

Arsitektur Sistem Pengusir Hama Padi Berbasis ESP32 dengan Deteksi Multi-Sensor dan Respons Suara-Mekanis

Zaenudin Zaenudin¹, Lalu Delsi Samsumar^{*2}, Supardianto Supardianto³

^{1,2,3} Fakultas Ilmu Komputer dan Kecerdasan Artificial, Universitas Teknologi Mataram, Mataram

e-mail: ¹zen3d.itb@gmail.com, ^{*2}samsumarld@utmmataram.ac.id,

³supardianto88mkom@gmail.com

Abstrak

Serangan burung dan tikus merupakan salah satu kendala dalam budidaya padi, sementara pengendalian konvensional yang bersifat statis memiliki keterbatasan dalam memberikan respons adaptif. Penelitian ini bertujuan mengembangkan arsitektur sistem pengusir hama padi berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 dengan deteksi multi-sensor dan respons suara-mekanis. Sistem mengintegrasikan sensor Passive Infrared (PIR) untuk mendeteksi gerakan pada area pemantauan, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi objek pada jarak dekat, serta DFPlayer Mini dan motor DC sebagai aktuator. Platform Blynk digunakan untuk monitoring secara real-time. Pengembangan sistem menggunakan metode prototyping melalui tahapan identifikasi kebutuhan, perancangan, pembuatan prototipe, pengujian, dan penyempurnaan. Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan nyata di lahan pertanian padi dengan variasi jarak 100–350 cm untuk sensor PIR dan 5–35 cm untuk sensor ultrasonik. Hasil menunjukkan PIR memberikan respons pada jarak 100–300 cm, sedangkan sensor ultrasonik dapat digunakan untuk deteksi objek pada jarak hingga sekitar 30 cm. Waktu respons PIR berada pada kisaran 180–220 ms, sedangkan waktu pembacaan ultrasonik 25–40 ms per siklus. Kontribusi penelitian ini adalah integrasi deteksi PIR dan ultrasonik dengan respons suara dan mekanis dalam satu arsitektur berbasis ESP32 yang dilengkapi monitoring real-time.

Kata kunci—ESP32, Internet of Things, sensor PIR, sensor ultrasonik, pengusir hama

1. PENDAHULUAN

Serangan hama merupakan salah satu kendala dalam budidaya padi karena dapat menyebabkan kerusakan tanaman dan kehilangan hasil. Tikus sawah (*Rattus argentiventer*) merupakan salah satu hama penting pada pertanaman padi dan dapat menyerang pada berbagai fase pertumbuhan. Pengelolaan hama pada tanaman padi perlu mempertimbangkan karakteristik ekosistem dan kondisi pertanaman sehingga pendekatan pengendalian dapat dilakukan secara terpadu [1]. Penelitian mengenai tikus sawah menunjukkan bahwa tingkat serangan terhadap tanaman padi dapat berbeda sesuai dengan kondisi pertanaman [2]. Distribusi populasi tikus dan tingkat kerusakan tanaman juga dapat berbeda sesuai dengan kondisi pertanaman [3]. Dinamika populasi rodensia pada lahan padi dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, termasuk curah hujan dan anomali curah hujan [4]. Salah satu pendekatan pengendalian tikus yang telah diterapkan pada pertanaman padi adalah penggunaan sistem penghalang (*trap-barrier system*) yang dikombinasikan dengan metode pengendalian lainnya [5].

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) memungkinkan sensor, unit pemrosesan, aktuator, dan sistem monitoring diintegrasikan dalam satu sistem otomatis. Penerapan IoT pada

