



Optimalisasi Proteksi Tanaman Padi melalui Perancangan Alat Pengusir Burung Otomatis Berbasis Arduino ATmega2560 dan Solar Panel

Heri Tri Irawan^{1*}, Rahmat Satya¹, Roid Alazhar Nasution¹, Iing Pamungkas¹

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar
Jl. Alue Peunyareng, Aceh Barat, 23615, Indonesia

*Corresponding author: heritriirawan@utu.ac.id

ARTICLE INFO

Received: 22-01-2026
Revision: 02-05-2026
Accepted: 03-05-2026

Keywords:

Automatic Bird Repellent
Solar-Powered Embedded System
Rice Crop Protection

ABSTRACT

Bird pests such as sparrows, weavers, munias, and finches pose a serious problem for rice farmers, particularly during the generative growth stage when ripening panicles are easily consumed, causing yield losses of up to 30–50% and threatening food security. Traditional deterrent methods, including scarecrows, noise-making devices, and firecrackers, provide only temporary effects with limited coverage and require repetitive manual supervision that is both exhausting and inefficient. This study aims to design and develop an automatic bird repellent device based on sensors and a microcontroller, powered by an independent solar panel system, to protect rice crops effectively without continuous human monitoring. The research adopts a stepwise prototype development approach consisting of planning (designing a steel-pipe frame and selecting components such as an Arduino ATmega2560, HC-SR04 ultrasonic sensor, PIR sensor, tweeter speaker, 50 Wp solar panel, and 12 V 8 Ah battery), production (hardware assembly and Arduino C programming), testing (sensor-sound functionality and field operation), and performance evaluation through analysis of detection data and reduction in bird attacks. The results show that the device operates stably, with PIR detection up to 11 m, ultrasonic detection from 1–4 m, audiosonic output at 4069 Hz (84–91 dB), an effective repulsion radius of 14 m, and a reduction in bird attacks of about 90% (from 100 events to 3 events over six days), all using stand-alone solar energy without significant disturbances. The system is environmentally friendly, weather-resistant, and has the potential to improve rice farming productivity, with further recommendations including optimization of sensor positioning and enhanced protection against extreme weather conditions.

1. PENDAHULUAN

Gangguan hama burung merupakan masalah serius yang kerap dihadapi petani, khususnya dalam budidaya tanaman padi. Burung-burung seperti pipit, manyar, bondol, dan gelatik sering menyerang tanaman padi terutama saat tanaman memasuki fase generatif, yakni saat bulir padi mulai berisi dan menguning. Burung-burung ini memakan bulir padi, sehingga menyebabkan kerusakan yang signifikan pada hasil panen, baik dari segi kuantitas maupun kualitas [1]. Dampak kerusakan akibat serangan hama burung sangat merugikan petani karena dapat mengurangi hasil produksi hingga 30-50%. Kondisi ini tidak hanya menurunkan pendapatan petani secara langsung, tetapi juga mengancam ketahanan pangan terutama di wilayah yang sangat bergantung pada produksi padi [2]. Selain itu, serangan burung sering terjadi secara bergerombol dalam jumlah besar dan berlangsung selama jam-jam produktif tanaman, sehingga sulit dikendalikan dengan metode konvensional [3].

Metode tradisional untuk mengusir burung, seperti memasang orang-orangan sawah, benang, kentongan, atau menggunakan petasan, selama ini banyak digunakan dan dianggap murah. Namun, metode-metode ini memiliki jangkauan terbatas dan hanya memberikan efek sementara. Burung sering kembali menyerang setelah tindakan tersebut, sehingga petani harus melakukan pengusiran berulang yang tentu memerlukan waktu, tenaga, dan biaya

tambahan [4]. Dengan kondisi tersebut, kebutuhan akan solusi teknologi yang efektif dan efisien menjadi sangat penting. Perkembangan teknologi mikrokontroler dan sensor membuka peluang penerapan sistem pengusir burung otomatis yang lebih efektif dan efisien. Sejumlah penelitian telah merancang alat pengusir hama burung berbasis Arduino dengan memanfaatkan sensor ultrasonik, sensor gerak (PIR), aktuator suara, dan sumber energi panel surya untuk mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual di lahan. Hasilnya menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi ini mampu meningkatkan jangkauan deteksi dan respon pengusiran, sekaligus lebih ramah lingkungan dibanding penggunaan bahan kimia atau metode destruktif lainnya. Namun, sebagian besar penelitian masih memiliki keterbatasan, misalnya pada kombinasi sensor yang digunakan, optimasi jangkauan deteksi dan radius pengusiran, stabilitas operasi di lapangan, maupun evaluasi kuantitatif penurunan frekuensi serangan burung dalam kondisi nyata [5-8].

