

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN SISTEM PENGUSIRAN HAMA BURUNG DAN DETEKSI PENYAKIT PADI BERBASIS IOT DAN KECERDASAN BUATAN



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

2025



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1867/Un.02/DST/PP.00.9/08/2025

Tugas Akhir dengan judul : PERANCANGAN SISTEM PENGUSIRAN HAMA BURUNG DAN DETEKSI
PENYAKIT PADI BERBASIS IOT DAN KECERDASAN BUATAN

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : THORIQ FIRDAUS ARIFIN
Nomor Induk Mahasiswa : 21106050026
Telah diujikan pada : Kamis, 14 Agustus 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Valid ID: 68a509c3bd042

Ketua Sidang

Prof. Dr. Ir. Shofwatul 'Uyun, S.T., M.Kom., IPM., ASEAN Eng.
SIGNED



Valid ID: 68a46374bccc9

Penguji I

Nurochman, S.Kom., M.Kom
SIGNED



Valid ID: 68a71d91e1064

Penguji II

Nia Maharani Raharja, M.Eng.
SIGNED



Valid ID: 68a764d4856cd

Yogyakarta, 14 Agustus 2025
UIN Sunan Kalijaga

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Thoriq Firdaus Arifin
NIM : 21106050026
Program Studi : Informatika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Universitas : UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul **“PERANCANGAN SISTEM PENGUSIRAN HAMA BURUNG DAN DETEKSI PENYAKIT PADI BERBASIS IOT DAN KECERDASAN BUATAN”** merupakan penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan bukan plagiasi karya orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Karya ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Program Studi Informatika pada Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Yogyakarta, 6 Agustus

2025

Penulis



Thoriq Firdaus Arifin

NIM. 21106050026

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir
Lampiran : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
Di Yogyakarta

Assalammu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka saya selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Thoriq Firdaus Arifin
NIM : 21106050026
Judul Skripsi : PERANCANGAN SISTEM PENGUSIRAN
HAMA BURUNG DAN DETEKSI PENYAKIT
PADI BERBASIS IOT DAN KECERDASAN
BUATAN

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Informatika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Informatika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara dapat segera di-*munaqasyah*-kan. Atas perhatiannya saya ucapkan terima kasih.

Wassalammu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 7 Agustus 2025
Pembimbing



Dr. Shofwatul Uyun, S.T., M.Kom.
NIP. 198205112006042002

PERANCANGAN SISTEM PENGUSIRAN HAMA BURUNG DAN DETEKSI PENYAKIT PADI BERBASIS IOT DAN KECERDASAN BUATAN

THORIQ FIRDAUS ARIFIN

21106050026

INTISARI

Penurunan produktivitas padi akibat serangan hama burung dan penyakit tanaman menjadi tantangan serius bagi ketahanan pangan, di mana solusi konvensional seringkali terbatas dalam jangkauan, akurasi, dan kemampuan analisis skala luas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem yang terintegrasi dan otonom dengan menggabungkan teknologi Internet of Things (IoT) dan *Computer Vision* untuk pemantauan dan mitigasi masalah pertanian secara *real-time*. Metodologi penelitian yang digunakan adalah metode pengembangan prototipe pada perangkat *edge computing* (Raspberry Pi 5 dengan akselerator AI Hailo-8L). Tiga model kecerdasan buatan dikembangkan: (1) model deteksi objek YOLOv8s untuk pengusiran hama burung, (2) model klasifikasi EfficientNetV2B2 untuk diagnosis penyakit daun, dan (3) model klasifikasi xresnet34 untuk analisis kondisi lahan dari tampak atas. Seluruh layanan perangkat lunak, termasuk REST API dan antarmuka pengguna, diorkestrasi menggunakan systemd untuk memastikan operasi yang *robust* dan terjadwal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem prototipe berhasil diimplementasikan dan terintegrasi. Model deteksi burung mencapai performa tinggi dengan mAP@50 sebesar 97.6%, dan sistem mampu memberikan respons *aktuator* secara efektif. Sistem juga terbukti andal dalam mendeteksi penyakit dan dapat pulih secara otomatis dari kegagalan berkat manajemen layanan systemd, menunjukkan kelayakan sebagai solusi pertanian presisi.

Kata Kunci: *Computer Vision, Internet of Things, Deteksi Objek, Klasifikasi Gambar, Raspberry Pi, Systemd, Pertanian Presisi.*

PERANCANGAN SISTEM PENGUSIRAN HAMA BURUNG DAN DETEKSI PENYAKIT PADI BERBASIS IOT DAN KECERDASAN BUATAN

THORIQ FIRDAUS ARIFIN

21106050026

ABSTRACT

Declining rice productivity due to bird pests and plant diseases poses a serious challenge to food security, with conventional solutions often limited in range, accuracy, and large-scale analytical capabilities. This research aims to design and build an integrated and autonomous system by combining Internet of Things (IoT) and Computer Vision technologies for real-time agricultural monitoring and mitigation. The research methodology employed the prototyping development method on an edge computing device (Raspberry Pi 5 with a Hailo-8L AI accelerator). Three artificial intelligence models were developed: (1) a YOLOv8s object detection model for bird pest repellent, (2) an EfficientNetV2B2 classification model for leaf disease diagnosis, and (3) an xresnet34 classification model for analyzing field conditions from a top-down perspective. All software services, including REST APIs and the user interface, were orchestrated using systemd to ensure robust and scheduled operations. The results show that the prototype system was successfully implemented and integrated. The bird detection model achieved high performance with a mAP@50 of 97.6%, and the system effectively triggered actuator responses. The system also proved reliable in disease detection and could automatically recover from failures thanks to systemd service management, demonstrating its feasibility as a precision agriculture solution.

Keywords: Computer Vision, Internet of Things, Object Detection, Image Classification, Raspberry Pi, Systemd, Precision Agriculture.

HALAMAN MOTTO

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ وَعَلَى آلِ سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٥﴾ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٦﴾

(Q.S. Al-Insyrah: 5-6)

“Kegagalan hanya terjadi bila kita menyerah.”