bidang pertanian telah berkembang untuk mendukung pemantauan kondisi lingkungan dan pengambilan keputusan berbasis data [6]. Konsep *Ag-IoT* juga memungkinkan integrasi perangkat sensor dan sistem komunikasi untuk pemantauan tanaman serta lingkungan secara berkelanjutan [7]. Perkembangan teknologi sensor berbasis IoT semakin memperluas penerapannya dalam sistem pertanian cerdas, termasuk pemantauan kondisi lapangan dan otomatisasi perangkat [8]. Integrasi IoT dan *smart sensor* dapat mendukung pengembangan sistem pertanian yang lebih adaptif terhadap kondisi lapangan [9]. Sistem pertanian cerdas berbasis IoT juga telah dikembangkan dengan mengintegrasikan sensor, komunikasi, dan pengolahan data dalam satu arsitektur [10]. Dalam pengendalian hama, teknologi berbasis mikrokontroler dapat digunakan untuk mengotomatisasi proses deteksi dan memberikan respons terhadap objek yang terdeteksi. Penelitian berbasis ESP32 dan IoT telah menunjukkan penerapan sensor dan aktuator untuk membangun sistem pengusir hama secara otomatis [11], [12]. Pendekatan berbasis mikrokontroler juga telah digunakan pada sistem pengendalian hama tanaman padi dengan memanfaatkan sensor untuk mendeteksi keberadaan objek dan mengaktifkan respons pengendalian [13]. Selain pendekatan berbasis sensor, penggunaan stimulus suara merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengganggu atau menghalau burung pada lahan pertanian. Kajian mengenai perangkat *frightening* menunjukkan bahwa respons burung terhadap perangkat pengusir dapat dipengaruhi oleh karakteristik stimulus dan kondisi penggunaannya [14]. Penggunaan perangkat *air-horn* juga telah dikaji sebagai salah satu pendekatan untuk mengurangi gangguan burung pada pertanaman padi [15]. Sementara itu, penelitian mengenai deteksi hama padi berbasis *deep learning* menunjukkan perkembangan pendekatan otomatis untuk identifikasi hama secara *real-time* [16]. Pendekatan tersebut memiliki kemampuan identifikasi objek yang lebih spesifik, tetapi membutuhkan konfigurasi perangkat keras dan komputasi yang lebih kompleks dibandingkan sistem deteksi berbasis sensor sederhana.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan arsitektur sistem pengusir hama padi berbasis ESP32 dengan memanfaatkan deteksi multi-sensor dan respons suara-mekanis. Sensor PIR digunakan sebagai indikator adanya gerakan, sedangkan sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk memberikan informasi keberadaan objek berdasarkan jarak. Ketika kondisi deteksi terpenuhi, sistem mengaktifkan respons suara melalui DFPlayer Mini dan respons mekanis menggunakan motor DC. Sistem juga dilengkapi dengan mekanisme monitoring berbasis IoT untuk memantau kondisi sistem secara *real-time*. Pendekatan ini dirancang sebagai prototipe pengendalian yang mengintegrasikan deteksi, respons, dan monitoring dalam satu arsitektur berbasis ESP32. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji prototipe sistem pengusir hama padi berbasis ESP32 yang mengintegrasikan sensor PIR dan HC-SR04 dengan respons suara-mekanis serta monitoring berbasis IoT. Pengujian difokuskan pada karakteristik deteksi sensor, waktu respons, kesalahan pembacaan jarak, aktivasi aktuator, dan latensi integrasi sistem. Kontribusi penelitian terletak pada integrasi multi-sensor dan multi-respons dalam satu prototipe sederhana yang dapat digunakan sebagai dasar pengembangan sistem pengendalian hama padi berbasis IoT.

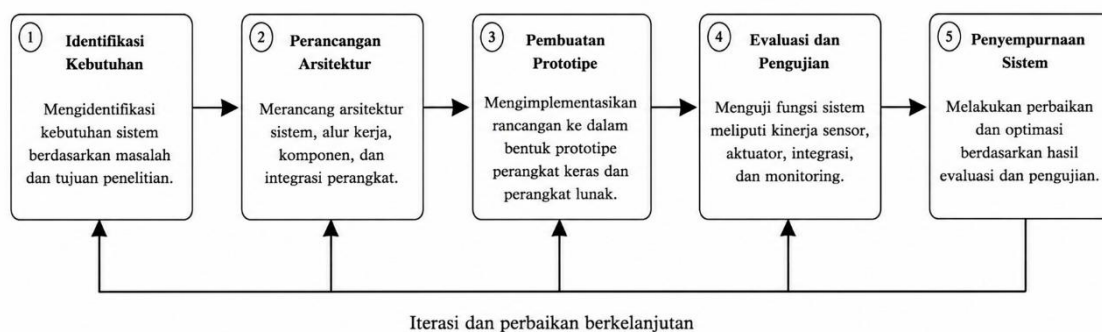
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *prototyping* untuk mengembangkan sistem pengusir hama padi berbasis ESP32. Metode tersebut memungkinkan pengembangan dilakukan secara bertahap melalui identifikasi kebutuhan, perancangan, pembuatan prototipe, pengujian, evaluasi, dan penyempurnaan sistem.

2.1. Metode Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem dilakukan melalui lima tahapan, yaitu identifikasi kebutuhan, perancangan arsitektur, pembuatan prototipe, evaluasi dan pengujian, serta penyempurnaan sistem.

