

Rancang Bangun Orang-Orangan Sawah Pintar Berbasis Internet of Things untuk Pengendalian Hama Burung pada Tanaman Padi

Maktsuful Ghummah ^{1)*} , Moh Amrullah ²⁾ 

¹⁾²⁾Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾acuffbrekazz@gmail.com, ²⁾rullahalso@gmail.com

Abstrak

Hama burung merupakan salah satu faktor yang menyebabkan penurunan produktivitas tanaman padi, terutama pada fase pengisian bulir hingga menjelang panen. Petani umumnya masih menggunakan orang-orangan sawah konvensional yang memiliki keterbatasan karena bersifat pasif dan memerlukan pengawasan secara manual. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang untuk mengembangkan sistem pengusiran hama yang lebih efektif dan otomatis. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan orang-orangan sawah pintar berbasis Internet of Things yang mampu mendeteksi keberadaan burung, melakukan pengusiran secara otomatis, serta menyediakan fasilitas monitoring secara real-time. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor Passive Infrared (PIR), sensor ultrasonik HC-SR04, motor servo, modul DFPlayer Mini, dan platform monitoring berbasis Blynk. Pengujian dilakukan pada prototipe menggunakan metode simulasi untuk mengevaluasi akurasi sensor, waktu respons sistem, keandalan komunikasi IoT, serta efektivitas pengusiran burung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PIR memiliki tingkat akurasi deteksi rata-rata sebesar 92,0%, sedangkan sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki akurasi pengukuran sebesar 98,07%. Sistem mampu merespons objek yang terdeteksi dengan rata-rata waktu respons sebesar 1,32 detik. Pengujian komunikasi IoT menunjukkan tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 98,0%. Selain itu, sistem berhasil mengurangi aktivitas burung pada area pengamatan dengan rata-rata efektivitas pengusiran sebesar 83,35%. Orang-orangan sawah pintar berbasis Internet of Things yang dikembangkan mampu bekerja secara otomatis dalam mendeteksi dan mengusir hama burung pada tanaman padi. Integrasi sensor, aktuator, dan teknologi IoT terbukti mampu meningkatkan efektivitas pengendalian hama serta mendukung penerapan konsep Smart Farming pada sektor pertanian modern. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pada kondisi persawahan yang sebenarnya untuk memperoleh hasil yang lebih representatif.

Kata Kunci: Internet of Things, Smart Farming, Orang-Orangan Sawah Pintar, Hama Burung, ESP32, Tanaman Padi.

Article history: Received 5 April 2026, first decision 22 April 2026, accepted 22 August 2026, available online 28 October 2026

I. PENDAHULUAN

Padi merupakan komoditas pangan strategis di Indonesia yang berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), kebutuhan beras di Indonesia terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk. Kondisi tersebut menjadikan peningkatan produktivitas tanaman padi sebagai salah satu prioritas utama dalam pembangunan sektor pertanian. Namun, berbagai kendala masih dihadapi dalam proses budidaya padi, salah satunya adalah serangan hama burung yang sering terjadi pada fase pengisian bulir hingga menjelang masa panen[1].

Burung pipit merupakan salah satu jenis hama yang banyak ditemukan di area persawahan dan sering memakan bulir padi yang telah terisi[2]. Serangan hama ini dapat mengakibatkan penurunan hasil panen yang berdampak pada kerugian ekonomi bagi petani[3]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, petani umumnya masih mengandalkan metode tradisional seperti penggunaan orang-orangan sawah[4]. Selain itu, sebagian petani memanfaatkan tali yang dihubungkan dengan kaleng atau plastik untuk menghasilkan suara yang dapat mengusir burung. Meskipun demikian, metode konvensional tersebut memiliki beberapa kelemahan[5], antara lain memerlukan pengoperasian secara manual, efektivitas yang cenderung menurun seiring waktu, serta membutuhkan pengawasan langsung dari petani.

Kemajuan teknologi Internet of Things (IoT) membuka peluang baru dalam meningkatkan efektivitas pengendalian hama di sektor pertanian[6]. Teknologi ini memungkinkan berbagai perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan internet sehingga proses pemantauan dan pengendalian dapat dilakukan secara otomatis maupun dari jarak jauh. Penerapan IoT dalam bidang pertanian telah banyak digunakan pada sistem irigasi otomatis, pemantauan kondisi lingkungan, hingga pengendalian hama dan penyakit tanaman[7],[8]. Dengan memanfaatkan teknologi tersebut,

* Corresponding author

orang-orangan sawah konvensional dapat dikembangkan menjadi sistem cerdas yang mampu mendeteksi keberadaan burung dan melakukan tindakan pengusiran secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manusia secara langsung.

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem pengusir burung berbasis sensor dan mikrokontroler[9]. Salah satu penelitian memanfaatkan sensor gerak yang dipadukan dengan buzzer sebagai media pengusir burung otomatis. Penelitian lainnya menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi objek yang mendekati area persawahan dan mengaktifkan perangkat penghasil suara sebagai respons terhadap deteksi tersebut[10]. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada fungsi deteksi dan pengusiran sederhana tanpa dukungan teknologi IoT untuk kebutuhan pemantauan secara real-time. Selain itu, sistem yang dikembangkan umumnya hanya mengandalkan satu metode pengusiran sehingga tingkat efektivitasnya masih perlu ditingkatkan.

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian sebelumnya, masih terdapat kesenjangan penelitian (research gap) berupa belum terintegrasinya secara optimal sistem deteksi burung, mekanisme pengusiran otomatis, dan fasilitas monitoring jarak jauh dalam satu platform yang terpadu. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan perancangan dan implementasi orang-orangan sawah pintar berbasis Internet of Things yang mengintegrasikan sensor Passive Infrared (PIR), sensor ultrasonik HC-SR04, motor servo, modul suara DFPlayer Mini, serta mikrokontroler ESP32. Sistem yang dirancang mampu mendeteksi keberadaan burung secara otomatis, menggerakkan bagian tangan orang-orangan sawah, memutar suara predator sebagai sarana pengusiran, serta mengirimkan data hasil pemantauan kepada pengguna melalui jaringan internet.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi multi-sensor berupa Passive Infrared (PIR) dan HC-SR04 untuk meningkatkan akurasi deteksi objek, penerapan mekanisme pengusiran ganda melalui gerakan mekanis dan suara predator, serta fitur monitoring berbasis Internet of Things (IoT) yang terhubung dengan platform Blynk secara real-time. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya memanfaatkan satu jenis sensor atau satu metode pengusiran, sistem yang diusulkan mampu melakukan deteksi, pengusiran, dan pemantauan dalam satu platform terintegrasi. Pendekatan tersebut diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengendalian hama burung sekaligus mendukung implementasi konsep Smart Farming pada budidaya tanaman padi.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan orang-orangan sawah pintar berbasis Internet of Things yang mampu mendeteksi keberadaan hama burung, melakukan pengusiran secara otomatis, serta menyediakan fasilitas pemantauan secara real-time. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan konsep smart farming serta menjadi salah satu solusi untuk mendukung peningkatan produktivitas pertanian, khususnya pada budidaya tanaman padi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Smart Farming

Smart Farming merupakan konsep pertanian modern yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan sektor pertanian[11]. Konsep ini mengintegrasikan berbagai teknologi, seperti sensor, Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan, komputasi awan, dan sistem monitoring digital guna mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat. Melalui penerapannya, proses pemantauan dan pengendalian pada lahan pertanian dapat dilakukan secara otomatis sehingga mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual[12].