(Bacharuddin Jusuf Habibie)

“Perbaiki dulu ekonomimu, kuatkan dulu pondasimu, nanti saja urusan cinta.
Ingat kalahmu sudah terlalu banyak, jangan sampai kamu tidak menjadi apa-apa
karena urusan cinta”

(Timothy Ronald)

“Your maximum is someone’s minimum. Never stop. Success is the best revenge”

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

LEMBAR PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir ini tidak dipublikasikan, tetapi tersedia di perpustakaan dalam lingkungan UIN Sunan Kalijaga, yang diperkenankan dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seizin penyusun, dan harus menyebutkan sumbernya sesuai dengan kebiasaan ilmiah. Dokumen Tugas Akhir ini merupakan hak milik UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Junjungan Nabi Muhammad SAW, semoga kita semua mendapat syafaat beliau di hari akhir nanti. *Aamiin Ya Rabbal 'Alamin*.

Tujuan utama dari penyusunan laporan ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Tugas Akhir. Adapun judul penelitian yang penulis angkat adalah **“Perancangan Sistem Pengusiran Hama Burung dan Deteksi Penyakit Padi Berbasis IoT dan Kecerdasan Buatan”**.

Dengan segala kerendahan hati, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan laporan ini sebagai berikut:

1. Bapak Prof. H. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D., selaku rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Bapak Dr. Muhammad Mustakim, S.T. M.T., selaku Ketua Program Studi.
4. Bapak Dr. Ir. Aulia Faqih Rifa'i, M.Kom. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama perkuliahan.
5. Ibu Dr. Shofwatul Uyun, S.T., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing, terima kasih telah memberikan arahan, waktu, dan kesabaran untuk membantu membimbing dalam Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen serta staf akademik Program Studi Informatika yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat.
7. Kedua orang tua, Ayah dan Ibu, dan kakak penulis yang selalu mendoakan, menginspirasi, dan membantu dengan dukungan moril maupun finansial. Semoga Allah SWT. senantiasa melimpahkan kesehatan, keberkahan dan kebahagiaan dunia-akhirat.

8. Untuk diri sendiri, terimakasih telah selalu berusaha, meski sempat diselingi banyak kegiatan dan hal lain, tetapi tetap semangat untuk berusaha dan selalu berkomitmen terhadap suatu hal.
9. Teman-teman Muammar ‘Azmi Effendy, Ahmad Rizky Prayuda, terima kasih telah memberikan arahan ketika salah, memberikan motivasi, memberikan tawa dan banyak hal.
10. Rekan-rekan seperjuangan Informatika angkatan 2021. Khususnya teman-teman yang bersama mengikuti lomba, teman bermain dan teman bercerita. Terima kasih telah menghadapi masa kuliah ini bersama.
11. Untuk teman-teman KKN Konversi di Desa Jamu Kiringan, Terima kasih telah berjuang bersama, keseruan dan kekompakan yang solid itu akan selalu teringat.
12. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Yogyakarta, 5 Agustus 2025

Penulis



Thoriq Firdaus Arifin

NIM. 21106050026

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iv
INTISARI.....	v
ABSTRACT.....	vi
HALAMAN MOTTO	vii
LEMBAR PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR CODE.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat Tugas Akhir	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Literatur Review.....	7
2.2 Landasan Teori.....	11
2.2.1 Internet of Things.....	11
2.2.2 Automation IoT.....	12
2.2.3 Artificial Intelligence	14
2.2.4 Machine Learning	15
2.2.5 Deep Learning.....	16
2.2.6 Computer Vision	17
2.2.7 You Only Look Once Model.....	18

2.2.8	Fritzing	20
2.2.9	Raspberry Pi	21
2.2.10	GStreamer	23
2.2.11	Systemd.....	24
2.2.12	REST API	25
2.2.13	Flask	25
2.2.14	Message Queue Telemetry Transport Protocol (MQTT).....	26
2.2.15	Streamlit	28
2.2.16	Hailo AI Accelerator	28
2.2.17	Tensorflow dan Keras	29
2.2.18	FastAI.....	30
2.2.19	Metode Pengembangan Perangkat Lunak	31
2.2.20	Metode Pengembangan Prototyping	34
2.2.21	Flowchart	37
2.2.22	Sistem Pengujian.....	38
2.2.23	Penyakit pada tanaman padi.....	39
2.2.24	Hama Burung	46
BAB III METODE PENGEMBANGAN SISTEM		48
3.1	Lokasi dan Waktu	48
3.2	Bahan dan Alat.....	48
3.2.1	Spesifikasi Perangkat Keras	48
3.2.2	Spesifikasi Perangkat Lunak	51
3.3	Tahapan Pengembangan.....	53
BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM		59
4.1	Arsitektur Sistem.....	59
4.1.1	Deskripsi Umum Arsitektur	59

4.1.2	Diagram Arsitektur Umum	61
4.2	Rancangan Perangkat Keras (Hardware)	62
4.2.1	Alat Pengusiran Burung	62
4.2.2	Alat Pemrosesan Utama	69
4.3	Perancangan Perangkat Lunak (Software)	74
4.3.1	Perancangan Model Bird Detector	74
4.3.1.1	Arsitektur Model: yolov8s	75
4.3.1.2	Persiapan dan komposisi dataset.....	75
4.3.1.3	Proses pelatihan model.....	76
4.3.1.4	Kinerja Model	77
4.3.1.5	Konversi Model untuk Deployment pada AI Accelerator	80
4.3.2	Perancangan Penyakit Tanaman Padi (Leaves Collective).....	82
4.3.2.1	Arsitektur Model: EfficientNetV2B2.....	82
4.3.2.2	Persiapan dan Komposisi Dataset Penyakit Padi	83
4.3.2.3	Proses Pelatihan Model	84
4.3.2.4	Hasil dan Evaluasi Kinerja Model	84
4.3.2.5	Export Model untuk deployment	87
4.3.3	Perancangan Penyakit Tanaman Padi Tampak Atas pada Pertanaman Padi.....	87
4.3.3.1	Arsitektur Model: Xresnet34.....	88
4.3.3.2	Persiapan dan Komposisi Dataset	88
4.3.3.3	Proses dan Hasil Pelatihan	89
4.3.3.4	Export model untuk deployment.....	92
4.3.4	Perancangan Layanan Komunikasi dan Basis Data	93
4.3.4.1	Perancangan Protokol Komunikasi (MQTT Broker).....	93