Pada tahap identifikasi kebutuhan ditentukan kebutuhan sistem berdasarkan permasalahan pengendalian hama pada tanaman padi, meliputi kebutuhan deteksi, unit kendali, mekanisme respons, dan sistem monitoring. Tahap perancangan dilakukan dengan menentukan hubungan kerja antara sensor, mikrokontroler, aktuator, dan platform monitoring. Tahap pembuatan prototipe dilakukan dengan mengimplementasikan rancangan perangkat keras dan perangkat lunak serta mengintegrasikan sensor PIR, sensor ultrasonik HC-SR04, ESP32, DFPlayer Mini, motor DC, dan Blynk. Tahap evaluasi dan pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor, fungsi aktuator, waktu respons, serta kemampuan integrasi sistem. Hasil pengujian digunakan sebagai dasar penyempurnaan konfigurasi perangkat keras dan perangkat lunak. Tahapan pengembangan sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan pengembangan sistem menggunakan metode *prototyping*
Sumber: Dokumentasi Peneliti (2026)

2.2. Arsitektur dan Komponen Sistem

Sistem dirancang menggunakan empat bagian utama, yaitu deteksi, kendali, respons, dan monitoring. Bagian deteksi terdiri atas sensor PIR dan sensor ultrasonik HC-SR04. ESP32 berfungsi sebagai unit kendali yang memproses masukan sensor dan mengendalikan aktuator. Bagian respons terdiri atas DFPlayer Mini dan motor DC, sedangkan Blynk digunakan sebagai antarmuka monitoring.

Sensor PIR digunakan untuk mendeteksi perubahan radiasi inframerah yang berkaitan dengan gerakan objek pada area pemantauan. Keluaran sensor PIR digunakan sebagai indikator adanya gerakan dan tidak dimaksudkan untuk mengidentifikasi spesies hama secara langsung. Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk memperoleh informasi jarak objek terhadap sensor. Sensor bekerja dengan mengirimkan gelombang ultrasonik melalui pin *trigger* dan menerima pantulan melalui pin *echo*. Jarak objek dihitung berdasarkan waktu tempuh gelombang menggunakan Persamaan (1).

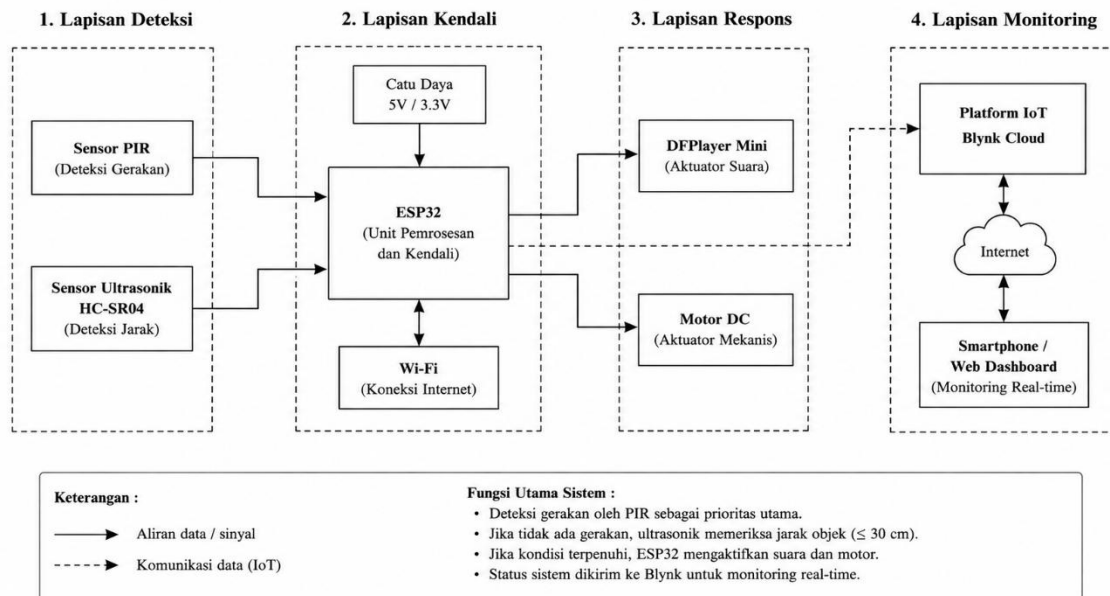
$$d = \frac{t \times v}{2} \quad (1)$$

dengan d adalah jarak objek terhadap sensor, v adalah kecepatan suara di udara, dan t adalah waktu tempuh gelombang dari sensor menuju objek dan kembali ke sensor. Faktor pembagi dua digunakan karena gelombang menempuh perjalanan pergi dan kembali.

