

# Method Design of an IoT-Based Automatic Pest Repellent System Prototype for Agriculture

Hilda Zulfira <sup>1\*</sup>, Munirul Ula <sup>2\*</sup>, Rini Meiyanti <sup>3\*</sup>

\* Program Studi Informatika, Universitas Malikussaleh, Aceh, Indonesia

[hilda.190170020@mhs.unimal.ac.id](mailto:hilda.190170020@mhs.unimal.ac.id) <sup>1</sup>, [munirulula@unimal.ac.id](mailto:munirulula@unimal.ac.id) <sup>2</sup>, [rinimeiyanti@unimal.ac.id](mailto:rinimeiyanti@unimal.ac.id) <sup>3</sup>

## Article Info

### Article history:

Received 2025-08-02

Revised 2025-08-26

Accepted 2025-09-03

### Keyword:

*IoT, automation system, pest repellent, prototype, solar panel, ESP32.*

## ABSTRACT

Indonesia, as an agricultural country, still faces serious challenges in the farming sector, particularly pest attacks from birds and insects that significantly reduce rice productivity and may lead to crop failure. The use of traditional methods and chemical pesticides is considered ineffective and has negative impacts on health and the environment. This study aims to design a prototype of an automated pest repellent system for agriculture based on the Internet of Things (IoT) that is environmentally friendly, energy-efficient, and easy to operate by local farmers. The research method employed a prototyping approach, which includes problem identification, hardware and software design, testing, and system evaluation. The device consists of a NodeMCU ESP32 microcontroller, a PIR sensor to detect pest movement, relay, ultrasonic speaker, electric net, and solar panel as the main power source. Testing on a miniature rice field model showed that the system could detect pest movement at a distance of approximately 5 meters and automatically activate the ultrasonic speaker with a range of 50–100 meters to repel birds, and the electric net to catch insects at night. Energy consumption is primarily supplied by the solar panel, and a fully charged battery can power the system for about 3 hours without sunlight. The detection success rate reached more than 85% with consistent actuator response. This system has proven to reduce pesticide dependency, is environmentally friendly, and has the potential to increase rice farming efficiency.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

## I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki hasil bumi yang sangat melimpah sehingga berpotensi besar dalam mengembangkan sektor pertanian dan industri pangan. Produk pertanian merupakan bahan konsumsi utama pangan di Indonesia yang melibatkan tenaga kerja tertinggi dalam kegiatan produksi. Sedangkan industri pangan adalah kegiatan bisnis yang tersebar luas dan terbesar di Indonesia. Namun, Indonesia masih menghadapi beberapa krisis pasokan pangan, masalah ekspor-impor, produk pertanian yang tidak mencukupi, dan masalah lingkungan lainnya [1].

Padi menjadi sumber pangan utama, namun produksinya sering terhambat oleh berbagai faktor, terutama serangan hama yang dapat menyebabkan penurunan produksi hingga 15–20% per tahun, bahkan dalam kasus tertentu dapat menimbulkan gagal panen mencapai 100% di beberapa wilayah. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa

kerugian akibat serangan hama padi dapat mencapai Rp18 triliun per tahun. Hama-hama yang banyak ditemui menyerang tanaman padi di sawah antara lain penggerek batang padi (*Sesami ainferens*, *Chilo supresalis*, *Triporiza innotata*, *Nympula depuntalis* dan *Scircophaga incertulas*.), hama wereng coklat dan hijau (*Nilaparvat alugens* dan *Nepotetix apicalis*), walang sangit (*Leptocorixa acuta*), hama lembing hijau (*Nezaraviridula*), keong mas (*Pomacea canaliculata*), tikus (*Ratus-ratus sp*) dan hama unggas (burung) [2].

Berbagai metode pengendalian telah digunakan petani, mulai dari penggunaan orang-orangan sawah, kaleng berisik, hingga penyemprotan pestisida. Namun, metode tradisional dinilai kurang efektif karena memerlukan tenaga manusia secara terus-menerus, sedangkan penggunaan pestisida berlebih terbukti berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan [3]. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi

pengendalian hama yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan hemat biaya.