Penerapan Smart Farming telah banyak digunakan pada sistem irigasi otomatis, pemantauan kelembaban tanah, pengendalian lingkungan, serta deteksi hama dan penyakit tanaman[13],[14]. Teknologi tersebut terbukti mampu meningkatkan hasil produksi sekaligus mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan biaya operasional. Oleh karena itu, pengembangan orang-orangan sawah pintar berbasis IoT menjadi salah satu implementasi Smart Farming yang berfokus pada pengendalian hama burung pada tanaman padi secara lebih efektif dan efisien.

B. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat elektronik saling terhubung dan bertukar data melalui jaringan internet secara otomatis[15]. Teknologi ini terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu sensor sebagai pengumpul data, mikrokontroler sebagai pengolah data, jaringan komunikasi sebagai media transmisi, serta platform monitoring untuk menampilkan dan mengelola informasi yang diperoleh.

Dalam bidang pertanian, IoT banyak dimanfaatkan untuk memantau kondisi lahan dan tanaman secara real-time[16],[17]. Data dari sensor dapat dikirim langsung ke server atau perangkat pengguna sehingga proses pengawasan dan pengendalian dapat dilakukan dari jarak jauh. Kemampuan IoT dalam menyediakan informasi secara cepat dan akurat menjadikannya teknologi penting dalam mendukung otomatisasi pertanian modern.

Pada penelitian ini, IoT digunakan untuk menghubungkan orang-orangan sawah pintar dengan sistem monitoring berbasis internet, sehingga petani dapat memantau aktivitas di area persawahan secara real-time tanpa harus berada langsung di lokasi.

C. Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems dan banyak digunakan pada berbagai aplikasi Internet of Things (IoT). Perangkat ini memiliki keunggulan berupa fitur Wi-Fi dan Bluetooth yang telah terintegrasi dalam satu modul, serta kemampuan pemrosesan yang lebih baik dibandingkan beberapa mikrokontroler sebelumnya[18],[19], seperti Arduino Uno dan NodeMCU ESP8266.

Dukungan terhadap berbagai sensor dan aktuator menjadikan ESP32 cocok digunakan pada sistem monitoring dan otomatisasi[16]. Selain itu, konsumsi dayanya yang relatif rendah memungkinkan penerapannya pada lingkungan pertanian. Dalam penelitian ini, ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama yang menerima dan mengolah data sensor, mengontrol aktuator, serta mengirimkan data pemantauan ke platform IoT untuk monitoring secara real-time.

D. Sensor Passive Infrared (PIR)

Sensor Passive Infrared (PIR) merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi perubahan radiasi inframerah dari objek di sekitarnya[20]. Sensor ini banyak diterapkan pada sistem keamanan, deteksi gerakan, dan otomasi karena memiliki konsumsi daya yang rendah serta kemampuan deteksi yang cukup baik[21], [22].

Prinsip kerja sensor PIR didasarkan pada perubahan energi inframerah yang diterima oleh elemen sensor. Ketika objek bergerak dalam area deteksi, sensor akan menghasilkan sinyal yang selanjutnya diproses oleh mikrokontroler untuk menjalankan respons tertentu. Pada penelitian ini, sensor PIR digunakan untuk mendeteksi pergerakan burung di area persawahan sebagai pemicu aktivasi sistem pengusiran secara otomatis.

E. Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur jarak objek dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik[23],[24]. Sensor ini terdiri dari transmitter yang berfungsi mengirimkan gelombang dan receiver yang menerima pantulan gelombang dari objek.

Pengukuran jarak dilakukan berdasarkan waktu tempuh gelombang ultrasonik dari sensor menuju objek dan kembali ke sensor. Sensor HC-SR04 memiliki rentang deteksi sekitar 2 cm hingga 400 cm dengan tingkat akurasi yang cukup baik[25],[26]. Dalam penelitian ini, sensor ultrasonik digunakan sebagai sensor pendukung untuk memverifikasi objek yang telah terdeteksi oleh sensor PIR, sehingga akurasi sistem dalam mendeteksi hama burung dapat ditingkatkan.

F. Orang-Orangan Sawah Pintar

Orang-orangan sawah pintar merupakan pengembangan dari orang-orangan sawah konvensional yang mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, aktuator, dan sistem komunikasi data[27]. Berbeda dengan versi tradisional yang bersifat pasif, sistem ini mampu mendeteksi keberadaan hama dan memberikan respons secara otomatis berdasarkan data dari sensor[28],[29].

Berbagai metode pengusiran yang digunakan meliputi suara predator, gerakan mekanis, lampu berkedip, dan gelombang ultrasonik[30], [31], [32]. Kombinasi beberapa metode dinilai lebih efektif karena dapat mengurangi kemampuan burung untuk beradaptasi terhadap sistem pengusiran.

Dalam penelitian ini, orang-orangan sawah pintar dirancang dengan menggabungkan gerakan mekanis dari motor servo dan suara predator yang diputar melalui speaker. Kedua mekanisme tersebut aktif secara otomatis saat sistem mendeteksi keberadaan burung pada area pemantauan, sehingga proses pengusiran dapat dilakukan dengan lebih efektif.

G. Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian tentang sistem pengendalian hama burung telah dilakukan dengan memanfaatkan teknologi yang berbeda. Salah satu penelitian mengembangkan alat pengusir burung berbasis sensor gerak dan buzzer yang mampu bekerja secara otomatis[33], namun belum dilengkapi fitur monitoring jarak jauh. Penelitian lainnya menggunakan sensor ultrasonik dan mikrokontroler Arduino untuk mendeteksi keberadaan burung, tetapi masih mengandalkan satu metode pengusiran sehingga efektivitasnya terbatas.

Selain itu, beberapa penelitian telah menerapkan teknologi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan pertanian secara real-time. Namun, fokusnya lebih banyak pada sistem irigasi dan monitoring lingkungan dibandingkan pengendalian hama burung[34],[35], [36].

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, masih terdapat peluang pengembangan melalui integrasi teknologi IoT, penggunaan multi-sensor untuk meningkatkan akurasi deteksi, serta penerapan lebih dari satu metode pengusiran. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan orang-orangan sawah pintar berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor PIR, sensor ultrasonik, motor servo, dan modul suara untuk meningkatkan efektivitas deteksi dan pengendalian hama burung pada tanaman padi.

III. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan perancangan dan implementasi prototipe[37]. Tujuannya adalah mengembangkan sistem orang-orangan sawah pintar berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu mendeteksi hama burung secara otomatis serta melakukan pengusiran melalui gerakan mekanis dan suara predator[38],[39].

Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, analisis kebutuhan sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi prototipe, serta pengujian kinerja sistem. Seluruh tahapan dilakukan secara sistematis untuk memastikan sistem dapat berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian.

Identifikasi masalah dilakukan melalui observasi terhadap metode pengusiran burung yang digunakan petani. Selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan untuk menentukan komponen dan fungsi sistem yang diperlukan. Setelah tahap perancangan dan implementasi selesai, prototipe diuji berdasarkan parameter yang telah ditetapkan untuk mengevaluasi kinerja dan efektivitas sistem dalam mendeteksi serta mengusir hama burung.

B. Analisis Kebutuhan Sistem

Berdasarkan analisis permasalahan yang telah dilakukan, sistem yang dikembangkan harus memenuhi tiga fungsi utama, yaitu mendeteksi keberadaan burung secara otomatis, mengaktifkan mekanisme pengusiran tanpa intervensi pengguna, serta menyediakan fasilitas monitoring berbasis jarak jauh.

Kebutuhan perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas:

TABEL 1
KOMPONEN DAN FUNGSI SISTEM

Komponen	Fungsi
ESP32	Mikrokontroler dan pusat pengendali sistem
Sensor PIR	Mendeteksi pergerakan objek
Sensor Ultrasonik HC-SR04	Mengukur jarak objek yang terdeteksi
Motor Servo MG996R	Menggerakkan tangan orang-orangan sawah
DFPlayer Mini	Memutar file audio pengusir burung
Speaker	Menghasilkan suara predator
Modul WiFi ESP32	Mengirim data ke platform IoT
Catu Daya	Menyediakan sumber energi sistem

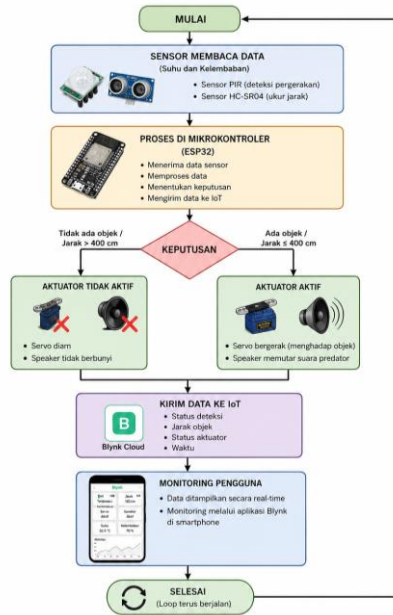
Sedangkan kebutuhan perangkat lunak meliputi Arduino IDE sebagai media pemrograman mikrokontroler serta platform IoT berbasis Blynk untuk monitoring sistem secara real-time.

C. Perancangan Sistem

Sistem orang-orangan sawah pintar dirancang dengan konsep Internet of Things (IoT) yang memungkinkan pertukaran data antara perangkat dan pengguna melalui jaringan internet. Konsep ini mendukung proses pemantauan dan pengendalian sistem secara jarak jauh.

Sistem bekerja ketika sensor PIR mendeteksi adanya pergerakan pada area pemantauan. Untuk meningkatkan akurasi, sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur jarak objek yang terdeteksi. Jika objek berada dalam rentang yang telah ditentukan, ESP32 akan mengaktifkan motor servo untuk menghasilkan gerakan mekanis pada orang-orangan sawah serta memutar suara predator melalui DFPlayer Mini dan speaker sebagai mekanisme pengusiran.

Seluruh aktivitas sistem kemudian dikirimkan ke platform IoT melalui koneksi internet. Data tersebut dapat diakses melalui smartphone sehingga pengguna dapat memantau kondisi lahan dan aktivitas sistem secara real-time tanpa harus berada langsung di lokasi.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Orang-orangan sawah Berbasis IoT

D. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras sistem terdiri atas satu unit mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data. Sensor PIR dan sensor ultrasonik berperan sebagai perangkat input untuk mendeteksi keberadaan objek pada area persawahan. Output sistem terdiri atas motor servo yang digunakan untuk menghasilkan gerakan tangan orang-orangan sawah serta speaker yang memutar suara predator.

Hubungan antar komponen dapat dijelaskan sebagai berikut:

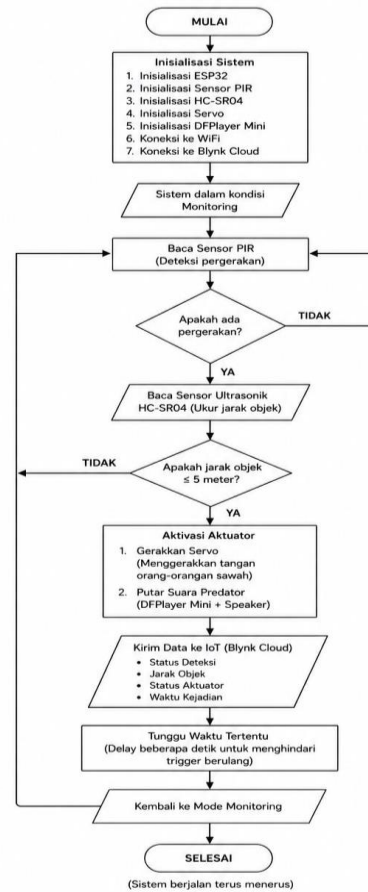
1. Sensor PIR mengirimkan sinyal deteksi gerakan ke ESP32.
2. Sensor HC-SR04 mengirimkan data jarak objek ke ESP32.
3. ESP32 memproses data dari kedua sensor.
4. Servo bergerak apabila objek memenuhi kriteria deteksi.
5. DFPlayer Mini memutar suara predator melalui speaker.
6. ESP32 mengirimkan status sistem ke aplikasi monitoring melalui jaringan internet.

E. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C++ pada Arduino IDE. Algoritma sistem dirancang untuk melakukan pembacaan sensor secara terus-menerus dan mengeksekusi tindakan pengusiran ketika objek terdeteksi.

Alur kerja sistem adalah sebagai berikut:

1. Sistem dinyalakan.
2. ESP32 melakukan inisialisasi sensor dan koneksi internet.
3. Sensor PIR mendeteksi adanya pergerakan.
4. Sensor HC-SR04 mengukur jarak objek.
5. Jika objek berada dalam area deteksi, sistem mengaktifkan servo dan speaker.
6. Data aktivitas dikirimkan ke platform IoT.
7. Sistem kembali ke mode pemantauan.