Berdasarkan rancangan sistem, kondisi deteksi objek jarak dekat ditetapkan ketika hasil pembacaan HC-SR04 berada pada ambang ≤ 30 cm.

ESP32 digunakan sebagai unit kendali utama yang menerima masukan sensor, menjalankan logika keputusan, mengendalikan aktuator, serta menyediakan komunikasi dengan platform monitoring. DFPlayer Mini digunakan sebagai modul pemutar audio yang dikendalikan ESP32 melalui komunikasi serial. Motor DC digunakan sebagai aktuator mekanis dan dikendalikan melalui *driver* motor sehingga arus motor tidak dialirkan secara langsung melalui GPIO ESP32.

Blynk digunakan sebagai antarmuka monitoring. Informasi status sistem yang dikirimkan ESP32 dapat ditampilkan secara real-time. Proses deteksi dan pengambilan keputusan utama tetap dilakukan secara lokal oleh ESP32. Arsitektur sistem ditunjukkan pada Gambar 2.

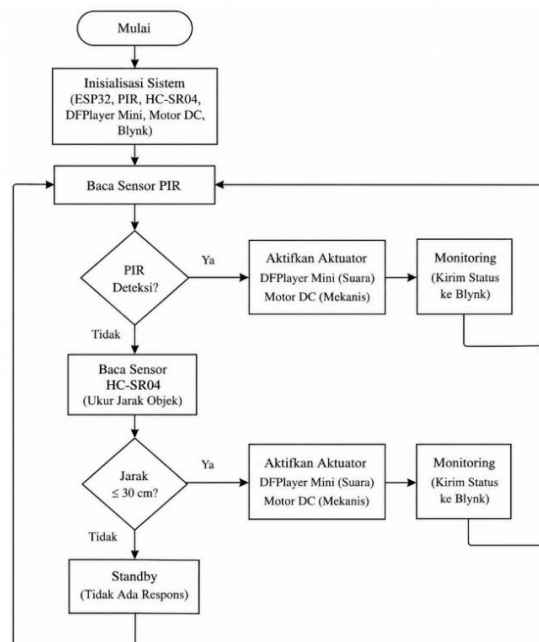


Gambar 2. Arsitektur sistem pengusir hama padi berbasis ESP32 dan IoT

Sumber: Dokumentasi Peneliti (2026)

2.3. Perancangan Logika Sistem

Logika sistem dirancang menggunakan pendekatan pemeriksaan bertahap. Alur sistem terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart logika sistem pengusir hama padi

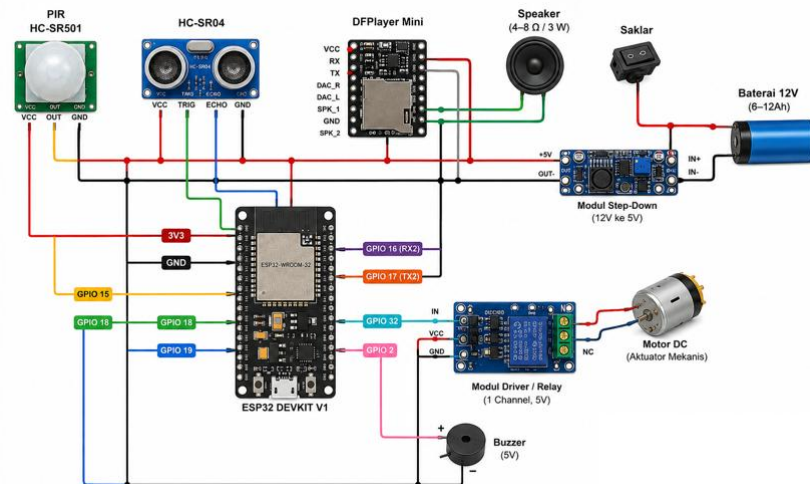
Sumber: Dokumentasi Peneliti (2026)