Dalam Bahasa Indonesia, Perancangan mengacu pada proses perencanaan, perancangan, dan pembuatan suatu sistem atau produk. Proses ini melibatkan serangkaian langkah yang mengubah ide dan spesifikasi abstrak menjadi solusi konkret yang memenuhi persyaratan dan tujuan tertentu. Perancangan menyediakan pendekatan terstruktur untuk memecahkan masalah dan menemukan solusi yang memenuhi kebutuhan spesifik. Perancangan yang efektif membantu menghindari kesalahan yang mahal, penggerjaan ulang, dan penundaan selama fase implementasi. Produk, sistem, dan proyek yang dirancang dengan baik cenderung berfungsi, andal, dan mudah digunakan. Perancangan mendorong pemikiran kreatif dan eksplorasi ide dan solusi baru. Perancangan yang jelas dan terperinci memfasilitasi komunikasi antara perancang dan pengguna [4].

Sebuah konsep yang menghubungkan objek fisik dengan internet sehingga dapat mengumpulkan data sebagai bentuk informasi disebut dengan *Internet of Things*, ia melibatkan penggunaan sensor, *software*, *hardware*, serta jaringan komunikasi untuk menghubungkan berbagai objek fisik ke internet [5]. Jika didasarkan pendefinisianya pada keterkaitan *embedded system* dan *internet protocol*, maka terdapat batasan pada fitur sensing dan *embedded information processing*, perkembangan teknologi *embedded system* yang pesat membuka peluang untuk mengatasi tantangan tersebut. Penggunaan sensor yang lebih canggih, algoritma pemrosesan data yang efisien, serta protokol komunikasi yang ringan dapat meningkatkan presisi data yang diperoleh dari 'things'. Selain itu, pemanfaatan teknologi network address translation (NAT) dan software-defined networking dapat membantu dalam mengelola alokasi alamat IP untuk sejumlah besar *embedded device* [6].

IoT memiliki potensi besar untuk merevolusi sektor pertanian. Dengan memanfaatkan teknologi ini, petani dapat meningkatkan produktivitas, kualitas produk, dan efisiensi, serta berkontribusi pada pembangunan pertanian yang berkelanjutan. Namun, untuk mencapai potensi penuh IoT, diperlukan dukungan kebijakan yang tepat, investasi yang memadai, dan pengembangan sumber daya manusia yang kompeten [7]. Seiring dengan perkembangan teknologi, khususnya *Internet of Things* (IoT), terdapat peluang besar untuk mengintegrasikan solusi berbasis teknologi dalam pengendalian hama pertanian. IoT memungkinkan pemantauan kondisi lahan dan deteksi keberadaan hama secara real-time melalui sensor yang terhubung ke internet. Dengan sistem otomatisasi berbasis IoT, pengendalian hama dapat menjadi lebih efisien, responsif, serta meminimalkan penggunaan pestisida kimia yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia.

Sistem otomatisasi adalah suatu sistem yang dirancang untuk melakukan tugas-tugas tertentu secara otomatis, mengurangi atau bahkan menghilangkan keterlibatan manusia dalam proses tersebut [8]. Sistem otomatis pengusir hama

berbasis teknologi membantu petani mengatasi serangan hama dengan mengintegrasikan *Arduino Mega* dan IoT. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi burung, servo motor untuk menggerakkan alat pengusir, serta sensor kelembapan tanah untuk memantau irigasi. Jangkauan deteksi burung mencapai dua meter dan servo motor bergerak otomatis setiap 10 detik jika tidak ada objek. Pemantauan dapat dilakukan melalui ponsel dalam radius 1–3 km, meski sensor kelembapan memiliki rata-rata error 28%. [9]. Dalam kasus penanggulangan hama pertanian, prototype dirancang mampu mendeteksi dan mengusir hama yang ditargetkan, sehingga petani tidak harus memantau manual secara berkala. Karena hal berulang yang membutuhkan banyak waktu dan tenaga bisa diserahkan kepada alat yang bisa bekerja 24 jam dan lebih efektif [10].

Microcontroller adalah perangkat elektronik kecil yang memiliki kemampuan untuk mengontrol berbagai perangkat dan sistem [11]. Salah satu platform yang terkenal adalah NodeMCU ESP32. Papan pengembangan serbaguna dan canggih yang sangat populer di kalangan komunitas IoT. ESP32 Development board menggunakan ESP 32 sebagai controller-nya. Board ini dapat terhubung ke WiFi dan sudah mendukung bluetooth. Kombinasi kemampuan perangkat keras, fleksibilitas perangkat lunak, dan dukungan yang luas menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai proyek IoT.