Gambar 2. Flowchart Sistem

F. Skenario Pengujian

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode simulasi prototipe yang dirancang untuk mendekati kondisi sebenarnya pada area persawahan. Dalam proses pengujian, objek simulasi digunakan sebagai representasi keberadaan burung yang memasuki area tanaman padi sehingga kinerja sistem dapat dievaluasi dalam skenario yang menyerupai kondisi lapangan.

Setiap parameter pengujian diuji sebanyak lima kali dengan kondisi lingkungan yang dibuat tetap untuk menjaga konsistensi hasil pengujian. Parameter yang dievaluasi meliputi kemampuan sensor dalam mendeteksi objek, waktu respons sistem terhadap hasil deteksi, keberhasilan pengiriman data melalui teknologi IoT, serta efektivitas mekanisme pengusiran yang diterapkan pada orang-orangan sawah pintar.

G. Parameter Pengujian

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Akurasi deteksi sensor PIR.
2. Akurasi pengukuran jarak sensor HC-SR04.
3. Waktu respons sistem sejak objek terdeteksi hingga aktuator aktif.
4. Keberhasilan pengiriman data ke platform IoT.
5. Efektivitas sistem dalam mengurangi aktivitas burung pada area pengamatan.

Akurasi sensor dihitung menggunakan persamaan: $Akurasi(\%) = \frac{\text{Jumlah Deteksi Benar}}{\text{Jumlah Pengujian}} \times 100\%$

Sedangkan efektivitas pengusiran dihitung menggunakan persamaan: $Efektivitas(\%) = \frac{(\text{Jumlah Burung Sebelum Pengusiran} - \text{Jumlah Burung Setelah Pengusiran})}{\text{Jumlah Burung Sebelum Pengusiran}} \times 100\%$

Hasil pengujian dari parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi kinerja orang-orangan sawah pintar berbasis Internet of Things yang dikembangkan dalam penelitian ini.

IV. HASIL

A. Implementasi Prototipe

Tahap implementasi dilaksanakan setelah proses perancangan perangkat keras dan perangkat lunak selesai dilakukan. Sistem orang-orangan sawah pintar dibangun dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pengendali utama yang terintegrasi dengan sensor Passive Infrared (PIR)[40],[41], sensor ultrasonik HC-SR04, motor servo MG996R, modul DFPlayer Mini, speaker, serta platform Internet of Things berbasis Blynk Cloud.

Pada tahap penerapan sistem, sensor PIR ditempatkan pada bagian depan orang-orangan sawah untuk mendeteksi adanya pergerakan objek di area pemantauan. Sementara itu, sensor ultrasonik HC-SR04 dipasang berdekatan dengan sensor PIR dan berfungsi untuk mengukur jarak objek yang terdeteksi. Data yang diperoleh dari kedua sensor tersebut kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan apakah objek berada dalam jangkauan pengawasan yang telah ditetapkan oleh sistem.

Ketika objek terdeteksi berada pada rentang jarak tertentu, ESP32 akan mengirimkan perintah kepada motor servo untuk menggerakkan tangan orang-orangan sawah secara otomatis. Secara bersamaan, modul DFPlayer Mini akan memutar suara predator melalui speaker sebagai upaya pengusiran hama burung. Seluruh aktivitas yang terjadi pada sistem selanjutnya dikirimkan ke platform Blynk Cloud melalui koneksi WiFi sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi sistem secara real-time melalui perangkat smartphone.



Gambar 3. Implementasi Prototipe

TABEL 2
PENJELASAN PROTOTYPE

NO	Komponen	Fungsi
1	Sensor PIR	Mendeteksi pergerakan objek
2	Box Kontrol	Menempatkan rangkaian elektronik sistem
3	Sensor HC-SR04	Mengukur jarak objek
4	Motor Servo MG996R	Menggerakkan tangan orang-orangan sawah
5	Speaker	Menghasilkan suara predator
6	Panel Surya	Sumber energi listrik
7	Baterai 12V 7Ah	Menyimpan energi untuk operasional sistem
8	Tiang Penyangga	Menopang seluruh komponen sistem

B. Pengujian Sensor PIR

Pengujian sensor Passive Infrared (PIR) dilakukan untuk mengevaluasi kemampuannya dalam mendeteksi pergerakan objek yang mensimulasikan aktivitas burung di area persawahan. Pengujian dilakukan pada variasi jarak 1 hingga 5 meter, dengan masing-masing jarak diuji sebanyak 20 kali untuk memperoleh hasil yang lebih representatif.

Pada setiap percobaan, objek simulasi digerakkan melintasi area deteksi sensor dengan kecepatan yang relatif konstan. Sensor dianggap berhasil apabila mampu menghasilkan sinyal yang diteruskan ke ESP32 dan digunakan untuk mengaktifkan mekanisme pengusiran pada sistem orang-orangan sawah pintar.

TABEL 3
HASIL PENGUJIAN SENSOR PIR

Jarak (m)	Jumlah Pengujian	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Akurasi (%)
1	20	20	0	100
2	20	19	1	95
3	20	18	2	90
4	20	18	2	90
5	20	17	3	85
Rata-rata	100	92	8	92,0

Hasil pengujian sensor PIR ditunjukkan pada Tabel 3 dengan rata-rata akurasi deteksi sebesar 92,0%.

C. Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

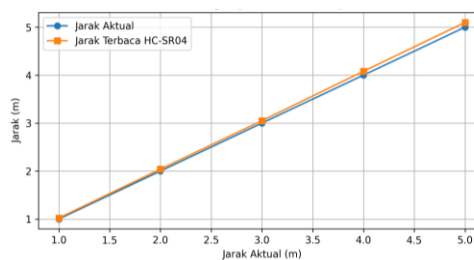
Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor dalam mengukur jarak objek pada area pemantauan. Proses pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap jarak sebenarnya yang diukur menggunakan meteran.

Pengujian dilaksanakan pada lima variasi jarak, yaitu 1 meter, 2 meter, 3 meter, 4 meter, dan 5 meter. Untuk meningkatkan keandalan hasil pengujian, setiap variasi jarak dilakukan sebanyak lima kali pengukuran, kemudian dihitung nilai rata-ratanya sebagai dasar analisis kinerja sensor.