4.3.4.2	Perancangan Basis Data (InfluxDB)	94
4.3.5	Perancangan Antarmuka Pengguna.....	95
4.3.5.1	Use Case Diagram.....	95
4.3.5.2	Activity Diagram.....	97
4.3.5.3	Desain Tampilan antarmuka (Wireframe)	101
4.4	Implementasi Sistem	108
4.4.1	Implementasi Kamera ke Shared Buffer	108
4.4.2	Implementasi Model Bird Detector.....	111
4.4.2.1	Integrasi GStreamer dan Hailo Runtime Detection	111
4.4.2.2	Logika Deteksi dan Aksi Realtime	113
4.4.2.3	Pencatatan Data Historis (InfluxDB)	114
4.4.2.4	Arsitektur Multi Thread untuk di Main Scrip	115
4.4.2.5	Manajemen Sumber Daya dan Stabilitas	116
4.4.3	Implementasi Model Penyakit Tanaman Padi dari tampak atas (lahan)	117
4.4.3.1	Implementasi Layanan Inferensi (REST API)	117
4.4.3.2	Implementasi Skrip Pemicu Analisis Periodik.....	118
4.4.4	Implementasi Model Penyakit Tanaman Padi (Daun)	119
4.4.5	Implementasi Sistem ESP32 untuk Speaker	121
4.4.5.1	Konektivitas Jaringan dan MQTT.....	121
4.4.5.2	Logika Pemrosesan Pesan (Callback Function).....	121
4.4.5.3	Interaksi dengan DFPlayer Mini	122
4.4.6	Implementasi Antarmuka Pengguna	123
4.4.6.1	Halaman Dashboard	123
4.4.6.2	Halaman Live Cam	125

4.4.6.3	Halaman AI Assistant	127
4.4.6.4	Halaman Speaker Config	130
4.4.7	Implementasi Service ke Systemd	132
4.4.7.1	Layanan Aliran Kamera (Camera Stream).....	132
4.4.7.2	Layanan Deteksi Burung.....	134
4.4.7.3	Layanan Inferensi Model Penyakit	136
4.4.7.4	Layanan Deteksi Penyakit Periodik	137
4.4.7.5	Layanan Antarmuka Pengguna (Streamlit UI).....	138
4.4.7.6	Layanan Penjaga (Watchdog) untuk Ketahanan Sistem	139
4.4.7.7	Aktivasi dan Manajemen Layanan.....	141
4.4.8	Implementasi Integrasi Antar Sistem	142
4.4.9	Implementasi Sistem Di Lahan	144
4.4.9.1	Penempatan dan Jangkauan Kamera.....	144
4.4.9.2	Penempatan Unit Pemrosesan Utama dan Speaker.....	145
4.4.9.3	Jangkauan Suara.....	145
4.5	Hasil Pengujian Sistem	146
4.5.1	Skenario dan Hasil Pengujian Fungsional.....	146
BAB V KESIMPULAN		150
5.1	Kesimpulan	150
5.2	Saran.....	151
DAFTAR PUSTAKA		153
LAMPIRAN.....		159

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terkait Hama Burung dan Pendeteksi Penyakit Tanaman Padi.....	10
Tabel 3. 1 Tabel Spesifikasi Perangkat Lunak.....	51
Tabel 4. 1 Komposisi Dataset Gambar untuk Model Deteksi Burung.....	76
Tabel 4. 2 Tabel Komposisi Jumlah Bounding Box	76
Tabel 4. 3 Hyperparameter Proses Pelatihan Model Deteksi Burung.....	76
Tabel 4. 4 Hasil Akhir Evaluasi Kinerja Model Deteksi Burung	80
Tabel 4. 5 Distribusi Dataset untuk Model Klasifikasi Penyakit	83
Tabel 4. 6 Hyperparameter Proses Pelatihan Model Klasifikasi Penyakit Tanaman Padi.....	84
Tabel 4. 7 Hasil Akhir Evaluasi Kinerja Model Klasifikasi Penyakit Padi Pada Test Data	86
Tabel 4. 8 Overall Score Evaluasi Kinerja Model	87
Tabel 4. 9 Distribusi Dataset untuk Model Klasifikasi Kondisi Pertanaman Padi	88
Tabel 4. 10 Metrics Hasil Pelatihan	90
Tabel 4. 11 Deskripsi Use Case Aplikasi.....	96
Tabel 4. 12 Skenario dan Hasil Uji Fungsional	147
Tabel 4. 13 Skenario dan Hasil Uji Penanganan Kesalahan dan Ketahanan	148



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Alur MQTT	27
Gambar 2. 2 Tahapan Model Prototyping.....	35
Gambar 2. 3 Penyakit Blas [37]	40
Gambar 2. 4 Penyakit Tungro[39]	41
Gambar 2. 5 Penyakit Hawar Daun Bakteri (<i>Xanthomonas oryzae</i>) [40]	42
Gambar 2. 6 Penyakit Bercak Cokelat (<i>Cercospora oryzae</i>) [42].....	43
Gambar 2. 7 Penyakit Kerdil Rumpun dan Kerdil Hampa [44].....	44
Gambar 2. 8 Penyakit Hawar Pelepah (<i>Rhizoctonia solani</i>) [46]	46
Gambar 3. 1 Alur Deteksi Burung <i>Page 1</i>	54
Gambar 3. 2 Alur Deteksi Burung <i>Page 2</i>	55
Gambar 3. 3 Alur Deteksi Penyakit	56
Gambar 4. 1 Arsitektur Sistem.....	61
Gambar 4. 2 Rangkaian Alat Pengusir Burung.....	64
Gambar 4. 3 Diagram Skematik Rangkaian Elektronik Alat Pengusir Burung	65
Gambar 4. 4 (a) Bagian Dalam Bawah, (b) Bagian Atas, (c) Tampak Luar.....	67
Gambar 4. 5 Tampak luar alat pengusir burung (a) Tampak depan; (b) Tampak Samping	68
Gambar 4. 6 Diagram Rangkaian Unit Pemrosesan Utama	69
Gambar 4. 7 Tampilan Internal Unit Pemrosesan Utama	71
Gambar 4. 8 Tampilan Samping Unit Pemrosesan Utama	72
Gambar 4. 9 Tampilan Depan Unit Pemrosesan Utama Terpasang pada Tiang...	72
Gambar 4. 10 Metrics Pelatihan Model Bird Detector (a) box loss, (b) class loss, (c) object loss.....	78
Gambar 4. 11 Grafik Metrics Kinerja Model Selama Pelatihan	79
Gambar 4. 12 Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model Klasifikasi Penyakit Tanaman Padi	85
Gambar 4. 13 Confusion Matrix Hasil Evaluasi pada Data Testing.....	86
Gambar 4. 14 Grafik Loss Pelatihan dan Validasi Model Klasifikasi Kondisi Pertanaman Padi.....	91
Gambar 4. 15 Confusion Matrix untuk model kondisi lahan.....	92
Gambar 4. 16. <i>Use Case Diagram</i>	95
Gambar 4. 17 <i>Activity Diagram</i> untuk Melihat Informasi	98
Gambar 4. 18 <i>Activity Diagram</i> Melihat Live Camera	99
Gambar 4. 19 <i>Activity Diagram</i> Deteksi Penyakit Manual.....	100
Gambar 4. 20 <i>Activity Diagram</i> Konfigurasi Speaker	101
Gambar 4. 21 Rancangan tampilan di home	102
Gambar 4. 22 Rancangan tampilan ketika AI berhasil menganalisa data.....	103
Gambar 4. 23 Rancangan tampilan halaman <i>live camera</i>	104
Gambar 4. 24 Rancangan halaman <i>live camera</i> ketika <i>streaming</i> dari kamera..	104
Gambar 4. 25 Rancangan Tampilan AI <i>assistant</i>	105
Gambar 4. 26 Rancangan Pengguna Mengupload Gambar pada AI <i>assistant</i> ...	106
Gambar 4. 27 Rancangan ketika hasil analisa.....	106
Gambar 4. 28 Rancangan tampilan halaman <i>speaker config</i>	107
Gambar 4. 29 Rancangan tampilan <i>speaker config</i> ketika memencet tombol	108