Penerapan teknologi pengusir burung otomatis juga mendukung efisiensi kerja petani dengan mengurangi kebutuhan pengawasan langsung di sawah. Selain itu, jika menggunakan sumber energi terbarukan seperti panel surya, alat ini dapat digunakan di berbagai lokasi terpencil tanpa bergantung pada pasokan listrik [9]. Dengan demikian, pengembangan dan implementasi alat pengusir burung otomatis sangat dibutuhkan untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan mendukung keberlanjutan usaha tani. Penelitian sebelumnya mengembangkan alat pengusir hama burung berbasis Arduino Uno dengan sensor ultrasonic yang mendeteksi burung dan mengaktifkan suara pengusir otomatis [5], serta alat yang dilengkapi motor untuk meningkatkan efektivitas pengusiran [10]. Penelitian lain menggunakan sensor PIR dan sumber energi panel surya untuk membuat alat yang otomatis mendeteksi dan mengusir burung tanpa pengawasan manusia [11]. Mayoritas penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi mikrokontroler dan sensor dalam alat pengusir hama burung dapat memberikan solusi praktis, efisien, dan ramah lingkungan untuk meningkatkan produktivitas pertanian padi serta mengurangi kerugian petani akibat serangan burung.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) merancang dan mengembangkan prototype alat pengusir burung otomatis berbasis mikrokontroler dengan dukungan sensor dan panel surya yang dapat bekerja secara mandiri di lahan padi, serta (2) menguji efektivitas alat dalam mendeteksi dan mengusir burung di lapangan melalui pengukuran jangkauan deteksi, radius pengusiran, dan penurunan frekuensi serangan burung. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai teknologi tepat guna yang mendukung peningkatan produktivitas dan keberlanjutan usahatani padi.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini mengadopsi rancangan pengembangan alat secara bertahap, mulai dari desain fisik dan pemilihan komponen hingga pengujian lapangan untuk mengukur efektivitas pengusiran burung. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Sistem Manufaktur dan Ergonomi, Program Studi Teknik Industri, Universitas Teuku Umar.

2.1 Rancangan Penelitian

Tahapan rancangan penelitian ditampilkan pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Tahapan Rancangan Penelitian

Berdasarkan gambar 1 tahapan rancangan penelitian dijelaskan sebagai berikut.

1. Tahap perencanaan yang meliputi desain fisik alat menggunakan pipa besi sebagai rangka utama dan pemilihan komponen elektronik seperti mikrokontroler Arduino ATmega2560, sensor ultrasonik HC-SR04, sensor PIR switch, panel surya sebagai sumber energi, baterai, dan speaker tweeter sebagai pengusir suara audiosonik burung.

2. Tahap produksi berupa pembuatan kerangka fisik, perakitan seluruh komponen kelistrikan, dan integrasi sistem lengkap untuk memastikan semua komponen tersambung dan bekerja sesuai rencana.
3. Tahap pengujian mencakup uji fungsi sensor yang dapat mendeteksi gerakan dan jarak burung, uji frekuensi suara pengusir yang efektif untuk membuat burung pergi, serta pengujian lapangan untuk memastikan alat beroperasi otomatis tanpa pengawasan langsung.
4. Tahap evaluasi, dilakukan analisis hasil pengujian, identifikasi kekurangan, dan perbaikan desain atau komponen yang diperlukan guna meningkatkan performa alat, dengan harapan alat pengusir hama burung ini mampu melindungi tanaman padi secara efektif dan meningkatkan hasil panen petani. Proses ini didukung oleh pengumpulan data, dokumentasi, dan pemantauan berkelanjutan selama pengujian berlangsung untuk memastikan keandalan dan stabilitas kerja alat di kondisi nyata pertanian.

2.2. Perancangan Prototype

Prototype alat pengusir hama burung otomatis dirancang menggunakan beberapa alat dan bahan penelitian diantaranya sebagai berikut.