TABEL 4
HASIL PENGUJIAN SENSOR ULTRASONIK HC-SR04

Jarak Aktual (m)	Jarak Terbaca (m)	Selisih (m)	Error (%)
1,00	1,02	0,02	2,00
2,00	2,04	0,04	2,00
3,00	3,05	0,05	1,67
4,00	4,08	0,08	2,00
5,00	5,10	0,10	2,00
Rata-rata	3,06	0,058	1,93

Hasil pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 ditunjukkan pada Tabel 4. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh rata-rata error sebesar 1,93% dengan tingkat akurasi sebesar 98,07%.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Jarak Aktual dan Jarak Terbaca Sensor HC-SR04

D. Pengujian Waktu Respons Sistem

Pengujian waktu respons dilakukan untuk mengetahui kecepatan sistem dalam merespons keberadaan objek yang terdeteksi oleh sensor hingga aktuator pengusir burung aktif. Waktu respons dihitung mulai dari saat sensor PIR mendeteksi pergerakan dan sensor HC-SR04 memvalidasi keberadaan objek hingga motor servo bergerak dan speaker memutar suara predator. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali percobaan pada kondisi jaringan dan lingkungan yang relatif sama.

TABEL 5
HASIL PENGUJIAN WAKTU RESPONS SISTEM

Pengujian	Waktu Respons (detik)
1	1,21
2	1,30
3	1,42
4	1,35
5	1,31
Rata-rata	1,32

Hasil pengujian menunjukkan rata-rata waktu respons sistem sebesar 1,32 detik.

E. Pengujian Komunikasi Internet of Things (IoT)

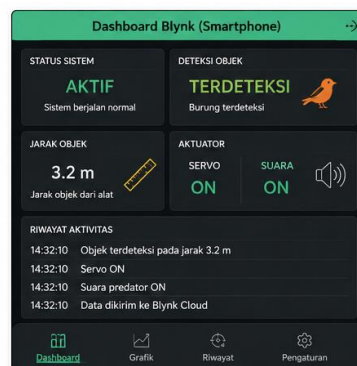
Pengujian komunikasi Internet of Things (IoT) dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengirimkan data aktivitas dari mikrokontroler ESP32 ke platform monitoring berbasis Blynk Cloud. Data yang dikirim meliputi status deteksi sensor, jarak objek yang terukur, serta status aktuator yang aktif selama proses pengusiran burung berlangsung.

Pengujian dilakukan sebanyak 50 kali percobaan pengiriman data dengan interval waktu yang sama. Setiap data yang berhasil diterima dan ditampilkan pada aplikasi Blynk dicatat sebagai pengiriman berhasil, sedangkan data yang tidak muncul pada dashboard dicatat sebagai pengiriman gagal.

TABEL 6
HASIL PENGUJIAN KOMUNIKASI IOT

Parameter	Nilai
Jumlah Pengiriman Data	50
Data Berhasil Dikirim	49
Data Gagal Dikirim	1
Tingkat Keberhasilan	98,0 %
Tingkat Kegagalan	2,0 %

Hasil pengujian komunikasi IoT menunjukkan tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 98,0%.



Gambar 5. Tampilan Dashboard Blynk

F. Pengujian Efektivitas Pengusiran Burung

Pengujian efektivitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan orang-orangan sawah pintar dalam mengurangi aktivitas hama burung pada area persawahan. Pengujian dilakukan melalui simulasi prototipe dengan mengamati jumlah objek yang merepresentasikan burung sebelum dan sesudah sistem pengusiran diaktifkan.

Setiap sesi pengamatan dilakukan selama periode yang sama dengan kondisi lingkungan yang dikendalikan. Ketika objek memasuki area deteksi, sistem secara otomatis mengaktifkan motor servo dan memutar suara predator melalui speaker. Jumlah objek yang masih berada pada area pengamatan setelah sistem aktif kemudian dicatat untuk menghitung tingkat efektivitas pengusiran.

TABEL 7
HASIL PENGUJIAN EFEKTIVITAS PENGUSIRAN BURUNG

Sesi Pengamatan	Jumlah Burung Sebelum Pengusiran	Jumlah Burung Setelah Pengusiran	Efektivitas (%)
1	18	3	83,33
2	21	4	80,95
3	17	2	88,24
4	20	4	80,00
5	19	3	84,21
Rata-rata	19	3,2	83,35

Hasil pengujian efektivitas pengusiran burung menunjukkan rata-rata efektivitas sebesar 83,35%.

V. PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan orang-orangan sawah pintar berbasis Internet of Things (IoT) sebagai solusi dalam mengendalikan hama burung pada tanaman padi. Berdasarkan hasil pengujian, sistem yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi utamanya dengan baik, yaitu mendeteksi keberadaan objek, mengaktifkan mekanisme pengusiran secara otomatis, serta mengirimkan informasi kondisi sistem kepada pengguna melalui platform monitoring berbasis internet.

Penerapan sensor PIR dan sensor ultrasonik HC-SR04 terbukti meningkatkan keandalan sistem dalam proses deteksi objek[42],[43]. Sensor PIR berfungsi sebagai pendeteksi awal terhadap adanya pergerakan di area pengamatan, sedangkan sensor HC-SR04 digunakan untuk memverifikasi jarak objek yang terdeteksi. Kombinasi kedua sensor tersebut memungkinkan sistem melakukan validasi data sebelum mengaktifkan aktuator, sehingga dapat mengurangi kemungkinan kesalahan deteksi akibat gangguan lingkungan atau pergerakan objek yang tidak relevan. Pendekatan multi-sensor ini juga membuat proses pengambilan keputusan menjadi lebih akurat dibandingkan penggunaan satu sensor saja[44],[45].

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi sensor PIR dan HC-SR04 mampu meningkatkan keandalan proses deteksi objek sebelum mekanisme pengusiran diaktifkan[26]. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penggunaan lebih dari satu sensor dapat meningkatkan akurasi sistem dibandingkan penggunaan sensor tunggal[46],[44]. Selain itu, penerapan mekanisme pengusiran ganda berupa gerakan mekanis dan suara predator memberikan pendekatan yang lebih adaptif dibandingkan sistem pengusiran konvensional yang hanya mengandalkan satu jenis rangsangan.

Dari aspek kinerja, sistem menunjukkan kemampuan respons yang cukup baik dalam menindaklanjuti hasil deteksi. Integrasi antara sensor, mikrokontroler ESP32, motor servo, dan modul DFPlayer Mini mampu bekerja secara terkoordinasi sehingga proses pengusiran dapat dilakukan dalam waktu yang relatif singkat. ESP32 banyak digunakan pada aplikasi Internet of Things karena memiliki kemampuan pemrosesan dan komunikasi yang mendukung sistem real-time[46],[47]. Kemampuan ini sangat penting dalam aplikasi pengendalian hama burung karena respons yang cepat dapat mengurangi peluang burung untuk mendekati dan merusak tanaman padi. Dengan demikian, sistem memiliki potensi untuk diterapkan pada lingkungan pertanian yang membutuhkan proses deteksi dan tindakan secara real-time.