Dari Gambar 3 terlihat bahwa setelah sistem dinyalakan, ESP32 melakukan inisialisasi sensor, aktuator, dan koneksi monitoring. Sistem kemudian membaca sensor PIR sebagai mekanisme deteksi awal. Apabila PIR mendeteksi gerakan, ESP32 mengaktifkan respons suara dan mekanis. Setelah respons diberikan, status sistem dikirimkan ke Blynk untuk monitoring dan sistem kembali melakukan pembacaan sensor. Apabila PIR tidak mendeteksi gerakan, sistem melanjutkan pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04. Hasil pembacaan dibandingkan dengan ambang ≤ 30 cm. Apabila jarak objek memenuhi ambang tersebut, ESP32 mengaktifkan respons suara dan mekanis. Apabila jarak berada di luar ambang, sistem berada dalam kondisi *standby* dan kembali melakukan pembacaan sensor

2.4. Perancangan Rangkaian Elektronika

Rangkaian elektronika mengintegrasikan ESP32 dengan sensor PIR, sensor ultrasonik HC-SR04, DFPlayer Mini, dan rangkaian *driver* motor DC. Sensor PIR dihubungkan ke salah satu GPIO ESP32 sebagai masukan digital. Sensor HC-SR04 menggunakan dua GPIO yang berbeda untuk fungsi *trigger* dan *echo*. Pemisahan pin diperlukan agar proses pengiriman pulsa pemicu dan penerimaan pulsa pantulan dapat dilakukan secara independen.

DFPlayer Mini dihubungkan dengan ESP32 melalui antarmuka komunikasi serial untuk menerima perintah pemutaran audio. Motor DC dikendalikan melalui *driver* motor yang berfungsi sebagai pengendali arus menuju motor. Seluruh komponen menggunakan referensi *ground* yang sama. Rancangan hubungan antarperangkat keras ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian elektronika sistem pengusir hama padi berbasis ESP32

Sumber: Dokumentasi Peneliti (2026)

2.5. Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi fungsi sensor, aktuator, dan integrasi sistem pada lingkungan nyata di lahan pertanian padi. Sensor PIR diuji pada variasi jarak 100–350 cm, sedangkan sensor ultrasonik HC-SR04 diuji pada jarak 5–35 cm. Parameter yang diamati meliputi keberhasilan deteksi, jarak kerja sensor, waktu respons, kesalahan pembacaan, *false trigger*, aktivasi aktuator, dan latensi sistem.

Pengamatan dilakukan pada setiap variasi kondisi pengujian untuk memperoleh karakteristik respons sensor dan kinerja sistem. Data hasil pengujian digunakan untuk menggambarkan rentang performa sistem berdasarkan kondisi pengujian yang telah ditetapkan. Evaluasi difokuskan pada kemampuan sensor dalam memberikan respons terhadap kondisi deteksi, ketepatan pembacaan jarak, serta konsistensi aktivasi aktuator sesuai dengan logika sistem.

Pada sensor PIR, *false trigger* didefinisikan sebagai kondisi ketika sensor memberikan keluaran deteksi pada kondisi yang tidak sesuai dengan kondisi target. *False trigger rate* dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$FTR = \frac{N_{false}}{N_{total}} \times 100\% \quad (2)$$

dengan FTR adalah *false trigger rate*, N_{false} adalah jumlah kejadian *false trigger*, dan N_{total} adalah jumlah keseluruhan pengamatan.

Pada sensor ultrasonik, kesalahan pembacaan dihitung berdasarkan selisih absolut antara jarak referensi dan jarak hasil pembacaan menggunakan Persamaan (3).

$$E = |d_{ref} - d_{obs}| \quad (3)$$

dengan E adalah kesalahan pembacaan, d_{ref} adalah jarak referensi, dan d_{obs} adalah jarak hasil pembacaan sensor.

Pengujian integrasi dilakukan dengan mengamati proses mulai dari pembacaan sensor, pemrosesan data oleh ESP32, aktivasi aktuator, hingga penyampaian informasi melalui Blynk. Skenario pengujian meliputi kondisi gerakan pada area pemantauan, objek pada jarak dekat, kondisi tanpa objek, gerakan lingkungan, dan deteksi berurutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Implementasi Sistem

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sensor PIR, sensor ultrasonik HC-SR04, ESP32, DFPlayer Mini, motor DC, dan Blynk dapat diintegrasikan dalam satu sistem. ESP32 berfungsi sebagai pusat pemrosesan yang menerima data sensor, menjalankan logika keputusan, mengendalikan aktuator, dan mengirimkan status sistem ke platform monitoring.