Tabel 1. Alat dan Bahan

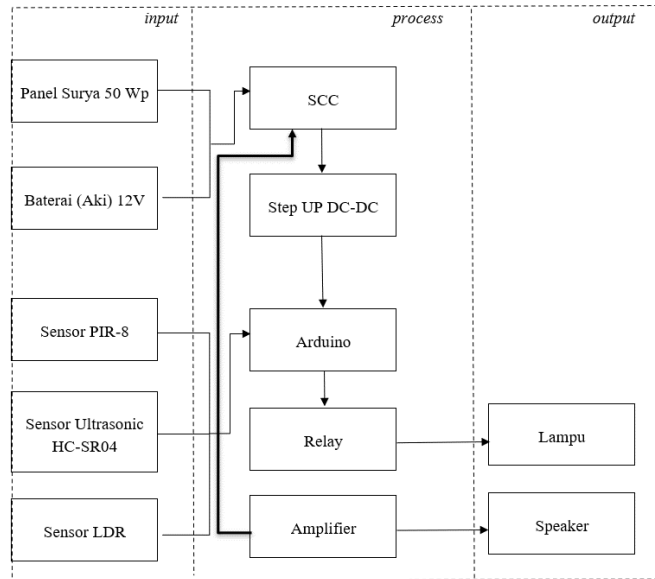
Alat	Keterangan
Mikrokontroler Arduino ATmega2560	Mengolah data dari sensor dan kendali alat
Sensor Ultrasonik HC-SR04	Mendeteksi jarak dan keberadaan burung
Sensor PIR Switch	Mendeteksi gerakan burung dengan inframerah pasif
Speaker Tweeter	Mengeluarkan suara audiosonik untuk mengusir burung
Panel Surya 50 Wp	Sumber energi mandiri untuk mengisi baterai
Baterai Aki 12 Volt 8 Ah	Penyimpanan energi untuk alat
Rangka pipa besi (3 inci & hollow)	Struktur fisik alat
Modul Solar Charger Controller	Mengatur pengisian baterai dari panel surya
Kabel, adaptor, dan komponen kelistrikan lainnya	Mendukung penyambungan dan pengoperasian alat
Pipa besi 3 inci	Rangka utama alat
Besi hollow 30x30 mm dan 15x15 mm	Rangka pendukung dan pelindung komponen
Plat besi 2 mm	Pelindung dan penyangga komponen
Cat	Finishing rangka agar tahan cuaca

Perancangan prototype alat pengusir hama burung otomatis dimulai dengan pembuatan rangka fisik menggunakan pipa besi berdiameter 3 inci dan besi hollow sebagai struktur utama untuk menahan dan melindungi semua komponen elektronik dari berbagai kondisi lingkungan luar. Rangka ini dirancang agar kokoh, stabil, dan mudah dipasang di sekitar lahan persawahan. Komponen utama elektronik terdiri dari mikrokontroler Arduino ATmega2560 yang menjadi pusat kendali sistem, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk deteksi jarak objek, sensor PIR untuk mendeteksi pergerakan burung, serta speaker tweeter yang berfungsi menghasilkan suara audiosonik frekuensi tinggi untuk mengusir burung tanpa mencederai. Semua komponen elektronik ini dirangkai dan dihubungkan dengan kabel dan papan prototipe secara rapi dan terintegrasi.

Sistem tenaga pada prototype menggunakan panel surya dengan kapasitas 50 Wp yang dipasangkan pada rangka, terhubung ke baterai sebagai penyimpan energi untuk memastikan alat dapat beroperasi secara mandiri selama 24 jam tanpa tergantung pasokan listrik eksternal. Modul *solar charger controller* mengatur pengisian baterai agar optimal dan aman. Perangkat lunak pada prototype diprogram dengan bahasa Arduino C++ untuk mengatur logika kerja sensor dan aktivasi speaker secara otomatis berdasarkan penginderaan gerakan dan jarak burung. Algoritma ini mengatur interval suara pengusir agar tidak terlalu sering tetapi tetap efektif. Prototype ini diuji secara bertahap mulai dari uji fungsional komponen sensor dan suara, pengujian integrasi sistem, hingga uji coba di lapangan untuk menilai efektivitas deteksi dan pengusiran burung serta kinerja sumber energi panel surya. Setelah uji coba, prototype siap diperbaiki dan disempurnakan berdasarkan hasil evaluasi untuk penggunaan skala lebih luas.

2.3. Perancangan Sistem

Berikut blok diagram rancangan sistem yang menggambarkan keseluruhan rangkaian sistem *prototype* yang akan dirancang oleh peneliti.