Gambar 4. 30 Flow GStreamer <i>pipeline</i> untuk kamera shared file buffer	110
Gambar 4. 31 Diagram Alur Interaksi Python, GStreamer, dan Hailo Driver....	112
Gambar 4. 32 Alur Kerja Skrip Python sebagai Konsumen dan Produsen <i>Buffer</i>	113
Gambar 4. 33 <i>User Callback Class</i> Untuk Menyimpan Data	114
Gambar 4. 34 Diagram Alur Kerja <i>Multi-Thread</i> pada Skrip Deteksi Burung...	115
Gambar 4. 35 Tampilan Fungsional Halaman Dashboard	123
Gambar 4. 36 Tampilan Halaman Dashboard dengan Hasil Analisis AI	124
Gambar 4. 37 Tampilan Awal Halaman <i>Live Cam</i>	125
Gambar 4. 38 Tampilan Debug Information pada Halaman Live Cam	126
Gambar 4. 39 Tampilan Live Cam Saat Aktif	126
Gambar 4. 40 Tampilan Awal Halaman <i>AI Assistant</i>	127
Gambar 4. 41 Tampilan Panduan Contoh Gambar pada AI Assistant.....	128
Gambar 4. 42 Tampilan Hasil Analisis untuk Tanaman Sehat	128
Gambar 4. 43 Tampilan Hasil Analisis untuk Tanaman Berpenyakit	129
Gambar 4. 44 Tampilan Fungsional Halaman Speaker Config	130
Gambar 4. 45 Tampilan Umpan Balik Aksi pada Halaman Speaker Config.....	131
Gambar 4. 46 Diagram Integrasi Antar Layanan Sistem	142
Gambar 4. 47 Ilustrasi Jangkauan Area Pemantauan Kamera	144
Gambar 4. 48 Ilustrasi Jangkauan Nirkabel dan Penempatan Speaker.....	145
Gambar 4. 49 Ilustrasi Jangkauan Efektif Suara dari Unit Speaker.....	146



DAFTAR CODE

Code 4. 1 Pytorch ke ONNX.....	81
Code 4. 2 Hailomz untuk Konversi Model onnx ke hef	82
Code 4. 3 Menyimpan Model Dalam Format h5	87
Code 4. 4 Inisialisasi <i>Learner</i> dari Fastai dengan xresnet Arsitektur	90
Code 4. 5 Export Model fastai dengan pickle	93
Code 4. 6 Bash <i>Script</i> Untuk Memulai <i>Shared Buffer</i>	109
Code 4. 7 Potongan Method dari kelas Gstreamer yang Akan Menjalankan Model HEF	111
Code 4. 8 Cuplikan Kode Utama Layanan Inferensi Flask.....	118
Code 4. 9 Alur Kerja pada Skrip Pemicu Analisis.....	119
Code 4. 10 Cuplikan Kode Layanan Inferensi Penyakit Daun	120
Code 4. 11 Cuplikan Implementasi Kendali DFPlayer pada ESP32	122
Code 4. 12 File Unit camera_stream.service	132
Code 4. 13 File Unit camera_stream.timer	133
Code 4. 14 File Unit camera_stream_stop.service.....	133
Code 4. 15 File Unit camera_stream_stop.timer.....	134
Code 4. 16 File Unit bird_detector.service	134
Code 4. 17 File Unit bird_detector.timer	135
Code 4. 18 File Unit bird_detector_stop.service.....	135
Code 4. 19 File Unit bird_detector_stop.timer	135
Code 4. 20 File Unit padi_atas.service	136
Code 4. 21 File Unit padi_collection.service	136
Code 4. 22 File Unit disease_detector.service	137
Code 4. 23 File Unit disease_detector.timer	138
Code 4. 24 File Unit ui_streamlit.service.....	138
Code 4. 25 Skrip bash check_bird_detector.....	139
Code 4. 26 Skrip check_camera_stream	140
Code 4. 27 File Unit check_camera_stream.service	140
Code 4. 28 File Unit check_bird_detector.service	141
Code 4. 29 Skrip aktivasi.sh untuk Mengaktifkan Semua Layanan	141

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketahanan pangan adalah salah satu masalah utama yang sedang dihadapi oleh negara Indonesia. Presiden Prabowo Subianto, dalam pidato pertamanya sebagai Presiden Republik Indonesia, menegaskan komitmennya untuk mencapai swasembada pangan dan energi sebagai strategi menghadapi tantangan global yang semakin kompleks [1]. Menurut Presiden, ketergantungan pada sumber pangan dari luar merupakan ancaman bagi kemandirian bangsa, terlebih dalam situasi krisis global saat negara-negara cenderung lebih mengutamakan kepentingan domestik mereka. Untuk itu, Indonesia harus mampu memenuhi kebutuhan pangan secara mandiri dalam waktu yang sesingkat-singkatnya, dengan target swasembada pangan dicapai dalam 4-5 tahun ke depan, dengan padi menjadi salah satu komoditas utama yang penting untuk mencapai tujuan tersebut.