Implementasi teknologi IoT juga menjadi salah satu keunggulan utama sistem yang dikembangkan[48]. Berbeda dengan orang-orangan sawah konvensional yang hanya berfungsi sebagai alat pengusir pasif, sistem ini mampu menyediakan fitur monitoring jarak jauh melalui platform Blynk. Informasi mengenai aktivitas sistem dapat diakses melalui smartphone sehingga pengguna dapat melakukan pengawasan tanpa harus berada langsung di area persawahan. Fitur tersebut sejalan dengan konsep Smart Farming yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan lahan pertanian. Konsep Smart Farming memanfaatkan integrasi sensor, jaringan komunikasi, dan sistem monitoring untuk meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan[49],[50]. Pendekatan ini juga sejalan dengan konsep Agriculture 4.0 yang menekankan otomatisasi dan pemanfaatan data dalam pengelolaan pertanian modern[51],[52].

Hasil pengujian efektivitas menunjukkan bahwa kombinasi gerakan mekanis dan suara predator mampu mengurangi aktivitas burung pada area pengamatan. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan dua metode pengusiran secara bersamaan lebih efektif dibandingkan metode konvensional yang hanya mengandalkan bentuk visual statis. Gerakan yang dihasilkan oleh motor servo memberikan rangsangan visual yang menarik perhatian burung, sedangkan suara predator memberikan rangsangan auditori yang mendorong burung untuk menjauhi area tersebut. Sinergi kedua metode tersebut menghasilkan mekanisme pengusiran yang lebih aktif, dinamis, dan sulit diadaptasi oleh burung.

Meskipun menunjukkan hasil yang baik, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian dilakukan pada skala prototipe dengan skenario simulasi sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi persawahan yang sebenarnya. Faktor-faktor seperti cuaca, intensitas cahaya, kecepatan angin, kestabilan jaringan internet, serta perbedaan karakteristik jenis burung dapat memengaruhi kinerja sistem ketika diterapkan di lapangan. Selain itu, sistem masih mengandalkan sensor gerak sebagai metode deteksi utama sehingga belum mampu mengidentifikasi jenis objek secara spesifik.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada pengujian sistem di lahan persawahan yang sesungguhnya dengan jangka waktu pengamatan yang lebih panjang. Pengembangan sistem juga dapat dilakukan melalui integrasi teknologi computer vision dan Artificial Intelligence (AI) untuk meningkatkan kemampuan identifikasi objek secara lebih akurat. Pemanfaatan AI pada sistem Smart Farming telah banyak dikembangkan untuk mendukung proses identifikasi objek dan pengambilan keputusan secara otomatis[53]. Selain itu, pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi utama dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kemandirian sistem, terutama pada area pertanian yang memiliki keterbatasan akses terhadap sumber listrik konvensional.

VI. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan orang-orangan sawah pintar berbasis Internet of Things (IoT) untuk pengendalian hama burung pada tanaman padi. Sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor Passive Infrared (PIR), sensor ultrasonik HC-SR04, motor servo, modul DFPlayer Mini, dan platform monitoring Blynk sehingga mampu melakukan deteksi, pengusiran, dan pemantauan secara otomatis.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PIR memiliki akurasi deteksi rata-rata sebesar 92,0%, sedangkan sensor HC-SR04 memiliki akurasi pengukuran sebesar 98,07%. Sistem mampu memberikan waktu respons rata-rata 1,32 detik serta tingkat keberhasilan pengiriman data ke platform IoT sebesar 98,0%. Selain itu, sistem berhasil mengurangi aktivitas burung pada area pengamatan dengan tingkat efektivitas rata-rata sebesar 83,35%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi multi-sensor, mekanisme pengusiran ganda, dan teknologi IoT mampu meningkatkan efektivitas pengendalian hama burung dibandingkan metode orang-orangan sawah konvensional.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena pengujian dilakukan pada skala prototipe dan lingkungan simulasi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu dilakukan pada kondisi persawahan yang sebenarnya dengan cakupan area yang lebih luas. Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan melalui integrasi teknologi Artificial Intelligence (AI), computer vision, serta pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti panel surya untuk meningkatkan akurasi, efektivitas, dan kemandirian sistem.

Kontribusi Penulis: *[Maktsuful Ghummah]*: berkontribusi dalam pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak sistem, implementasi prototipe, pelaksanaan eksperimen, pengumpulan dan pengolahan data, analisis hasil pengujian, serta penyusunan naskah awal. *[Moh Amrullah]*: berkontribusi dalam konseptualisasi penelitian, penyusunan metodologi, perancangan sistem, validasi hasil penelitian, supervisi, penulisan naskah, serta proses revisi dan penyuntingan artikel secara keseluruhan.

Seluruh penulis telah membaca, meninjau, dan menyetujui versi akhir naskah yang diterbitkan.

Ucapan Terima Kasih: Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan masukan selama proses perancangan, implementasi, dan pengujian sistem orang-orangan sawah pintar berbasis Internet of Things ini.

Konflik Kepentingan: Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini.