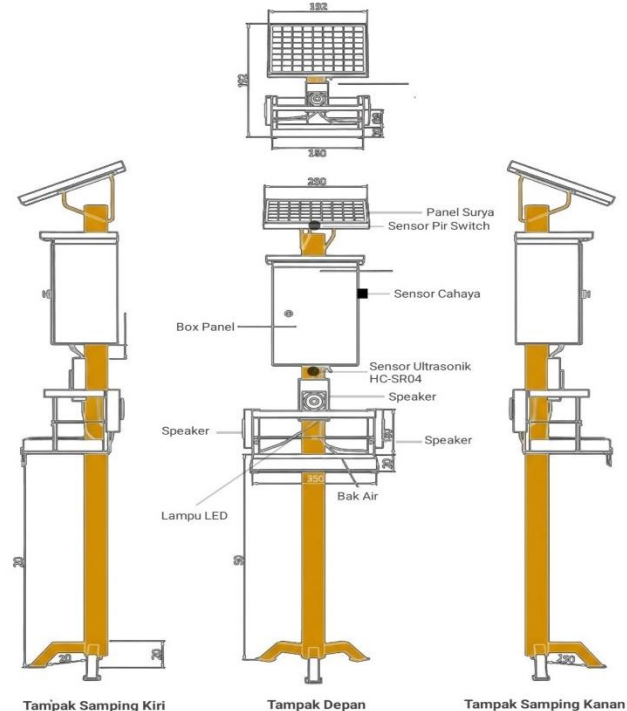


Gambar 2. Blok Diagram Rancangan Sistem

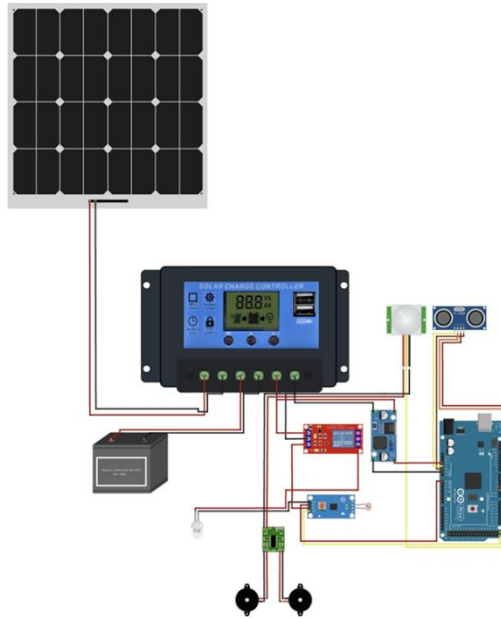
Perancangan sistem alat pengusir hama burung otomatis terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk bekerja secara otomatis dalam mendeteksi dan mengusir burung. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino ATmega2560 sebagai pusat pengendalian yang mengolah data dari dua jenis sensor utama: sensor ultrasonik HC-SR04 yang bertugas mengukur jarak objek dalam radius 1 sampai 4 meter dan sensor PIR yang mendeteksi gerakan burung hingga jarak 11 meter.

Ketika sensor mendeteksi kehadiran burung, mikrokontroler segera mengaktifkan aktuator berupa speaker tweeter yang mengeluarkan suara audisonik dengan frekuensi tinggi sekitar 4069 Hz yang tidak disukai burung, sehingga mereka terdorong untuk pergi tanpa mengalami cedera. Sistem suara ini diatur agar tidak terus-menerus mengeluarkan bunyi untuk mencegah kelelahan speaker dan adaptasi burung, dengan interval waktu tertentu yang diprogram dalam mikrokontroler.

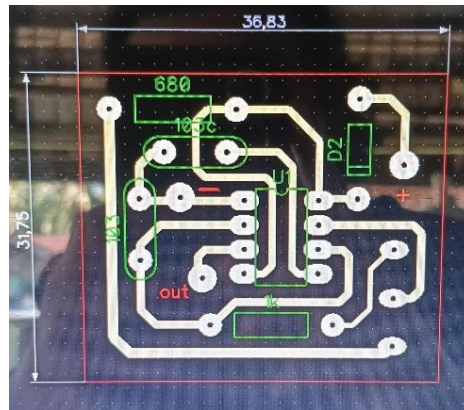
Sumber daya utama sistem adalah panel surya yang terhubung ke baterai penyimpanan melalui modul solar charger controller, memastikan pasokan energi yang berkelanjutan dan mandiri tanpa ketergantungan pada listrik konvensional. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan rangkaian kelistrikan yang menghubungkan seluruh komponen, serta proteksi terhadap kerusakan akibat perubahan cuaca dan kelembaban di lingkungan sawah. Adapun desain produk, perancangan *hardware* dan rangkaian *layout produk* ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 3. Desain Produk



Gambar 4. Perancangan *Hardware*



Gambar 5. *Layout Rangkaian*

2.4. *Prosedur Evaluasi Kinerja*

Prosedur evaluasi kinerja alat pengusir hama burung otomatis dilakukan secara sistematis di lahan sawah dengan luas $\pm 0,25$ ha (sekitar $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$) yang telah memasuki fase generatif. Alat dipasang di titik yang mewakili pusat area pengamatan sehingga jangkauan deteksi sensor dan radius pengusiran dapat melindungi sebagian besar petak uji. Pengujian dilakukan selama 6 hari berturut-turut pada jam aktif kunjungan burung, yaitu pukul 06.00–10.00 WIB dan 15.00–18.00 WIB, yang ditetapkan berdasarkan observasi awal perilaku burung di lokasi. Tahapan prosedur evaluasi kinerja adalah sebagai berikut.

a. *Persiapan dan instalasi*

Memasang alat pada titik strategis di tengah lahan uji dengan ketinggian dan orientasi yang telah ditentukan, mengatur kemiringan panel surya agar optimal terhadap arah datang sinar matahari, serta melakukan pengecekan awal fungsi sensor, mikrokontroler, dan speaker.

