacaan Referensi dan Sensor Suhu Udara Kalibrasi 3	87
4.24	Grafik Batang MAE dan MAPE sensor Suhu Udara Kalibrasi 3	88
4.25	Regresi Linear Sensor Suhu Udara Kalibrasi 3	88
4.26	Perbandingan MAE dan MAPE Sensor Suhu Udara Sesudah dan Sebelum Kalibrasi	90
4.27	Perbandingan Tren Pembacaan Sensor Suhu Udara Sesudah dan Sebelum Kalibrasi	90

4.28	Tren Pembacaan Referensi dan Sensor Kelembapan	93
4.29	Grafik Batang MAE dan MAPE sensor Kelembapan	93
4.30	Regresi Linear Sensor Suhu Kelembapan.....	94
4.31	Tren Pembacaan Referensi dan Sensor Kelembapan Kalibrasi 2	96
4.32	Grafik Batang MAE dan MAPE sensor Kelembapan Kalibrasi 2	96
4.33	Regresi Linear Sensor Suhu Kelembapan Kalibrasi 2.....	97
4.34	Perbandingan MAE dan MAPE Sensor Kelembapan Sesudah dan Sebelum Kalibrasi	98
4.35	Perbandingan Tren Pembacaan Sensor Kelembapan Sesudah dan Sebelum Kalibrasi	99

DAFTAR LAMPIRAN

No	Nama Lampiran
1.	Berita Acara Dosen Pembimbing
2.	Data Hasil Kuisioner SUS
3.	Riwayat Hidup

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Agrikultur merupakan fondasi peradaban manusia yang berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan global. Seiring perkembangan zaman, terdapat tuntutan besar untuk mentransformasi sektor ini menuju sistem yang lebih cerdas, adaptif, dan efisien (Navulur et al., 2017). Salah satu teknologi populer yang digunakan untuk menghasilkan sayuran berkualitas tinggi pada lahan terbatas adalah metode budidaya hidroponik (Yulina, 2019). Secara historis, praktik budidaya tanpa tanah ini telah ditemui sejak peradaban kuno, hingga akhirnya istilah *hydroponic* diperkenalkan secara ilmiah pada tahun 1936 oleh Dr. W.F. Gericke melalui keberhasilannya menumbuhkan tanaman dalam larutan nutrisi (Roberto, 2005). Dalam praktiknya, sistem hidroponik secara umum bekerja dengan memelihara area perakaran tanaman di dalam aliran atau genangan air bernutrisi guna memastikan kelangsungan hidup dan pertumbuhannya tetap optimal secara berkelanjutan (Sakamoto & Suzuki, 2024).

Salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai potensial tinggi untuk dikembangkan dalam sistem ini adalah kangkung air (*Ipomoea aquatica* F.). Tingginya tingkat konsumsi dan permintaan pasar terhadap komoditas ini dibuktikan secara kuantitatif oleh data capaian produksi tanaman sayuran nasional tahun 2023, di mana total produksi kangkung di Indonesia mencapai 322.083 ton, jauh melampaui komoditas sayuran daun populer lainnya seperti bayam yang

berada di angka 170.688 ton (Badan Pusat Statistik, 2023). Selain bernilai ekonomis tinggi dengan rasio efisiensi usaha (*R/C ratio*) yang sangat layak dan menguntungkan (Suratman & Santosa, 2021), kangkung juga kaya akan kandungan gizi seperti vitamin, mineral, flavonoid, dan alkaloid yang memberikan berbagai manfaat farmakologis bagi kesehatan saraf, pencernaan, serta penanganan diabetes (Malakar & Choudhury, 2015).

Selain daya tarik ekonomis dan gizinya, pemilihan kangkung sebagai objek pemantauan didasarkan pada karakteristik agronomisnya yang sangat ideal untuk sistem hidroponik. Kangkung memiliki tingkat adaptasi lingkungan yang tangguh pada rentang suhu 20°C hingga 30°C. Dari segi produktivitas, tanaman ini memiliki fase pertumbuhan vegetatif yang amat cepat, dengan masa panen yang dapat dicapai dalam waktu singkat, yaitu 25 hingga 30 hari sesudah penanaman (Aminah et al., 2020). Karakteristik umur panen yang singkat tersebut, dipadukan dengan kemampuannya merespons nutrisi secara optimal pada rentang pH 5,5 hingga 6,5, menjadikan kangkung sebagai kandidat tanaman yang minim risiko kegagalan, sehingga sangat relevan digunakan sebagai objek studi pemantauan pertumbuhan visual bagi para pemula.