Padi merupakan salah satu komoditas utama yang peranannya sangat vital dalam upaya mewujudkan swasembada pangan di Indonesia. Namun, produksi beras dalam negeri menunjukkan penurunan signifikan dalam beberapa bulan terakhir. Berdasarkan data, hingga Agustus 2024, Indonesia telah mengimpor 3,05 juta ton beras, yang menandakan kenaikan impor sebesar 121,34% dibandingkan periode yang sama tahun sebelumnya. Dengan proyeksi impor yang dapat mencapai 5,17 juta ton pada akhir tahun jumlah ini akan menjadi angka tertinggi dalam sejarah impor beras Indonesia [2]. Penurunan produksi yang diperkirakan hanya mencapai 30,34 juta ton beras pada tahun ini memperkuat tantangan yang dihadapi Indonesia dalam memenuhi kebutuhan pangan nasional secara mandiri. Salah satu penyebab yang masih marak menyebabkan penurunan tingkat produksi padi adalah hama burung, terutama burung bondol dan berbagai penyakit pada padi.

Menurut Ardjansyah dalam penelitiannya di daerah bogor mengungkapkan bahwa serangan burung, terutama dari jenis bondol jawa (*Lonchura leucogastroides*), merupakan ancaman serius bagi tanaman padi di Indonesia.

Bondol jawa bersama bondol peking (*Lonchura punctulata*) dan bondol haji (*Lonchura maja*) sering menyerang lahan padi secara bergerombol, terutama saat biji padi mulai mengisi (fase masak susu). Serangan ini terjadi terutama di pagi hari atau saat cuaca teduh. Penelitian menunjukkan bahwa burung bondol dapat menyebabkan kerusakan malai padi hingga 4,24% di area Sawah Baru dan 4,05% di Ciherang. Kerugian yang dialami petani akibat serangan burung ini mencapai lebih dari Rp 2.500.000 per hektar di beberapa lokasi [3]. Selain serangan hama burung, kondisi ini diperparah dengan maraknya berbagai macam penyakit tanaman yang menyerang padi. Menurut data prakiraan serangan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) utama pada musim tanam 2024, luas serangan penyakit pada tanaman padi diperkirakan mencapai 194.713 hektar. Penyakit-penyakit tersebut termasuk penggerek batang padi, wereng batang coklat, tikus, penyakit blas, hawar daun bakteri, dan tungro. Di antara ancaman ini, penggerek batang padi dan tikus diprediksi menjadi ancaman signifikan karena dapat menyebabkan kehilangan hasil yang cukup besar jika terjadi secara luas [4]. Untuk mengurangi kerusakan akibat serangan burung dan penyakit pada tanaman padi, pengembangan teknologi berbasis digital dapat menjadi solusi efektif di sektor pertanian.

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (AI) di bidang pertanian mengalami percepatan pesat, terutama sejak masuknya era Revolusi Industri 4.0. Pada era ini, teknologi seperti AI tidak hanya membantu automasi proses tetapi juga memungkinkan analisis data *real-time* yang mendukung ketepatan dalam setiap keputusan pertanian. Teknologi AI telah diterapkan untuk berbagai fungsi, mulai dari pengawasan tanaman hingga identifikasi dan penanganan hama. Melalui algoritma pembelajaran mesin dan sensor cerdas, AI mampu mendeteksi perubahan kondisi tanaman serta keberadaan hama secara otomatis dan mandiri, sehingga tindakan pencegahan atau pengobatan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan akurat. Hal ini membuat AI berperan penting dalam meningkatkan produktivitas pertanian dan menurunkan kerugian akibat serangan hama dan penyakit tanaman [5].

Di samping itu, integrasi AI dengan teknologi Internet of Things (IoT) semakin memperkuat efektivitas pemantauan dan pengelolaan lahan. Dengan

dukungan IoT, berbagai perangkat yang terpasang di lapangan dapat saling terhubung dan mengirimkan data secara langsung ke pusat kontrol. Kombinasi AI dan IoT ini memungkinkan para petani untuk memperoleh gambaran yang lebih lengkap tentang kondisi lahan mereka, sehingga dapat mengambil tindakan yang lebih cepat dan tepat. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk berkontribusi dalam penerapan perkembangan teknologi kombinasi AI dan IoT dan mengurangi batasan yang ada pada penelitian sebelumnya.

Beberapa penelitian sebelumnya memiliki berbagai kekurangan yang membatasi efektivitas solusi yang ditawarkan, khususnya dalam hal pengusiran hama burung dan pendeteksian penyakit tanaman padi. Contohnya, penelitian yang menggunakan sensor gerak untuk mengusir burung sering kali mengalami masalah dalam membedakan objek yang bergerak, sehingga deteksinya tidak akurat dan kinerjanya terbatas pada jarak tertentu. Selain itu, metode yang memanfaatkan IoT sering kali hanya berfungsi untuk pemantauan pasif, tanpa kemampuan untuk melakukan analisis lebih lanjut atau mengambil tindakan otomatis. Di sisi lain, penelitian tentang pendeteksian penyakit tanaman padi banyak yang hanya berfokus pada pengambilan sampel daun tunggal, sehingga tidak mencerminkan kondisi tanaman secara keseluruhan. Pendekatan ini mengakibatkan keterbatasan dalam skalabilitas dan akurasi ketika diterapkan pada lahan pertanian yang luas. Kekurangan-kekurangan ini menunjukkan perlunya sistem yang lebih terintegrasi, presisi, dan mampu mencakup area yang lebih luas dengan teknologi yang lebih cerdas.

Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi pengelolaan lahan pertanian melalui penerapan teknologi *Computer Vision* dan IoT. Dengan memanfaatkan analisis gambar berbasis AI untuk deteksi hama dan penyakit, serta integrasi sistem IoT untuk pemantauan *real-time*, sistem ini diharapkan mampu membantu petani dalam mengambil keputusan yang lebih cepat dan akurat. Selain itu, teknologi ini juga memungkinkan pengawasan yang mencakup area lahan lebih luas, memberikan pemahaman menyeluruh tentang kondisi pertanian. Diharapkan, pendekatan ini tidak hanya mengurangi kerugian akibat hama dan penyakit, tetapi

juga meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil panen, sekaligus mendorong transformasi sektor pertanian menuju era digital yang lebih modern dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada rancang bangun sistem dan dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem *Computer Vision* yang mampu mengklasifikasikan berbagai jenis penyakit pada tanaman padi menggunakan perspektif bagian atas dalam kumpulan tanaman padi?
2. Bagaimana merancang sistem pengusiran hama burung dengan memanfaatkan teknologi *Computer Vision* dan IoT untuk meningkatkan jangkauan pengusiran hama burung?
3. Bagaimana mengintegrasikan teknologi *Computer Vision* dan IoT untuk menciptakan sistem yang mampu menggabungkan pengusiran burung dan pemantauan penyakit tanaman padi secara *real-time* dengan cakupan area lahan yang lebih luas?