b. *Uji sensor*

Melakukan pengujian awal sensor PIR dan sensor ultrasonik dengan objek simulasi pada berbagai jarak (1–14 m) untuk memastikan jangkauan dan keakuratan deteksi sesuai rancangan. Hasil pengujian ini digunakan sebagai kalibrasi awal sebelum pengujian lapangan terhadap burung.

c. *Uji fungsi suara*

Mengukur frekuensi dan tingkat kebisingan suara speaker tweeter di beberapa jarak (misalnya 1 m, 5 m, 10 m, dan 14 m) menggunakan sound level meter, serta mengamati respon awal burung terhadap suara audiosonik di lahan uji.

d. *Pengujian operasional lapangan*

Menjalankan alat secara kontinu selama periode pengamatan (pagi dan sore) selama 6 hari. Selama periode ini dicatat setiap kejadian kedatangan kelompok burung yang memasuki area uji dan respon alat (aktivasi sensor dan suara) terhadap kehadiran burung.

e. *Pengumpulan dan pencatatan data serangan burung*

Pencatatan frekuensi serangan burung dilakukan secara langsung oleh pengamat yang ditempatkan pada titik pengamatan di tepi lahan, dilengkapi lembar observasi terstruktur. Setiap kali sekelompok burung memasuki area sawah dan mulai memakan padi, kejadian tersebut dihitung sebagai satu "serangan". Pengamat mencatat waktu kejadian, jumlah perkiraan burung, jarak burung terhadap alat, kondisi cuaca saat kejadian, serta apakah burung pergi setelah alat aktif atau tetap bertahan. Untuk memperoleh perbandingan, dilakukan pula pencatatan frekuensi serangan burung pada periode sebelum alat dipasang (baseline) dengan durasi dan jam pengamatan yang sama.

f. Analisis data dan evaluasi kinerja

Data jumlah serangan burung sebelum dan sesudah penggunaan alat dianalisis untuk menghitung persentase penurunan frekuensi serangan. Selain itu dianalisis pula hubungan antara jarak burung terhadap alat, respon sensor, dan radius pengusiran efektif berdasarkan observasi lapangan. Hasil ini digunakan untuk mengevaluasi efektivitas sistem secara keseluruhan serta mengidentifikasi kebutuhan perbaikan desain, seperti penyesuaian posisi dan sudut sensor, maupun peningkatan perlindungan komponen terhadap kondisi cuaca di lapangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan membahas hasil perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, hasil pengujian sistem dan evaluasi hasil perancangan untuk perbaikan alat agar mendapatkan hasil yang optimal.

3.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras alat pengusir hama burung otomatis menunjukkan integrasi yang efektif antara komponen elektronik dan struktur fisik alat dalam satu sistem yang mandiri. Rangka utama alat menggunakan pipa besi dan besi hollow yang kokoh untuk menopang seluruh komponen elektronik serta memastikan kestabilan alat saat ditempatkan di lahan terbuka. Mikrokontroler Arduino ATmega2560 menjadi otak pengendali sistem yang menerima sinyal dari sensor ultrasonik HC-SR04 dan sensor PIR switch untuk mendeteksi keberadaan burung secara akurat. Sensor ultrasonik mendeteksi objek dalam jarak 1 hingga 4 meter, sementara sensor PIR mendeteksi gerakan burung pada jarak hingga 11 meter, sehingga kedua sensor bekerja saling melengkapi dalam proses deteksi. Data sensor kemudian diolah oleh mikrokontroler dan memicu aktivasi speaker tweeter untuk mengeluarkan suara audiosonik dengan frekuensi sekitar 4069 Hz, yang efektif mengusir burung tanpa merusak atau membahayakan dirinya.

Sistem tenaga menggunakan panel surya yang terhubung ke baterai sebagai penyimpan energi, memungkinkan alat beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada sumber listrik eksternal. Sistem pengisian dan pengaturan daya didukung oleh modul solar charger controller, sehingga alat dapat bekerja secara kontinu dan handal di lapangan, termasuk di lokasi terpencil yang sulit dijangkau sumber listrik konvensional. Secara keseluruhan, rancangan perangkat keras ini berhasil menggabungkan teknologi sensor, mikrokontroler, serta sumber energi terbarukan dalam sebuah alat yang fungsional, tahan cuaca, dan efisien untuk mendukung perlindungan tanaman padi dari serangan hama burung.