Sistem bekerja secara bertahap. PIR digunakan sebagai deteksi awal gerakan. Apabila PIR tidak mendeteksi gerakan, sistem melanjutkan pembacaan sensor ultrasonik untuk memperoleh informasi jarak objek. Kondisi jarak ≤ 30 cm digunakan sebagai ambang deteksi objek jarak dekat. Ketika kondisi deteksi terpenuhi, ESP32 mengaktifkan respons suara melalui DFPlayer Mini dan respons mekanis melalui motor DC.

3.2. Hasil Pengujian Sensor PIR

Pengujian sensor PIR dilakukan pada jarak 100–350 cm. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sensor memberikan respons pada jarak 100–300 cm, sedangkan pada jarak 350 cm respons tidak lagi konsisten.

Tabel 1. Hasil pengujian sensor PIR

Jarak	Deteksi	Keterangan
100 cm	Ya	Stabil
150 cm	Ya	Stabil
200 cm	Ya	Baik
250 cm	Ya	Baik
300 cm	Ya	Batas optimal
350 cm	Tidak	Tidak konsisten

Waktu respons PIR yang terdokumentasi berada pada kisaran 180–220 ms. Variasi respons ditemukan pada kondisi lingkungan tertentu. Hasil tersebut menunjukkan bahwa PIR dapat digunakan sebagai sensor deteksi awal gerakan pada sistem.

Pengamatan juga menunjukkan adanya *false trigger* pada kondisi tertentu akibat perubahan lingkungan dan pergerakan objek lain. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sensor PIR masih dapat memberikan keluaran deteksi terhadap objek atau perubahan lingkungan yang bukan merupakan target utama sistem. Oleh karena itu, *false trigger* digunakan sebagai indikator kondisi lingkungan yang perlu diperhatikan dalam pengembangan sistem dan tidak dinyatakan dalam bentuk persentase.

3.3. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pengujian HC-SR04 dilakukan pada rentang jarak 5–35 cm. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sensor dapat digunakan untuk mendeteksi objek pada jarak hingga sekitar 30 cm, sedangkan pada jarak 35 cm pembacaan tidak lagi konsisten.

Berdasarkan hasil tersebut, ambang ≤ 30 cm digunakan sebagai parameter keputusan untuk deteksi objek jarak dekat. Kesalahan pembacaan yang terdokumentasi berada pada kisaran 0,3–0,7 cm pada titik pengujian yang tersedia.

HC-SR04 digunakan sebagai sensor pendukung setelah proses deteksi awal oleh PIR. Dengan demikian, informasi gerakan dan jarak digunakan secara berurutan dalam proses pengambilan keputusan.

3.4. Hasil Pengujian Aktuator dan Integrasi Sistem

Pengujian aktuator dilakukan untuk memastikan bahwa hasil pemrosesan sensor dapat diterjemahkan menjadi respons suara dan mekanis. DFPlayer Mini digunakan untuk menghasilkan suara yang telah disiapkan, sedangkan motor DC digunakan sebagai aktuator mekanis.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa DFPlayer Mini dapat memainkan audio ketika kondisi deteksi terpenuhi dan motor DC dapat diaktifkan sebagai respons mekanis. Pengukuran yang terdokumentasi menunjukkan intensitas suara sekitar 78–82 dB pada jarak 1 m dan 60–65 dB pada jarak 5 m. Motor DC menghasilkan kecepatan putaran sekitar 120–150 rpm.

Nilai tersebut digunakan untuk menggambarkan karakteristik keluaran aktuator dan tidak digunakan sebagai ukuran efektivitas pengusiran hama.

Tabel 2. Hasil pengujian integrasi sistem

Skenario	Hasil	Respons
Deteksi burung	Berhasil	PIR → suara + motor
Deteksi objek dekat	Berhasil	HC-SR04 ≤ 30 cm → suara + motor
Tidak ada objek	Berhasil	Standby
Gerakan daun	Tidak aktif	Tidak ada respons
Deteksi berurutan	Berhasil	Sesuai prioritas sensor

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ESP32 dapat memproses masukan sensor dan mengaktifkan aktuator sesuai kondisi yang ditentukan. Pengujian integrasi juga menunjukkan bahwa sistem dapat menjalankan alur deteksi sesuai prioritas sensor.

Latensi sistem yang terdokumentasi berada pada kisaran 250–320 ms dari proses deteksi hingga aktivasi aktuator. Notifikasi melalui Blynk diterima dalam kisaran 0,8–1,2 detik bergantung pada kondisi koneksi internet.