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hanya dalam lingkup tanaman padi
2. Hanya mengklasifikasikan penyakit pada tanaman padi baik dari segi tampak atas dan kumpulan tanaman padi, bukan berfokus pada penyakit tanaman padi yang terlihat di batang, akar dan tanah.
3. Hanya berfokus untuk melebarkan cakupan yang dapat dijangkau dari sistem IoT Pengusiran burung dengan mengembangkan sebuah sistem dan tidak berfokus pada efektifitas penggunaan suara berfrekuensi

tinggi dalam pengusiran burung dan tidak berfokus pada keakuratan pendeteksian burung.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan, tujuan penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem *Computer Vision* yang dapat mengklasifikasikan berbagai jenis penyakit pada tanaman padi dengan menggunakan perspektif tampak atas untuk memantau kondisi keseluruhan lahan.
2. Mengembangkan sistem pengusiran hama burung berbasis teknologi *Computer Vision* dan IoT yang memiliki jangkauan lebih luas.
3. Mengintegrasikan teknologi *Computer Vision* dan IoT untuk menciptakan sistem yang mampu menjalankan pengusiran hama burung serta pemantauan penyakit tanaman padi secara real-time dengan cakupan lahan yang lebih luas.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

1. Bagi pengguna
 - a. Memudahkan petani dalam memantau kondisi tanaman padi secara real-time melalui *dashboard* aplikasi, sehingga dapat mengambil keputusan yang lebih cepat dan tepat.
 - b. Mengurangi kerugian akibat serangan hama burung dan penyakit tanaman dengan adanya sistem pengawasan dan pengusiran berbasis IoT dan *Computer Vision* yang efektif dan efisien.
 - c. Meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil panen melalui penerapan teknologi cerdas yang mendukung pengelolaan pertanian modern.

2. Bagi peneliti

- a. Menambah wawasan dan pengalaman praktis dalam merancang dan membangun sistem berbasis IoT dan *Computer Vision* untuk aplikasi di bidang pertanian.
- b. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi pertanian cerdas yang relevan dengan kebutuhan modern.
- c. Menjadi dasar untuk penelitian lanjutan yang dapat mengintegrasikan teknologi lebih kompleks, seperti pemodelan prediksi hasil panen atau optimasi sumber daya pertanian.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian ini telah berhasil merancang dan membangun sebuah sistem prototipe yang *robust* dan terintegrasi, dengan menggabungkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan *Computer Vision* berbasis kecerdasan buatan. Sistem ini mampu berjalan secara otonom berkat manajemen layanan menggunakan *systemd* yang memastikan semua komponen perangkat lunak aktif sesuai jadwal dan dapat pulih secara otomatis dari kegagalan.
2. Sistem ini berhasil mengimplementasikan dua fungsi utama secara efektif. Pertama, fungsi pengusiran hama burung secara *real-time* menggunakan model deteksi objek YOLOv8s yang memiliki akurasi tinggi (mAP@50 97,6%), yang secara otomatis memicu unit aktuator suara melalui komunikasi MQTT. Kedua, fungsi deteksi penyakit *multi-level* yang terdiri dari model klasifikasi EfficientNetV2B2 untuk diagnosis 10 jenis penyakit daun dengan akurasi sangat tinggi, serta model klasifikasi xresnet34 sebagai bukti konsep untuk identifikasi kondisi umum lahan dari perspektif tampak atas.
3. Arsitektur perangkat lunak yang dirancang dengan pendekatan modular menggunakan layanan REST API (Flask), shared memory buffer (GStreamer), basis data deret waktu (InfluxDB), dan broker MQTT terbukti efektif dalam mengelola alur data dan komunikasi antar komponen yang kompleks. Integrasi ini berhasil menciptakan sebuah ekosistem perangkat lunak yang fungsional dan dapat diskalakan.

5.2 Saran

Meskipun penelitian ini telah berhasil mencapai tujuannya, terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan performa dan fungsionalitas sistem di masa depan. Berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Peningkatan Sistem Catu Daya: Unit pemrosesan utama saat ini masih bergantung pada baterai LiFePO₄ yang memiliki kapasitas terbatas untuk operasi jangka panjang. Untuk implementasi yang sepenuhnya mandiri, disarankan untuk mengintegrasikan sistem catu daya berbasis panel surya yang lebih besar pada unit utama, serupa dengan yang telah diterapkan pada unit speaker. Hal ini akan memungkinkan sistem untuk beroperasi secara kontinu selama berbulan-bulan tanpa memerlukan intervensi manual untuk pengisian daya.
2. Penyempurnaan Model Deteksi Penyakit Tanaman Padi (Pertanaman Padi): Model klasifikasi kondisi lahan dari tampak atas berhasil membuktikan kelayakan konsep, namun kinerjanya masih belum optimal (akurasi sekitar 83%) karena keterbatasan jumlah dan ketidakseimbangan data. Disarankan untuk melakukan pengumpulan dataset yang jauh lebih besar dan beragam langsung dari lapangan. Penambahan data asli, terutama untuk kelas-kelas minoritas, akan secara signifikan meningkatkan akurasi, kemampuan generalisasi, dan keandalan model ini sebagai sistem peringatan dini skala luas.
3. Integrasi Model Bertingkat: Untuk pengembangan di masa depan, dapat dirancang sebuah alur kerja cerdas di mana model deteksi lahan (tampak atas) berfungsi sebagai sistem "peringatan pertama". Ketika model ini mendeteksi anomali di suatu area, sistem dapat secara otomatis memberikan notifikasi kepada petani untuk melakukan inspeksi lebih lanjut menggunakan fitur *AI Assistant* (model deteksi daun) pada area tersebut untuk mendapatkan diagnosis yang lebih spesifik dan akurat.
4. Skalabilitas Jaringan: Komunikasi antara unit utama dan unit speaker saat ini bergantung pada konektivitas Wi-Fi yang jangkauannya terbatas