Gambar 6. Merangkai Perangkat Keras

3.2. Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada alat pengusir hama burung otomatis ini berfokus pada pemrograman mikrokontroler Arduino ATmega2560 untuk mengintegrasikan fungsi sensor dan aktuator secara efektif. Program dirancang agar mikrokontroler mampu membaca sinyal dari sensor PIR dan sensor ultrasonik secara simultan untuk mendeteksi kehadiran atau pergerakan burung di sekitar alat dengan akurasi tinggi. Ketika sensor mendeteksi burung dalam radius tertentu, mikrokontroler akan memproses data tersebut dan mengaktifkan speaker tweeter untuk mengeluarkan suara audiosonik dengan frekuensi sekitar 4069 Hz yang tidak disukai burung, sehingga mereka terpancing pergi. Program juga mengatur durasi dan interval keluaran suara untuk menghindari kelelahan komponen speaker dan mencegah burung menjadi terbiasa dengan suara tersebut.

Selain itu, perangkat lunak mengelola pengisian daya baterai dari panel surya secara optimal, memantau status energi, serta mengatur sistem agar alat dapat beroperasi secara mandiri tanpa intervensi manusia dalam jangka waktu lama. Seluruh perangkat lunak diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman Arduino C++ yang ringan dan efisien, memungkinkan respons cepat dan stabil pada lingkungan pertanian yang dinamis. Secara keseluruhan, perangkat lunak ini memastikan fungsi sensor dan aktuator bekerja harmonis untuk menciptakan sistem pengusir burung otomatis yang efektif, hemat energi, dan tahan lama di lapangan.

3.3. Hasil Pengujian Sistem

Hasil pengujian sistem alat pengusir hama burung otomatis menunjukkan kinerja yang memuaskan dalam mendeteksi dan mengusir burung di lahan sawah.

Tabel 1. Hasil Uji Coba

Jarak Percobaan	Sensor Pir Switch	Sensor Ultrasonik HC-SR04	Speaker Tweeter 4069 Hz
1 Meter	V	V	91,9 DB
2 Meter	V	V	88,0 DB
3 Meter	V	V	88,9 DB
4 Meter	V	V	89,2 DB
5 Meter	V	X	90,1 DB
6 Meter	V	X	89,4 DB
7 Meter	V	X	88,8 DB
8 Meter	V	X	88,5 DB
9 Meter	V	X	86,9 DB
10 Meter	V	X	85,4 DB
11 Meter	V	X	84,5 DB
12 Meter	X	X	84,8 DB
13 Meter	X	X	83,8 DB
14 Meter	X	X	83,5 DB

Berikut adalah data dan ringkasan hasil pengujian yang diperoleh:

Tabel 2. Ringkasan Parameter dan Hasil Pengujian

Parameter	Hasil Pengujian
Jarak Deteksi Sensor PIR	11 meter dengan tingkat keakuratan tinggi
Jarak Deteksi Sensor Ultrasonik	1 – 4 meter secara konsisten
Frekuensi Suara Tweeter	4069 Hz dengan tingkat kebisingan 84 – 91 dB
Radius Efektif Pengusiran	Hingga 14 meter
Penurunan Frekuensi Serangan Burung	Dari rata-rata >100 kali menjadi 3 kali dalam 6 hari pengujian (penurunan >90%)
Durasi Operasi Mandiri	Beroperasi kontinu selama lebih dari 6 hari menggunakan energi panel surya
Stabilitas Sistem	Sensor dan speaker bekerja konsisten tanpa gangguan teknis signifikan

hasil pengujian sistem alat pengusir hama burung otomatis menunjukkan bahwa alat ini efektif dalam mendeteksi dan mengusir burung pada area persawahan dengan tingkat keberhasilan yang tinggi. Sensor PIR dengan jangkauan deteksi hingga 11 meter dan sensor ultrasonik yang handal pada jarak 1-4 meter bekerja secara sinergis untuk menjangkau area yang luas dan mendeteksi burung dengan presisi. Hal ini memastikan alat dapat merespon kehadiran burung secara cepat dan tepat.

Frekuensi suara audiosonik 4069 Hz dengan tingkat kebisingan antara 84 hingga 91 dB cukup optimal untuk mengusir burung tanpa menimbulkan efek destruktif pada tanaman maupun lingkungan sekitar. Radius pengusiran

efektif hingga 14 meter merupakan jangkauan yang memadai untuk melindungi areal sawah dari serangan kelompok burung.

Penurunan frekuensi serangan burung dari lebih dari 100 kali menjadi hanya 3 kali dalam kurun waktu enam hari menunjukkan penurunan signifikan (lebih dari 90%), yang menandakan efektivitas penggunaan alat ini sebagai solusi pengendalian hama burung secara otomatis. Penerapan panel surya sebagai sumber energi mandiri menghasilkan sistem yang sustainable dan dapat beroperasi secara terus-menerus tanpa suplai listrik eksternal, memberikan nilai tambah berupa kemudahan penggunaan di lokasi terpencil.