Sensor digunakan dalam berbagai pengaplikasian, seperti: mengukur besaran fisika (Suhu, tekanan, cahaya, jarak, kecepatan, percepatan, dan kelembapan), mendeteksi (gerakan, kedekatan, hambatan, bahan kimia, dan gas) memantau kondisi lingkungan (kualitas udara, kualitas air dan cuaca), pengumpulan data untuk penelitian ilmiah (eksperimen, observasi, dan studi pemantauan), serta mengendalikan dan mengotomatisasi sistem [12]. Panel surya merupakan sumber energi listrik yang sangat potensial, terutama untuk proyek-proyek skala kecil seperti *prototype*. Energi matahari yang ditangkap oleh panel surya dapat diubah menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk mengoperasikan berbagai perangkat elektronik. *Figma* adalah sebuah perangkat lunak desain berbasis *cloud* yang sangat populer di kalangan *desainer UI (User Interface)* dan *UX (User Experience)*.

*Fritzing* adalah *software open-source Electronic Design Automation (EDA)* yang dirancang untuk membantu pembuatan prototype elektronik dengan mudah, sehingga dapat diakses oleh berbagai pengguna mulai dari pemula hingga profesional berpengalaman. Antarmuka yang mudah digunakan, pustaka komponen yang luas, dan integrasi dengan alat desain dan simulasi PCB menjadikannya aset yang berharga untuk mempelajari, membuat, dan berbagi proyek elektronik. *Arduino IDE* adalah aplikasi open-source untuk menulis dan mengunggah kode ke papan *mikrokontroler Arduino*.

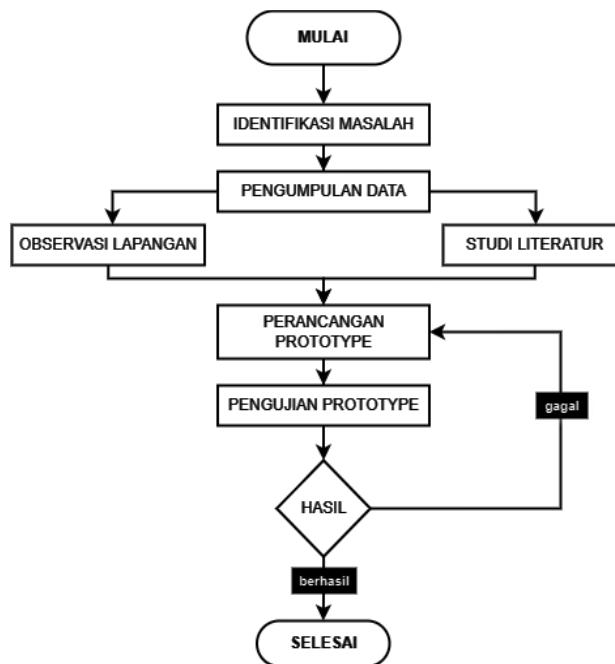
Penelitian serupa telah dilakukan oleh Ratnawati & Setiadi (2019) yang mengembangkan *techno-pest control* berbasis IoT untuk mengusir dan membunuh hama wereng serta

belalang pada tanaman padi. Hasilnya menunjukkan bahwa perangkat tersebut mampu mengurangi populasi hama secara signifikan melalui gelombang ultrasonik dengan frekuensi  $\geq 40$  kHz [13]. Sementara itu, penelitian Suja'i dkk. (2024) merancang alat pengusir hama burung dan tikus berbasis IoT dengan sensor PIR dan ultrasonik yang terintegrasi dengan aplikasi Telegram sehingga petani memperoleh notifikasi secara real-time. Kedua penelitian tersebut membuktikan efektivitas penerapan teknologi IoT dalam pengendalian hama padi [14]. Namun, penelitian ini memiliki perbedaan pada fokus jenis hama yang ditangani serta pendekatan sistem yang dikembangkan, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi baru bagi inovasi teknologi pertanian.

Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih inovatif melalui integrasi IoT dengan panel surya sebagai sumber energi alternatif, serta kombinasi sensor PIR, speaker ultrasonik, dan jaring listrik. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan mampu mengusir hama secara lebih efektif, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

## II. METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode *Prototyping*, yaitu metode pengembangan sistem secara iteratif melalui tahapan perancangan, pembuatan model awal (*prototype*), pengujian, evaluasi, dan penyempurnaan sampai sistem sesuai dengan kebutuhan pengguna. Metode ini dipilih karena sesuai dengan karakteristik penelitian perancangan alat yang memerlukan pengujian berkala dan penyempurnaan bertahap [15].



Gambar 1. Diagram Metode Penelitian

Ada beberapa tahap Berikut adalah beberapa tahapan penelitian yang dilakukan:

1. Identifikasi masalah,
2. Pengumpulan data dilakukan di Desa Geundot, Kecamatan Jangka, Kabupaten Bireuen, Provinsi Aceh, karena wilayah ini sesuai dengan fokus penelitian dan mudah diakses. Data dikumpulkan melalui observasi sawah, wawancara petani lokal, serta studi literatur dari buku, jurnal, artikel, dan laporan penelitian terkait untuk memperoleh informasi yang akurat dan representatif.
3. Perancangan *Prototype*, dimulai dari survei kebutuhan alat dan bahan, dilanjutkan dengan merancang sistem baik hardware maupun softwarenya. Pengujian *Prototype*, dilakukan dengan menguji fungsionalitas dan efektivitas alat pada miniature lahan sawah. Jika ditemukan kendala, dilakukan perbaikan dan pengujian ulang. Ditahap akhir penulis menuliskan hasil yang diperoleh dari perancangan dan pengujian *prototype* tersebut.

### A. Perancangan Prototype

Untuk membangun *prototype* sistem otomatisasi pengusir hama pertanian berbasis IoT, diperlukan beberapa alat dan bahan yang tertera dalam table sebagai berikut:

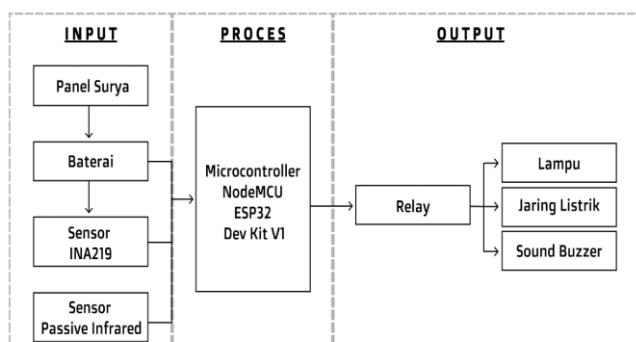
| TABEL I<br>ALAT DAN BAHAN |                          |   |
|---------------------------|--------------------------|---|
| No                        | Alat dan Bahan           | Keterangan  |
| 1                         | Sensor PIR               | Untuk mendeteksi pergerakan hama tertentu dengan jangkaun $\pm 5$ meter secara horizontal   |
| 2                         | NodeMCU ESP32 DEVKITC V1 | Sebagai pusat pengendali sistem untuk mengolah data sensor, mengedalikan akselerator, serta komunikasi IoT untuk monitoring                 |
| 3                         | Relay 2 channel          | Saklar elektronik yang mengontrol tegangan tinggi dari jaring listrik dan speaker ultrasonic sesuai dengan perintah dari NodeMCU            |
| 4                         | Solar Panel              | Sumber energi terbarukan pensuplai energi yang dibutuhkan oleh sistem,  |
| 5                         | Solar Charge Controller  | Pengatur pengisian daya dari panel surya ke baterai agar tidak overcharge   |
| 6                         | Stepdown                 | Menstabilkan tegangan dari baterai/panel surya ke level yang sesuai dengan NodeMCU dan sensor yang terlibat                                 |
| 7                         | Sensor Daya INA          | Sensor arus dan tegangan untuk memonitor konsumsi daya alat secara real-time,   |
| 8                         | Sealed Lead-Acid Battery | Baterai tertutup untuk menyimpan energi dari panel surya untuk suplai energi sistem pada malam hari atau kondisi yang minim cahaya matahari |