Meskipun memiliki potensi besar, pengelolaan hidroponik konvensional menghadapi tantangan teknis yang kompleks, seperti kewajiban pemantauan nilai pH dan kepekatan nutrisi secara konstan (Supriadi & T., 2021). Integrasi teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) hadir sebagai solusi dengan memungkinkan pemantauan parameter kualitas air dan lingkungan tersebut secara *real-time* melalui jaringan sensor yang terhubung internet (Sihombing et al., 2018; Rose et al., 2015).

Namun, implementasi teknologi pertanian cerdas skala penuh di negara berkembang seringkali terbentur oleh tingginya biaya investasi awal perangkat keras, terutama pada komponen aktuator mekanis seperti katup solenoid dan pompa injektor otomatis (McCampbell, 2022; Miller et al., 2025). Konfigurasi otomatisasi penuh tersebut dinilai tidak ekonomis dan kurang realistis untuk diterapkan pada skala pertanian urban (*urban farming*) rumah tangga atau petani swadaya menengah.

Guna menjembatani keterbatasan biaya aktuator mekanis tersebut tanpa menghilangkan aspek kecerdasan sistem, penelitian ini menerapkan konsep *Human-in-the-Loop* (HITL) pada ekosistem agrikultur presisi (Basnayake & Gajendrasinghe, 2026). Dalam kerangka kerja HITL, sistem tidak memotong peran manusia sepenuhnya melalui mesin otonom, melainkan memposisikan manusia sebagai agen penggerak utama (aktuator fisik) di lapangan (Basnayake & Gajendrasinghe, 2026). Melalui pendekatan ini, perangkat keras IoT bertindak murni sebagai infrastruktur akuisisi data tingkat rendah, sementara tindakan pemeliharaan seperti penuangan nutrisi dialihkan kepada pengguna.

Untuk mendukung keputusan manusia sebagai aktuator tersebut, evaluasi non-destruktif terhadap parameter visual seperti perubahan warna daun akibat klorosis sangat krusial dilakukan (Putra et al., 2024). Hambatan penerapan analisis visual selama ini terletak pada tingginya biaya perangkat komputasi. Kendati demikian, penetrasi teknologi terkini menunjukkan bahwa performa kamera *smartphone* modern sudah sangat mumpuni. Untuk melengkapi keterbatasan pemantauan yang hanya bergantung pada sensor numerik, penelitian ini

memanfaatkan *smartphone* untuk mengimplementasikan **Sistem Cerdas** yang memiliki kapabilitas penalaran kontekstual. Berdasarkan penelitian Ilham et al. (2023), penerapan sistem cerdas terbukti efektif dalam melakukan klasifikasi citra digital untuk mendeteksi kondisi anomali dengan cepat dan presisi. Dalam konteks hidroponik ini, sistem cerdas dikembangkan menggunakan pendekatan klasifikasi citra berbasis ruang warna HSV dan algoritma *Watershed* untuk mengekstraksi tingkat keparahan klorosis pada daun secara otonom. Lebih jauh, merujuk pada studi Akbar & Mukhtar (2020), fungsionalitas sistem cerdas ini tidak hanya berhenti pada pengolahan citra, tetapi mengeksekusi pohon keputusan (*decision tree*) untuk menggabungkan hasil klasifikasi visual dengan data sensor IoT (fusi data multimodal), sehingga mampu menghasilkan keputusan klinis dan instruksi perawatan yang presisi, terjangkau, fleksibel, dan mudah dioperasikan.

Namun, tantangan terbesar dalam memposisikan manusia sebagai aktuator pada sistem *Human-in-the-Loop* adalah risiko kelalaian, hilangnya konsistensi rutinitas, serta kebingungan petani pemula dalam menginterpretasikan data numerik mentah dari sensor (Basnayake & Gajendrasinghe, 2026). Di sinilah implementasi gamifikasi yakni integrasi elemen permainan ke dalam konteks non-permainan menjadi kebutuhan rekayasa perangkat lunak yang krusial untuk memicu keterlibatan aktif (*user involvement*) serta menghadirkan kepuasan bagi pengguna (Tayal & Rajagopal, 2024). Secara empiris, penerapan elemen afordans motivasional terbukti efektif memberikan efek positif terhadap hasil psikologis dan pembentukan perilaku baru pengguna (Hamari et al., 2014).