3.4. Evaluasi Hasil Perancangan

Evaluasi hasil perancangan alat pengusir hama burung otomatis menunjukkan bahwa perangkat berhasil mencapai tujuan utama berupa deteksi dan pengusiran burung secara efektif di lahan pertanian padi. Integrasi sensor PIR dan ultrasonik dalam satu sistem memungkinkan deteksi gerakan burung dengan jangkauan yang memadai, yang kemudian direspons oleh speaker tweeter dengan suara audiosonik frekuensi tinggi tanpa membahayakan burung maupun merusak lingkungan sekitar. Operasi mandiri menggunakan panel surya juga memberikan nilai tambah dari sisi keberlanjutan energi dan kemudahan pemakaian di lapangan, terutama di area yang sulit dijangkau sumber listrik konvensional.

Secara teknis, hasil pengujian memperlihatkan bahwa alat dapat berfungsi dengan stabil dan memberikan pengurangan signifikan (>90%) pada frekuensi serangan burung, menunjukkan keefektifan sistem dalam mengatasi masalah hama burung secara otomatis dan efisien. Namun, evaluasi juga mengidentifikasi beberapa aspek yang perlu diperbaiki, seperti pengaturan posisi dan sudut sensor agar deteksi bisa maksimal di berbagai kondisi lapangan, serta perlindungan komponen elektronik dari cuaca ekstrim untuk meningkatkan keandalan jangka panjang.

Alat ini memberikan solusi teknologi tepat guna yang dapat menggantikan metode manual tradisional yang kurang efektif dan lebih melelahkan. Penggunaan sumber energi terbarukan serta integrasi sistem sensor cerdas mendukung implementasi praktis di lapangan dengan biaya operasional yang rendah dan dampak lingkungan minimal. Ini menjadikan perangkat potensial untuk diterapkan secara luas di sektor pertanian, membantu meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan petani.

3.4. Implikasi Teoritis

Penelitian ini memberikan implikasi teoritis penting terhadap pengembangan sistem pengusir burung otomatis berbasis sensor dan mikrokontroler. Berbeda dengan banyak studi sebelumnya yang umumnya menggunakan satu jenis sensor atau aktuator dan melaporkan efektivitas secara kualitatif, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi sensor PIR dan ultrasonik dengan pengaturan suara audiosonik terukur dan sumber energi panel surya dapat menghasilkan penurunan frekuensi serangan burung yang tinggi (sekitar 90%) dalam kondisi lapangan nyata. Temuan ini memperkuat secara teoritis gagasan bahwa konfigurasi multi-sensor-multi-aktuator yang dirancang sebagai sistem mandiri berenergi surya lebih efektif dan berkelanjutan dibanding pendekatan konvensional yang hanya mengandalkan satu jenis sensor atau metode manual tradisional [12][13].

Selain itu, penelitian ini memperkaya kerangka teori pengendalian hama modern dengan menempatkan perangkat elektronik otomatis sebagai komponen yang terintegrasi dalam konsep pengendalian hama terpadu, bukan sekadar pelengkap. Kuantifikasi penurunan frekuensi serangan sebelum dan sesudah pemasangan alat memberikan dasar empiris yang lebih kuat untuk mengaitkan desain teknis sistem (jenis sensor, konfigurasi suara, dan kemandirian energi) dengan respons perilaku hama di lapangan. Hal ini sejalan dengan tren penelitian yang mendorong pemanfaatan teknologi cerdas dan, pada tahap berikutnya, *Internet of Things* (IoT) dalam pengelolaan hama berbasis data, sehingga membuka peluang pengembangan model pengendalian hama burung yang adaptif, terukur, dan dapat dipantau jarak jauh pada berbagai skala lahan [8] [12-15].

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan alat pengusir hama burung otomatis berbasis sensor ultrasonik HC-SR04, sensor PIR, mikrokontroler Arduino ATmega2560, dan suara audiosonik 4069 Hz dengan sumber energi panel surya mandiri, yang efektif mengurangi serangan burung hingga 90% selama pengujian lapangan enam hari. Alat ini menunjukkan kestabilan operasional dengan jangkauan deteksi hingga 11 meter (PIR) dan 4 meter (ultrasonik), serta radius pengusiran 14 meter, menggantikan metode tradisional yang kurang efisien.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengoptimalkan konfigurasi sensor dan posisi alat, misalnya dengan penambahan beberapa sensor PIR dan ultrasonik yang menghadap berbagai arah guna memperluas jangkauan deteksi di lahan yang lebih luas. Selain itu, perlu dikembangkan pola suara pengusir yang lebih dinamis dengan variasi frekuensi dan pola aktivasi untuk meminimalkan kemungkinan habituasi burung terhadap suara yang sama dari waktu ke waktu. Pengujian lanjutan di berbagai lokasi sawah dengan karakteristik berbeda serta analisis kelayakan ekonomi dan penerimaan petani juga penting dilakukan, agar alat ini tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga layak diterapkan secara luas dan berkelanjutan di tingkat petani.