REFERENCES

- [1] D. Hidayatullah and S. Sulistiyanto, "Perancang Alat Pengusir Hama Burung Pipit Pada Tanaman Padi Menggunakan Gelombang Kejut Otomatis Berbasis Internet of Things (IoT)," 2022, *risbang.unuja.ac.id*. doi: 10.33650/jeecom.v4i2.4464.
- [2] K. Bude, K. Jago Tute, and B. Yoseph Bhae, "Sistem Informasi Monitoring Hama (Burung Pipit) Pada Area Sawah Berbasis IoT (Internet Of Things) (Studi Kasus Desa Nangadhero)," *Simkom*, vol. 9, no. 2, pp. 114–123, 2024, doi: 10.51717/simkom.v9i2.277.
- [3] Muhammad Sulton Bana, Diana Rahmawati, Koko Joni, and Miftachul Ulum, "Rancang Bangun Alat Pengusir Tikus dan Burung pada Tanaman Padi," 2021, *eltrik.hangtuah.ac.id*. doi: 10.30649/j-eltrik.v2i1.53.
- [4] E. Ernawati *et al.*, "Inovasi Pertanian: Scarecrow Pintar Berbasis Esp32 Untuk Mengusir Hama Secara Otomatis Di Desa Tegal Waru Kecamatan Ciampea," *SAHID MENGABDI J. Pengabd. Masy. Inst. Agama Islam Sahid Bogor*, vol. 3, no. 02, pp. 57–66, 2024, doi: 10.56406/jsm.v3i02.616.
- [5] A. Fitri, I. Ikhsan, and E. Rosman, "Pengusir Burung Otomatis di Sawah Berbasis Internet Of Things dan Bot Telegram," *J. Pustaka Robot Sister (Jurnal Pus. Akses Kaji. Robot. Sist. Tertanam, dan Sist. Terdistribusi)*, vol. 3, no. 1, pp. 22–27, 2025, doi: 10.55382/jurnalpustakarobotsister.v3i1.881.
- [6] I. Sufaat and J. Juliandri, "IOT Rancang Bangun Alat Pengusir Hama Burung pada Padi Sawah Petani Berbasis Internet of Things (IoT)," 2024. doi: 10.47065/josyc.v5i2.4921.
- [7] E. Navarro, N. Costa, and A. Pereira, "A systematic review of iot solutions for smart farming," 2020, *mdpi.com*. doi: 10.3390/s20154231.
- [8] A. Roihan, H. D. Ariessanti, and S. R. Pratama, "Perancangan Wereless Sensor Actuator Networks Sebagai Optimasi Panen Padi Di Bidang Pertanian Berbasis Computer Vision," 2020, *academia.edu*. doi: 10.33050/icit.v6i2.866.
- [9] R. Jalaludin and D. Laksmiati, "Perancangan Sistem Kendali Irigasi Otomatis dan Pengusir Hama Burung Dengan Menggunakan Sensor PIR," *J. Ilm. Telsinas Elektro, Sipil dan Tek. Inf.*, vol. 6, no. 2, pp. 122–134, 2023, doi: 10.38043/telsinas.v6i2.4565.
- [10] M. Z. Herida, M. Idkham, and M. Mustaqimah, "Perancangan Perangkat Keras Alat Pengusir Hama Burung Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino Uno," 2022. doi: 10.17969/jimfp.v7i4.22358.
- [11] E. Said Mohamed, A. A. Belal, S. Kotb Abd-Elmabod, M. A. El-Shirbeny, A. Gad, and M. B. Zahran, "Smart farming for improving agricultural management," 2021, *Elsevier*. doi: 10.1016/j.ejrs.2021.08.007.
- [12] E. M. B. M. Karunathilake, A. T. Le, S. Heo, Y. S. Chung, and S. Mansoor, "The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture," 2023, *mdpi.com*. doi: 10.3390/agriculture13081593.
- [13] M. Dhanaraju, P. Chenniappan, K. Ramalingam, S. Pazhanivelan, and R. Kaliaperumal, "Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture," 2022, *mdpi.com*. doi: 10.3390/agriculture12101745.
- [14] A. Castrignanò, R. Khosla, D. Moshou, G. Buttafuoco, A. M. Mouazen, and O. Naud, *Agricultural internet of things and decision support for precision smart farming*. books.google.com, 2020. doi: 10.1016/c2018-0-00051-1.
- [15] A. Suja'i, L. D. Samsumar, and Z. Zaenudin, "Implementasi Alat Pengusir Hama Burung & Tikus pada Tanamaan Padi Berbasis Internet Of Things," *J. Comput. Sci. Informatics Eng.*, vol. 3, no. 4, pp. 211–219, 2024, doi: 10.55537/cosie.v3i4.919.
- [16] K. Okokpujie, I. P. Okokpujie, F. T. Young, and R. E. Subair, "Development of an Affordable Real-Time IoT-Based Surveillance System Using ESP32 and TWILIO API," 2023, *researchgate.net*. doi: 10.18280/ijssse.130609.
- [17] A. Dahane, R. Benameur, B. Kechar, and A. Benyamina, "An IoT based smart farming system using machine learning," *2020 Int. Symp. Networks, Comput. Commun. ISNCC 2020*, 2020, doi: 10.1109/ISNCC49221.2020.9297341.
- [18] N. Cameron, "ESP32 Microcontroller," ... *Appl. Commun. Protoc. with ESP32* ..., pp. 1–54, 2023, doi: 10.1007/978-1-4842-9376-8_1.
- [19] G. P. Pereira, M. Z. Chaari, and F. Daroge, "IoT-Enabled Smart Drip Irrigation System Using ESP32," 2023, *mdpi.com*. doi: 10.3390/iot4030012.
- [20] Mohamad Dimas Artha, "Rancang Bangun Alat Pengusir Hama Otomatis Pada," 2021, *Politeknik Harapan Bersama Tegal*.
- [21] O. Frastiya, I. Roza, and A. Almi Nst, "Alat Pengusir Hama Burung Otomatis Berbasis Arduino (Atmega328) Menggunakan Sensor PIR (Passive Infra Red)," 2025, *repository.harapan.ac.id*. [Online]. Available: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce>
- [22] L. H. Santoso, R. Fitri, and D. Suntoso, "Alat Pengusir Hama Burung Berbasis Arduino Uno Menggunakan Panel Surya di Desa Tambakdahan Kabupaten Subang," *J. Infotex*, vol. 3, no. 1, pp. 2964–5352, 2024, [Online]. Available:

- <https://ojs.stttexmaco.ac.id/index.php/infotex/article/view/109>
- [23] A. T. A. Andi taufig, A. Latief Arda2, and I. Taufiq, "Alat Pengusir Burung Pada Tanaman Padi Berbasis IoT," *J. Ilm. Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 2, pp. 101–107, 2022, doi: 10.35329/jiik.v8i2.234.
- [24] Ma. Fahril *et al.*, "Teknologi Kamera Cerdas Mengikuti Objek Secara Otomatis dengan Sensor Ultrasonik HC-SR04," *GRAVITASI J. Pendidik. Fis. dan Sains*, vol. 8, no. 01, pp. 91–99, 2025, [Online]. Available: <https://ejurnalunsam.id/index.php/JPFS/article/view/12802>
- [25] R. F. Waliulu, A. Hendriawan, A. Pramono, and S. Supardi, "Prototype Deteksi Objek Menggunakan Raspberry Pi Melalui Modul Sensor Ultrasonik Hc-Sr04," *JPB J. Patria Bahari*, vol. 1, no. 2, pp. 53–57, 2021, doi: 10.54017/jpb.v1i2.22.
- [26] *et al.*, "Accuracy Analysis of Distance Measurement Using Sonar Ultrasonic Sensor Hc-Sr04 on Several Types of Materials," *J. Enviromental Eng. Sustain. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 10–13, 2024, doi: 10.21776/ub.jeest.2024.011.01.2.
- [27] A. F. Isma, M. JT Siagian, and M. A. Muthalib, "Prototipe Teknologi Tepat Guna Bertenaga Cahaya Matahari Pengusir Hama Burung Berbasis Smartphone dan Arduino Uno," 2023, *academia.edu*. [Online]. Available: <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/ELKOM/article/view/9192>
- [28] A. Rahim and M. Adiwena, *Ilmu Perlindungan Tanaman*. books.google.com, 2021. [Online]. Available: https://books.google.com/books?hl=en%5C&lr=%5C&id=lv2gEAAAQBAJ%5C&oi=fnd%5C&pg=PP1%5C&dq=hama+burung+merusak+jagung%5C&ots=4LYjl-U53v%5C&sig=tNwkK7ySLeYEBfXtZTvQLmRyu_E
- [29] I. Rengganis, *Desain Alat Pengusir Tikus Sawah Yang Menghasilkan Bunyi Secara Mekanis Dengan Penggerak Turbin Air*. digilib.unila.ac.id, 2023. [Online]. Available: <https://digilib.unila.ac.id/71654/>
- [30] A. L. Oktivira and N. Kholis, "Prototype Sistem Pengusir Hama Burung Dengan Catu Daya Hybrid Berbasis IOT," *J. Tek. Elektro*, vol. 09, no. 01, pp. 735–741, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/29890>
- [31] J. T. Pertanian *et al.*, "Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik HC-SR04 dalam Mengukur Jarak Suatu Benda: Accuration Testing of the HC-SR04 Ultrasonic Sensor in Measuring the Distance of an Object," *Nac. (National Conf. Innov. Agric.*, pp. 175–180, 2024, [Online]. Available: <https://ocs.polije.ac.id/index.php/pnacia/article/view/236>
- [32] F. Arifuddin and Y. Rafsyam, "Implementasi Sensor Ultrasonik HC-SR04 dengan Arduino dan LabVIEW untuk Pengukuran Level Air," *Spektral*, vol. 6, no. 1, pp. 298–302, 2025, doi: 10.32722/spektral.v6i1.7521.
- [33] H. Maulana, "Sistem Pengusiran Hama Tikus Pada Tanaman Padi Menggunakan Sensor Gerak.," *J. Ilm. Mhs.*, vol. 3, no. 1, pp. 55–70, 2025, doi: 10.22373/rwm1nd56.
- [34] A. M. Alif, L. N. N. A. M. Solehah, P. Susanti, N. Oktavia, and M. F. Shiddiq, "Pengaruh Media Tanam Sistem Irigasi Dalam Meningkatkan Produktivitas Hasil Pertanian Tanaman Padi Dengan Metode Jajar Legowo Di Desa Mawar Mekar," 2023.
- [35] W. Sihotang, *Rancang Bangun Prototipe Sistem Pengairan Sawah Berbasis Iot*. repositori.uma.ac.id, 2024. [Online]. Available: <https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/23749>
- [36] V. N. Sulistyawan, N. A. Salim, F. G. Abas, and N. Aulia, "Parking Tracking System Using Ultrasonic Sensor HC-SR04 and NODEMCU ESP8266 Based IoT," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1203, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1203/1/012028.
- [37] R. Hamdani, S. Ramadhan, and Syufrijal, "Prototipe Pengusir Hama Burung Berbasis Internet of Things," *Autocracy J. Otomasi, Kendali, dan Apl. Ind.*, vol. 7, no. 2, pp. 80–86, 2021, doi: 10.21009/autocracy.072.6.
- [38] A. Khumaidi and N. Hikmah, "Rancang Bangun Prototipe Pengusir Hama Burung Menggunakan Sensor Gerak Rowl Microwave Berbasis Internet of Things," 2021, *academia.edu*. doi: 10.24176/simet.v1i2.5071.
- [39] M. Y. Hardiansyah, "Pengusir Hama Burung Pemakan Padi Otomatis Dalam Menunjang Stabilitas Pangan Nasional," *J. ABDI*, vol. 2, no. 1, pp. 86–87, 2020, [Online]. Available: <http://journal.unhas.ac.id/index.php/kpiunhas/article/view/9089>
- [40] Y. H. Chang, F. C. Wu, and H. W. Lin, "Design and Implementation of ESP32-Based Edge Computing for Object Detection," 2025, *mdpi.com*. doi: 10.3390/s25061656.
- [41] F. S. D. Saputra and M. Nasirudin, "Prototype Alat Pengusir Hama Burung Pipit Otomatis Berbasis Arduino Menggunakan Sensor PIR (Passive Infra Red)," *Exact Pap. Compil.*, vol. 4, no. 2, pp. 545–550, 2022, doi: 10.32764/epic.v4i2.711.
- [42] A. R. Adha, M. A. Musthofa, G. A. A. R. Putra, I. Harjanto, and J. Elektro, "Analisis Kinerja Sensor Ultrasonik Hc-Sr04 Dengan Akurasi Tinggi Dan Error Rendah," *Proceeding Sci. Eng. Natl. Semin.*, vol. 9, no. 1, pp. 115–122, 2024, [Online]. Available: <https://conference.upgris.ac.id/index.php/sens/article/view/6821>
- [43] Moh Avin Annabil, Saffhira Aulia Nurazizah, Zainatul Khasanah, Risqillah Ayu Puspita S, and Moh Avin Annabil, "Analisis Pengukuran Jarak Objek Dengan Sensor Ultrasonik(HC-SR04) untuk Berbagai Bentuk Objek," *J. Electron. Instrum.*, vol. 1, no. 2, pp. 54–61, 2024, doi: 10.19184/jei.v1i2.687.
- [44] S. De Alwis, Z. Hou, Y. Zhang, M. H. Na, B. Ofoghi, and A. Sajjanhar, "A survey on smart farming data, applications and techniques," *Comput. Ind.*, vol. 138, 2022, doi: 10.1016/j.compind.2022.103624.

- [45] Akbar Rizki Priadi, Regita Aulia Safitri, Tyo Bima Pratama, and Ulinnuha Latifa, "Comparison of Accuracy and Precision of Distance Readings on Hc-Sr04, Jsn-Sr04T, and a02Yyuw Ultrasonic Sensors," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 27, no. 1, pp. 19–29, 2025, doi: 10.24912/tesla.v27i1.33372.
- [46] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, and O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," 2023, *mdpi.com*. doi: 10.3390/s23156739.
- [47] P. D. P. Adi and Y. Wahyu, "Performance evaluation of ESP32 Camera Face Recognition for various projects," 2022. doi: 10.31763/iota.v2i1.512.
- [48] M. F. FAUZI, "Perancangan Alat Untuk Pengusiran Hama Burung Menggunakan Arduino UNO," 2024. doi: 10.23960/elc.v18n3.2718.
- [49] G. Idoje, T. Dagiuklas, and M. Iqbal, "Survey for smart farming technologies: Challenges and issues," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 92, 2021, doi: 10.1016/j.compeleceng.2021.107104.
- [50] A. Villa-Henriksen, G. T. C. Edwards, L. A. Pesonen, O. Green, and C. A. G. Sørensen, "Internet of Things in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential," 2020, *Elsevier*. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2019.12.013.
- [51] M. Javaid, A. Haleem, R. P. Singh, and R. Suman, "Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies," 2022, *Elsevier*. doi: 10.1016/j.ijin.2022.09.004.
- [52] A. Holzinger, I. Fister, I. Fister, H. P. Kaul, and S. Asseng, "Human-Centered AI in Smart Farming: Toward Agriculture 5.0," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 62199–62214, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3395532.
- [53] D. Jagli, S. Purohit, T. Agale, and D. Kahar, "Smart Farming Using Artificial Intelligence," *CEUR Workshop Proc.*, vol. 3445, pp. 51–58, 2022, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197623000830>

Publisher's Note: Publisher stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.