Dalam sektor agrikultur, skema gamifikasi teruji sangat adaptif untuk memfasilitasi modernisasi metode pertanian cerdas dengan menyelaraskan tujuan perawatan tanaman dan preferensi personal pengguna (Tayal & Rajagopal, 2024). Dengan mengubah ritme kerja hidroponik yang kaku menjadi instruksi tindakan interaktif berwujud "misi harian" berbasis *reward*, pendekatan ini mampu meningkatkan motivasi intrinsik secara konsisten sekaligus menekan kurva pembelajaran bagi petani pemula (Hamari et al., 2014; Tayal & Rajagopal, 2024; Yurisha Anindya et al., n.d.).

Hingga saat ini, penelitian yang secara komprehensif mengintegrasikan infrastruktur IoT, Sistem Cerdas klasifikasi citra melalui *smartphone*, dan skema gamifikasi dalam satu kesatuan platform pemantauan hidroponik masih sangat terbatas. Celah penelitian inilah yang ingin diisi. Integrasi ketiga pilar teknologi tersebut diharapkan tidak hanya menekan biaya operasional dan mengoptimalkan efisiensi pengawasan tanaman kangkung, melainkan juga meningkatkan pemahaman interaktif serta komitmen emosional para pemula dalam berbudidaya.

Untuk merealisasikan tujuan tersebut, penelitian ini dilaksanakan menggunakan metode Penelitian dan Pengembangan atau *Research and Development* (R&D) dengan menerapkan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Model ini dipilih karena strukturnya yang sistematis sangat ideal untuk mengawal pengembangan produk terintegrasi yang melibatkan perangkat keras IoT, pemodelan **Sistem Cerdas**, dan perancangan fitur perangkat lunak berbasis gamifikasi. Batasan penelitian ini difokuskan pada pengembangan purwarupa sistem *monitoring* hidroponik cerdas, pengukuran

parameter pertumbuhan vegetatif kangkung melalui klasifikasi citra digital, pengujian akurasi teknis performa sensor, serta evaluasi dampak implementasi elemen gamifikasi terhadap respons kelompok pengguna yang telah ditentukan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengembangkan purwarupa sistem pemantauan hidroponik yang mengintegrasikan jaringan sensor IoT, sistem cerdas klasifikasi citra, dan gamifikasi melalui kerangka kerja *Human-in-the-Loop* (HITL) untuk tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica* F.)?
2. Bagaimana kinerja teknis dari mesin penalaran fusi data multimodal yang dikembangkan, berdasarkan hasil kalibrasi akurasi instrumen sensor dan evaluasi *Confusion Matrix* pada algoritma sistem cerdas?
3. Bagaimana tingkat kebergunaan (*usability*) dan penerimaan pengguna terhadap aplikasi pemantauan hidroponik yang dikembangkan sebagai fasilitator aktuator fisik, diukur menggunakan metode *System Usability Scale* (SUS)?
4. Bagaimana tingkat penerimaan pengguna terhadap elemen gamifikasi yang diimplementasikan, berdasarkan evaluasi *System Usability Scale*?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan solusi berbasis IoT yang dapat mengatasi masalah-masalah dalam monitoring tanaman kangkung. Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah:

1. Menghasilkan purwarupa sistem pemantauan hidroponik yang mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT), sistem cerdas klasifikasi citra, dan aplikasi berbasis gamifikasi di bawah kerangka kerja *Human-in-the-Loop*.
2. Mengevaluasi kinerja teknis sistem melalui pengujian regresi linear pada tingkat akurasi sensor lingkungan, serta pengujian ketangguhan klasifikasi kesehatan daun menggunakan matriks kebingungan (*Confusion Matrix*).
3. Mengukur tingkat kebergunaan (*usability*) dan penerimaan pengguna terhadap aplikasi pemantauan menggunakan instrumen evaluasi yang terstandarisasi (*System Usability Scale*).
4. Menganalisis dampak penerapan elemen gamifikasi terhadap peningkatan keterlibatan, motivasi, dan pemahaman pengguna pemula dalam menjalankan fungsi perawatan hidroponik secara konsisten.