Proses utama deteksi dan aktivasi aktuator dilakukan secara lokal oleh ESP32. Blynk digunakan sebagai media monitoring sehingga fungsi utama sistem tidak bergantung pada kecepatan penerimaan notifikasi pada platform tersebut.

3.5 Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi PIR dan HC-SR04 memberikan dua jenis informasi yang berbeda. PIR digunakan untuk mendeteksi gerakan pada area pemantauan, sedangkan HC-SR04 memberikan informasi jarak objek ketika sistem melanjutkan proses pemeriksaan. Kedua sensor tidak melakukan identifikasi spesies secara langsung, tetapi digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan berdasarkan karakteristik gerakan dan jarak.

Pada pengujian PIR, rentang kerja yang terdokumentasi berada pada 100–300 cm, sedangkan jarak 350 cm menunjukkan respons yang tidak konsisten. HC-SR04 dapat digunakan untuk deteksi jarak dekat hingga sekitar 30 cm. Karakteristik tersebut mendukung penerapan mekanisme deteksi bertahap.

Integrasi sistem juga menunjukkan bahwa respons suara dan mekanis dapat diaktifkan berdasarkan kondisi deteksi. Namun, penelitian ini tidak memberikan dasar yang memadai untuk menyatakan persentase efektivitas pengusiran hama. Oleh karena itu, efektivitas pengusiran tidak dinyatakan dalam bentuk persentase dan tidak digunakan sebagai kesimpulan penelitian.

Dari sisi arsitektur, ESP32 mampu menjalankan fungsi deteksi, pemrosesan, dan pengendalian aktuator secara lokal, sedangkan Blynk menyediakan fungsi monitoring. Integrasi tersebut menjadi kontribusi utama prototipe karena beberapa fungsi sistem, yaitu deteksi multi-sensor, respons suara-mekanis, dan monitoring IoT, ditempatkan dalam satu arsitektur.

Keterbatasan penelitian adalah tidak tersedianya kembali catatan jumlah ulangan individual pada setiap titik pengujian. Oleh sebab itu, hasil penelitian dibatasi pada performa fungsional dan rentang pengamatan yang terdokumentasi. Penelitian selanjutnya perlu menetapkan jumlah ulangan sejak awal, mencatat data mentah setiap pembacaan, dan melakukan pengujian komparatif untuk memperoleh ukuran efektivitas pengusiran yang lebih terukur.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan prototipe sistem pengusir hama padi berbasis ESP32 yang mengintegrasikan sensor PIR, sensor ultrasonik HC-SR04, DFPlayer Mini, motor DC, dan platform Blynk. Sistem mampu menjalankan proses deteksi, pengambilan keputusan, pemberian respons suara-mekanis, dan monitoring secara terpadu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa PIR memberikan respons pada rentang 100–300 cm dengan waktu respons 180–220 ms, sedangkan HC-SR04 dapat digunakan untuk mendeteksi objek pada jarak hingga sekitar 30 cm. Latensi sistem dari proses deteksi hingga aktivasi aktuator berada pada kisaran 250–320 ms, sedangkan notifikasi Blynk diterima dalam kisaran 0,8–1,2 detik bergantung pada kondisi jaringan. Berdasarkan hasil tersebut, prototipe telah memenuhi fungsi utama sebagai sistem deteksi multi-sensor dengan respons suara-mekanis dan monitoring berbasis IoT. Penelitian ini belum menyediakan data eksperimen yang memadai untuk menyatakan efektivitas pengusiran hama secara kuantitatif sehingga persentase efektivitas tidak disimpulkan.

5. SARAN

Pengembangan selanjutnya disarankan melakukan pengujian dengan jumlah ulangan yang ditetapkan dan didokumentasikan pada setiap titik pengukuran agar kinerja sensor dapat dianalisis secara kuantitatif. Pengujian juga perlu mencakup variasi kondisi lingkungan dan pengamatan perilaku hama secara langsung untuk memperoleh ukuran efektivitas pengusiran