(sekitar 50 meter). Untuk penerapan di lahan pertanian yang sangat luas, disarankan untuk mengeksplorasi teknologi komunikasi nirkabel jarak jauh berdaya rendah seperti LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*). Ini akan memungkinkan penempatan puluhan unit speaker di area yang mencakup beberapa hektar, yang semuanya terhubung ke satu unit pemrosesan pusat.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. T. (Purn. . H. P. S. Djojohadikusumo, “Pengucapan Sumpah sebagai Presiden Republik Indonesia di Gedung Nusantara MPR/DPR/DPD, Jakarta, pada Minggu, 20 Oktober 2024.,” Jakarta, 2024.
- [2] Damiana, “Data Terbaru Produksi Beras 2024 Terungkap, Impor Ternyata Jadi Segini,” CNBC Indonesia. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.cnbcindonesia.com/news/20240923132538-4-573839/data-terbaru-produksi-beras-2024-terungkap-impor-ternyata-jadi-segini>
- [3] dan S. P. Arseki Ardjansyah, Jarwadi Budi Hernowo, “Pengaruh Serangan Burung Bondol terhadap,” *Media Konserv.*, vol. 22, no. 2, hal. 101–110, 2017.
- [4] B. B. P. O. P. T. D. J. T. P. K. Pertanian, “Prakiraan Serangan OPT Utama Padi, Jagung, Kedelai, dan Akabi Di Indonesia MT. 2024,” Jakarta: Balai Besar Peramalan Organisme Pengganggu Tumbuhan Direktorat Jenderal Tanaman Pangan Kementerian Pertanian, 2024.
- [5] R. O. K. Vini Putri Febrianti, Tasya Alya Permata, Mamai Humairoh, Odita Mulyana Putri, Lisa Amelia , Shaynen Fatimah, “Analisis Pengaruh Perkembangan Teknologi Pertanian di Era Revolusi Industri 4.0 terhadap Hasil Produksi Padi,” *Pengolah. Pangan*, vol. 6, no. 54–60, hal. 2, 2021.
- [6] M. Fauzi dan I. Krisnadi, “Rancang Bangun System Pendeteksi Dan Padi Berbasis Internet of Things,” *Juenal Tek. Elektro*, hal. 1–11, 2016.
- [7] N. Bansal, “Basic IoT Concepts,” hal. 11–31, 2020, doi: 10.1007/978-1-4842-6041-8_2.
- [8] S. Madakam, R. Ramaswamy, dan S. Tripathi, “Internet of Things (IoT): A Literature Review,” *J. Comput. Chem.*, vol. 3, hal. 164–173, 2015, doi: 10.4236/JCC.2015.35021.
- [9] M. F. Fauzi dan E. H. S. T, “Perancangan Alat Untuk Pengusiran Hama Burung Menggunakan Arduino Uno,” no. 1.
- [10] N. Ucik dan R. Z. Abidin, “Pencegahan Hama pada Tanaman Padi menggunakan Internet of Things (IoT) dengan Riddex Ultrasonic,” vol. 8,

- no. 5, hal. 10240–10247, 2024.
- [11] L. Juniyardi, E. Suryadi, A. Akbar, dan L. D. Samsumar, “Perancangan Smart Farmer pada Tanaman Padi menggunakan ESP8266 Berbasis Internet of Things (IoT),” *J. Data Anal. Information, Comput. Sci.*, vol. 1, no. 4, hal. 204–214, 2024.
 - [12] M. Praseptiawan, M. C. Untoro, L. V. Millennium, dan M. Affandi, “Sistem Informasi Monitoring Lahan Pertanian dan Pengusiran Hama Berbasis Internet of Thing,” *Ilk. J. Comput. Sci. Appl. Informatics*, vol. 4, no. 2, hal. 162–170, 2022, doi: 10.28926/ilkomnika.v4i2.460.
 - [13] AWS, “Apa itu Deep Learning.” Diakses: 21 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://aws.amazon.com/id/what-is/deep-learning/>
 - [14] H. Saputra, I. Stephane, T. Sundara, dan A. H. Bahri, “Deteksi Penyakit Tanaman Padi Berbasis Android Melalui Pemanfaatan Teachable Machine,” *Indones. J. Comput. ...*, 2024.
 - [15] A. Pamungkas, “Memahami Algoritma You Only Look Once (YOLO) dan Penerapannya Menggunakan MATLAB.” Diakses: 21 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://pemrogramanmatlab.com/2023/08/09/memahami-algoritma-you-only-look-once-yolo-dan-penerapannya-menggunakan-matlab/>
 - [16] D. C. Trinh, A. T. Mac, K. G. Dang, H. T. Nguyen, H. T. Nguyen, dan T. D. Bui, “Alpha-EIOU-YOLOv8: An Improved Algorithm for Rice Leaf Disease Detection,” *AgriEngineering*, vol. 6, no. 1, hal. 302–317, 2024, doi: 10.3390/agriengineering6010018.
 - [17] E. Erwin *et al.*, *Pengantar dan Penerapan Internet of Things: Konsep Dasar & Penerapan IoT di Berbagai Sektor*, no. March 2024. 2023. [Daring]. Tersedia pada: www.buku.sonpedia.com
 - [18] Automation Anywhere, “Understanding the Internet of Things (IoT) and Its Connection to Automation.” Diakses: 10 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.automationanywhere.com/company/blog/rpa-thought-leadership/understanding-the-internet-of-things-iot-and-its-connection-to-automation>