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan pokok, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek budidaya tanaman dibatasi hanya pada fase vegetatif kangkung air (*Ipomoea aquatica* F.) dengan masa pengujian mencakup satu siklus tanam (25–30 hari).

2. Arsitektur perangkat keras berfokus murni sebagai sensor *Internet of Things* (IoT) tanpa melibatkan aktuator mekanis otomatis (seperti pompa nutrisi atau pengontrol pH otomatis), melainkan mengandalkan manusia sebagai agen aktuator fisik melalui pendekatan Human-in-the-Loop.
3. Pengolahan citra visual dibatasi pada penggunaan Sistem Cerdas Klasifikasi Citra berbasis aturan (*rule-based intelligent system*) yang mengekstraksi ruang warna HSV daun untuk menghitung persentase luasan klorosis, dan tidak mencakup deteksi pengenalan pola (*pattern recognition*) penyakit patogen spesifik berbasis *Machine Learning*.
4. Pengambilan keputusan klinis pada aplikasi dilakukan melalui algoritma Fusi Data Multimodal, yang hanya mengkorelasikan hasil proporsi visual daun dengan lima data sensor lingkungan (pH, TDS, suhu air, suhu udara, dan kelembaban udara) dari Firebase.
5. Ketergantungan sistem (*Internet of Things*) terhadap ketersediaan jaringan internet merupakan batasan pada purwarupa ini, namun sifat dinamis lingkungan hidroponik yang lambat (*slow-dynamic system*) serta pengawasan manual dari pengguna (HITL) mampu mengompensasi kegagalan transmisi data sementara waktu (*offline downtime*)
6. Pengukuran tingkat penerimaan dan kebergunaan aplikasi perangkat lunak dievaluasi secara kuantitatif menggunakan metode System Usability Scale (SUS) kepada kelompok responden pengguna pemula yang telah ditentukan.

1.5. Kontribusi Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang mengindikasikan kemungkinan penerapan dari hasil penelitian sebagaimana yang telah diuraikan dalam tujuan penelitian. Adapun manfaat tersebut dibagi menjadi dua, yaitu:

a. Dari sisi keilmuan.

Penelitian ini memberikan inovasi berupa penerapan kerangka kerja *Human-in-the-Loop* (HITL) yang mengintegrasikan ekosistem IoT dan sistem cerdas klasifikasi citra ke dalam satu arsitektur mesin penalaran fusi data multimodal (*Multimodal Data Fusion Rule Engine*). Sejauh penelusuran literatur yang dilakukan, arsitektur yang mengawinkan data kuantitatif ekstraksi citra daun dengan lima parameter mikroklimat IoT secara simultan untuk menghasilkan diagnosis semantik belum ditemukan pada penelitian hidroponik tanaman kangkung sebelumnya. Pendekatan ini memperkaya literatur rekayasa perangkat lunak dan agrikultur presisi dengan membuktikan bahwa fungsi aktuator mekanis otonom yang mahal dapat disubstitusi secara efektif oleh agen manusia melalui injeksi psikologis berupa elemen afordans motivasional (gamifikasi).

b. Dari sisi praktis

Dari sisi praktis, kontribusi implementasi purwarupa sistem pemantauan hidroponik cerdas pada penelitian ini adalah:

1. Meningkatkan performa metode hidroponik konvensional dengan mengotomatisasi proses inspeksi tanaman, mengubah pemantauan manual yang konvensional menjadi diagnosis dini (*early warning system*) yang presisi melalui kolaborasi data sensor aktual dan ekstraksi citra *smartphone*.

2. Menekan tingginya biaya investasi awal pertanian cerdas dengan meniadakan kebutuhan aktuator fisik otomasi murni (seperti pompa *dosing* otomatis) sehingga sangat realistis untuk diimplementasikan pada skala pertanian rumah tangga (*urban farming*).
3. Mengatasi masalah rendahnya konsistensi dan motivasi petani pemula dalam merawat tanaman melalui penerapan instruksi perawatan berwujud "Misi Harian" dan *reward* virtual (Koin dan EXP), sehingga menjadikan proses pertanian lebih interaktif.
4. Mempermudah proses diagnosis klinis tanaman bagi pengguna awam, di mana data numerik sensor yang kaku secara cerdas diterjemahkan menjadi rekomendasi perawatan dalam bahasa semantik yang mudah dipahami.