yang lebih terukur. Selain itu, sistem dapat dikembangkan melalui peningkatan metode deteksi, optimasi aktuator, serta integrasi sumber energi dan IoT agar lebih adaptif untuk penerapan pada area persawahan yang lebih luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Teknologi Mataram melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) atas dukungan pendanaan melalui Hibah Penelitian Internal Tahun Anggaran 2026 sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Dukungan tersebut sangat membantu dalam proses perancangan, implementasi, pengujian, dan penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Juniyardi, E. Suryadi, A. Akbar, and ..., "PERANCANGAN SMART FARMER PADA TANAMAN PADI MENGGUNAKAN ESP8266 BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," *Journal of Data ...*, 2024, [Online]. Available: <https://journal.ppmi.web.id/index.php/jdaics/article/view/1328>
- [2] H. M. Siregar, S. Priyambodo, and D. Hindayana, "Preferensi Serangan Tikus Sawah (*Rattus argentiventer*) terhadap Tanaman Padi," *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, vol. 13, no. 1, pp. 16–21, 2020, doi: 10.21107/agrovigor.v13i1.6249.
- [3] R. R. Brotodjojo, I. Lazuardi, and A. Suprihanti, "Population Distribution of Rats (*Rattus argentiventer*) and the Damage Intensity on Rice and Other Crops in Pleret, Yogyakarta, Indonesia," *Jurnal Proteksi Tanaman*, vol. 7, no. 2, pp. 115–126, 2023, doi: 10.25077/jpt.7.2.115-126.2023.
- [4] N. M. Htwe *et al.*, "Impacts of rainfall and rainfall anomalies on the population dynamics of rodents in southeast Asian rice fields," *Pest Manag. Sci.*, 2024, doi: 10.1002/ps.8260.
- [5] L. Uziah, L. D. Samsumar, and A. Subki, "Penerapan Internet of Things (IoT) untuk Pemantauan dan Pengendalian Otomatis Pemupukan Tanaman Bawang Merah di Desa Perampuan," *Journal of Computer Science ...*, 2024, [Online]. Available: <https://journal.aira.or.id/index.php/cosie/article/view/946>.
- [6] B. B. Sinha and R. Dhanalakshmi, "Recent advancements and challenges of Internet of Things in smart agriculture: A survey," *Future Generation Computer Systems*, vol. 126, pp. 169–184, 2022, doi: 10.1016/j.future.2021.08.006.
- [7] N. Chamara, M. D. Islam, G. Bai, Y. Shi, and Y. Ge, "Ag-IoT for crop and environment monitoring: Past, present, and future," *Agric. Syst.*, vol. 203, p. 103497, 2022, doi: 10.1016/j.agry.2022.103497.

- [8] F. K. Shaikh, S. Karim, S. Zeadally, and J. Nebhen, "Recent trends in Internet-of-Things-enabled sensor technologies for smart agriculture," *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 23, pp. 23583–23598, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3210154.
- [9] P. Rajak, A. Ganguly, S. Adhikary, and S. Bhattacharya, "Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges," *J. Agric. Food Res.*, vol. 14, p. 100776, 2023, doi: 10.1016/j.jafr.2023.100776.
- [10] A. M. Gzar, A. M. Mahmood, and M. K. A. Al-Adilee, "Recent trends of smart agricultural systems based on Internet of Things technology: A survey," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 104, p. 108453, 2022, doi: 10.1016/j.compeleceng.2022.108453.
- [11] S. Fatimah *et al.*, "Development of an Ultrasonic Pest Repellent System Based on ESP32 and the Internet of Things (IoT)," *JUSTEK: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 9, no. 1, pp. 85–93, 2026, doi: 10.31764/justek.v9i1.37949.
- [12] A. Suja'i, L. D. Samsumar, and Z. Zaenudin, "Implementasi Alat Pengusir Hama Burung & Tikus pada Tanamaan Padi Berbasis Internet Of Things," *Journal of Computer Science ...*, 2024, [Online]. Available: <https://journal.aira.or.id/index.php/cosie/article/view/919>
- [13] A. Rosadi, S. Balafif, and T. Novianti, "System Control Pest Rice Plant Based on Microcontroller Arduino Uno," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, p. 12086. doi: 10.1088/1755-1315/469/1/012086.
- [14] J. K. Enos, M. P. Ward, and M. E. Hauber, "A review of the scientific evidence on the impact of biologically salient frightening devices to protect crops from avian pests," *Crop Protection*, vol. 148, p. 105734, 2021, doi: 10.1016/j.cropro.2021.105734.
- [15] M. Z. Sidek and M. A. M. Johari, "Study on Effectiveness of Air-Horn Device for Bird Deterrent in Paddy Cultivation Area," *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 90–94, 2022, doi: 10.15282/jmmst.v6i2.8636.
- [16] J. Yin *et al.*, "An Intelligent Field Monitoring System Based on Enhanced YOLO-RMD Architecture for Real-Time Rice Pest Detection and Management," *Agriculture*, vol. 15, no. 8, p. 798, 2025, doi: 10.3390/agriculture15080798.