ACKNOWLEDGEMENT

Terima kasih kepada Dikti (Belmawa) dan Universitas Teuku Umar yang telah mendukung penelitian ini

REFERENCES

- [1] Bari, I. N., Santriyani, A. S., Kurniawan, W., Hindersah, R., Suganda, T., & Dewi, V. K. (2021). Preferensi dan waktu aktif harian kunjungan burung bondol jawa (*Lonchura leucogastroides*) terhadap fase pertumbuhan padi (IR-36) di lahan sawah Jatinangor. *Agrikultura*, 32(1), 72-76.
- [2] Tuti, H. K., Sepe, M., Romadhan, P., Rido, M., & Regina, N. A. (2024). Edukasi Pendekatan Partisipatif dalam Pengendalian Hama Burung di Pertanaman Padi di Kecamatan Tamban Catur Kabupaten Kapuas Kalimantan Tengah. *BAKIRA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(2), 115-123.
- [3] Nugroho, B. D. A. (2021). *Penerapan Klimatologi Dalam Pertanian 4.0*. Deepublish.
- [4] Tuti, H. K., Sepe, M., Romadhan, P., Rido, M., & Regina, N. A. (2024). Edukasi Pendekatan Partisipatif dalam Pengendalian Hama Burung di Pertanaman Padi di Kecamatan Tamban Catur Kabupaten Kapuas Kalimantan Tengah. *BAKIRA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(2), 115-123.
- [5] Manurung, S. M., Wanto, A., & Gunawan, I. (2022). Rancang Bangun Alat Pengusir Hama Burung Berbasis Arduino Uno.
- [6] Zulfikri, Z., Bulan, R., & Mustaqimah, M. (2022). Alat pengusir hama burung pipit menggunakan sensor gerak berbasis arduino uno. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(3), 332-337.
- [7] Santoso, L. H., Fitri, R., & Suntoso, D. (2024). Alat Pengusir Hama Burung Berbasis Arduino Uno Menggunakan Panel Surya di Desa Tambakdahan Kabupaten Subang. *INFOTEX: Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Teknik*, 3(1), 1-10.
- [8] Alwi, A. S., Pratama, R. A., Ikawanty, B. A., Budi, E. S., & Risdhayanti, A. D. (2023). Implementasi Sistem Pengusir Hama Burung Berbasis Arduino untuk Optimalisasi Pertanian: Kajian Monitoring Kelembapan Tanah dengan Soil Moisture Sensor. *Journal of Applied Smart Electrical Network and Systems*, 4(1), 29-34.
- [9] Irawan, H. T., Pamungkas, I., Pandria, T. A., Satya, R., Nasution, R. A. A., Suriadi, D., & Saputra, A. (2025). Sosialisasi Penggunaan Alat Pengusir Burung Otomatis di Gampong Cot Kuta, Nagan Raya. *Teknodimas: Teknologi Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 142-148.
- [10] priambodo, R. (2020). *Rancang Bangun Alat Pengusir Hama Burung Otomatis Pada Tanaman Padi Menggunakan Sensor Photodiode Dan Sinar Laser* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang).
- [11] Masni, M., & Galuh, P. (2025). *Rancang Bangun Alat Pengusir Hama Burung Berbasis Sensor Gerak dan Motor DC Menggunakan Panel Surya pada Tanaman Padi* (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).
- [12] Pradipta, G. A., Liandana, M., Ayu, P. D. W., Susila, I. M. D., Hostiadi, D. P., & Atmojo, Y. P. (2025). Implementasi Alat Pengusir Burung Otomatis Berbasis Embedded System di Lahan Pertanian. *Widyabhakti Jurnal Ilmiah Populer*, 8(1), 1-6.
- [13] Qurnain, M. Z., & Sarjan, M. (2025). Design of Bird Pest Control Using Arduino Uno Based Sensors on Rice Plants (*Oryza sativa* L.). *Journal of Multidisciplinary Science and Natural Resource Management*, 1(1), 27-35.
- [14] Awalia, R., Zahra, N. A., & Sonda, A. A. (2025). Rancang Bangun Prototipe Pengusiran Hama Berbasis IOT Menggunakan Sensor Pir. *Jurnal Tematis (Teknologi, Manufaktur dan Industri)*, 7(1), 24-32.
- [15] Fitri, A., Ikhsan, I., & Rosman, E. (2025). Pengusir Burung Otomatis di Sawah Berbasis Internet Of Things dan Bot Telegram. *Jurnal Pustaka Robot Sister (Jurnal Pusat Akses Kajian Robotika, Sistem Tertanam, dan Sistem Terdistribusi)*, 3(1), 22-27.