- [19] R. Chatterjee, "Fundamental Concepts of Artificial Intelligence and Its Applications," *J. Math. Probl. Equations Stat.*, vol. 1, no. 2, hal. 13–24, 2020, [Daring]. Tersedia pada: www.mathematicaljournal.com
- [20] T. O. Ayodele, "Types of machine learning algorithms," in *New advances in machine learning*, Y. Zhang, Ed., InTechOpen, 2010. doi: 10.5772/9385.
- [21] Ultralytics, "Ultralytics Model." Diakses: 21 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://docs.ultralytics.com/models/>
- [22] A. Knörrig, R. Wettach, dan J. Cohen, "Fritzing: a tool for advancing electronic prototyping for designers," in *Proceedings of the 3rd international conference on tangible and embedded interaction*, 2009, hal. 351–358.
- [23] H. D. Ghael, L. Solanki, dan G. Sahu, "A review paper on raspberry pi and its applications," *Int. J. Adv. Eng. Manag.*, vol. 2, no. 12, hal. 4, 2020.
- [24] gstreamer, "Welcome to the Gstreamer Tutorials!" Diakses: 26 Juli 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://gstreamer.freedesktop.org/documentation/tutorials/index.html?gi-language=c>
- [25] IBM, "What is REST API?" Diakses: 27 Juli 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.ibm.com/think/topics/rest-apis>
- [26] Geeksforgeeks, "Introduction to Web development using Flask." Diakses: 26 Juli 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.geeksforgeeks.org/python/python-introduction-to-web-development-using-flask/>
- [27] Geeksforgeeks, "Introduction of Message Queue Telemetry Transport Protocol (MQTT)." Diakses: 26 Juli 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.geeksforgeeks.org/computer-networks/introduction-of-message-queue-telemetry-transport-protocol-mqtt/>
- [28] datacamp, "Streamlit Python: Tutorial." Diakses: 26 Juli 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.datacamp.com/tutorial/streamlit>
- [29] Hailo, "Hailo-8 AI Accelerator." Diakses: 27 Juli 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://hailo.ai/products/ai-accelerators/hailo-8-ai-accelerator/#hailo-8-how-buy>

- [30] developmentseed, "Introduction to TensorFlow and Keras." Diakses: 27 Juli 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://developmentseed.org/servir-amazonia-ml/docs/Lesson1b_Intro_TensorFlow_Keras.html
- [31] "Welcome to fastai." Diakses: 26 Juli 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://docs.fast.ai/>
- [32] A. Admin, "5 Jenis Metode Pengembangan Software: Kelebihan dan Kekurangannya." Diakses: 15 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.arvis.id/insight/metode-pengembangan-software/>
- [33] Geeksforgeeks, "Prototyping Model – Software Engineering." Diakses: 25 April 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.geeksforgeeks.org/software-engineering-prototyping-model/>
- [34] I. A. Ridlo, "Pedoman Pembuatan Flowchart," *Academia.Edu*, hal. 27, 2017, [Daring]. Tersedia pada: academia.edu/34767055/Pedoman_Pembuatan_Flowchart
- [35] A. Verma, A. Khatana, dan S. Chaudhary, "A Comparative Study of Black Box Testing and White Box Testing," *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 12, hal. 301–304, 2017, doi: 10.26438/ijcse/v5i12.301304.
- [36] DKPP_SY, "Pengendalian Penyakit blas pada tanaman padi." Diakses: 19 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://dkpp.seruyankab.go.id/pengendalian-penyakit-blas-pada-tanaman-padi/#:~:text=Cara yang paling efektif%2C murah,anakan maksimum dan awal berbunga.>
- [37] Springer, "Identification and Detection of Rice Plant Diseases by Using Neural Network." Diakses: 12 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-2614-1_34
- [38] P. S. Tengah, "Mengenal Penyakit Tungro, Gejala, dan Cara Pengendalian." Diakses: 19 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: [https://pertanian.sultengprov.go.id/mengenal-penyakit-tungro-gejala-dan-cara-pengendalian/#:~:text=Cara mengendalikan populasi wereng hijau,pengendalian hama terpadu\(SLPHT\).](https://pertanian.sultengprov.go.id/mengenal-penyakit-tungro-gejala-dan-cara-pengendalian/#:~:text=Cara mengendalikan populasi wereng hijau,pengendalian hama terpadu(SLPHT).)
- [39] Dinas Tanaman Pangan Provinsi Sulawesi Tengah, "Mengenal Penyakit

- Tungro, Gejala, dan Cara Pengendalian.” Diakses: 12 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: [https://pertanian.sultengprov.go.id/mengenal-penyakit-tungro-gejala-dan-cara-pengendalian/#:~:text=Cara mengendalikan populasi wereng hijau,pengendalian hama terpadu\(SLPHT\).](https://pertanian.sultengprov.go.id/mengenal-penyakit-tungro-gejala-dan-cara-pengendalian/#:~:text=Cara mengendalikan populasi wereng hijau,pengendalian hama terpadu(SLPHT).)
- [40] N. Indonesia, “Pencegahan & Pengendalian Penyakit Kresak/ Hawar Daun Bakteri.” Diakses: 18 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://nufarm.com/id/pengendalian_penyakit_kresak/
- [41] Admin dinas pertanian buleleng, “Penyakit Bercak Daun Cercospora pada Tanaman Padi dan Cara Pengendaliannya.” Diakses: 18 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://distan.bulelengkab.go.id/informasi/detail/artikel/penyakit-bercak-daun-cercospora-pada-tanaman-padi-dan-cara-pengendaliannya-24>
- [42] D. Groth, “Narrow brown leaf spot (Cercospora janseana (Racib.) Constant.) (Racib.) Constant.,” Louisiana State University AgCenter. Diakses: 12 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=5390517>
- [43] Platinx, “Virus Kerdil Rumput Pada Padi.” Diakses: 18 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://plantix.net/id/library/plant-diseases/200053/rice-grassy-stunt-virus/>
- [44] megapolitan, “8.000 Hektare Sawah Karawang Terkena Penyakit Ini.” Diakses: 12 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://megapolitan.antaranews.com/berita/35455/8000-hektare-sawah-karawang-terkena-penyakit-ini>
- [45] B. Nuryanto, “Penyakit Hawar Pelepah (Rhizoctonia solani) pada Padi dan Taktik Pengelolaannya,” *J. Perlindungan Tanam. Indones.*, vol. 21, no. 2, hal. 63, 2018, doi: 10.22146/jpti.22494.
- [46] Dinas Pertanian Kabupaten Buleleng, “Pengamatan OPT Hawar Pelepah pada Padi di Subak Pendem Desa Alasangker.” Diakses: 12 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://distan.bulelengkab.go.id/informasi/detail/berita/80_pengamatan-opt-hawar-pelepah-pada-padi-di-subak-pendem-desa-alasangker

- [47] G. van Buurt dan A. O. Debrot, "Exotic and invasive terrestrial and freshwater animal species in the Dutch Caribbean," 2011.
- [48] J. Manueke, B. H. Assa, dan E. A. Pelealu, "Hama-hama pada tanaman padi sawah (*oryza sativa* l.) di Kelurahan Makalonsow Kecamatan Tondano Timur Kabupaten Minahasa," *Eugenia*, vol. 23, no. 3, 2017.