|    |                    |  |
|----|--------------------|--|
| 9  | Kabel Jumper       | Penghubung komponen elektronik yang terlibat dalam prototype.  |
| 10 | Speaker Ultrasonik | Speaker yang menghasilkan gelombang ultrasonic dengan frekuensi 15-25 kHz efektif mengacaukan pendengaran burung pada jangkauan 50-100 meter |
| 11 | Jaring Listrik     | Perangkap walangsangit, sehingga tidak keluar dan menyebar ke area sawah di malam hari   |
| 12 | Lampu LED          | Pemancing walangsangit untuk menghampiri perangkap yang terpasang jaring listrik   |
| 13 | Switch on/off      | Saklar manual yang dapat digunakan untuk mematikan sistem sewaktu-waktu terjadi gangguan pada sistem   |

Prototype dirancang agar panel surya menangkap energi, disimpan di baterai, lalu disuplai ke *NodeMCU ESP32* untuk memproses data *sensor PIR* dan *INA*. *NodeMCU* mengontrol relay untuk mengaktifkan speaker ultrasonik atau jaring listrik secara otomatis. Pemantauan dilakukan secara real-time melalui website mobile. Sistem dirancang mendeteksi hama secara real-time, mengusir hama secara otomatis, serta hemat energi dengan panel surya. *Desain user interface* sederhana agar mudah dioperasikan petani local.

### B. Perancangan Sistem

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



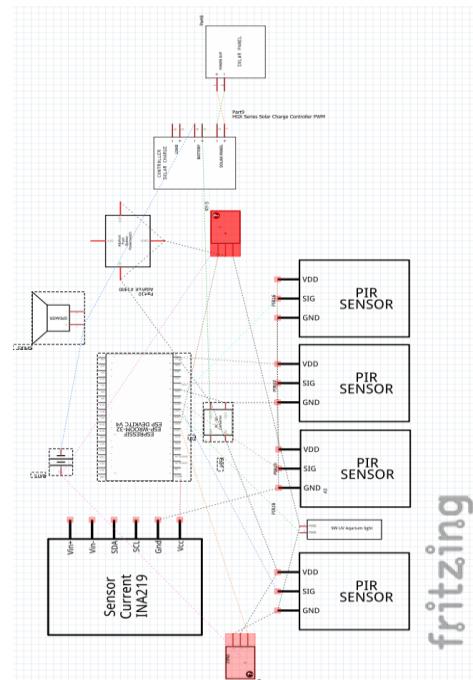
Gambar 2. Blok Diagram Rangkaian Perancangan Prototype

Posedur kerjanya adalah sebagai berikut:

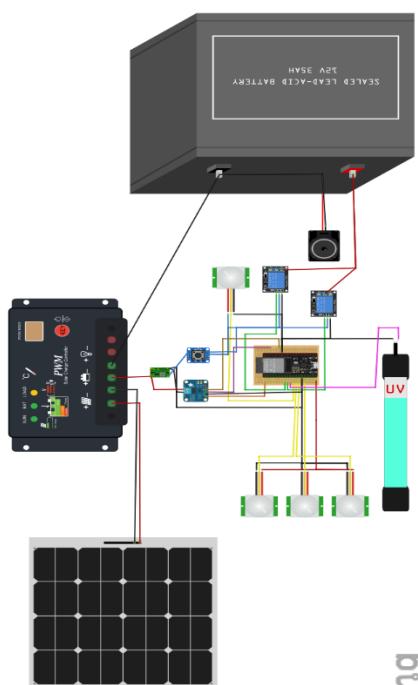
1. Panel surya akan menangkap energi dari cahaya matahari lalu energinya akan dirubah menjadi energi listrik dan di simpan di baterai;
2. Baterai akan menyalurkan energi ke *microcontroller* dan relay;
3. *Microkontroller* yang dalam hal ini peneliti menggunakan *NodeMCU ESP32 DEV KIT VI* mengirimkan pulsa pemicu ke sensor digital;

4. *Sensor INA219* merespon dan mengirimkan data digital ke *microkontroler* berupa jumlah arus dan tegangan yang masuk dan keluar dari baterai;
5. *Microkontroller* menerima data dan mengkonversinya menjadi nilai yang dapat dibaca manusia;
6. *Microkontroller* dapat menyimpan data untuk ditampilkan, dianalisis, divisualisasi, serta diproses untuk mengontrol perangkat lain berdasarkan program yang dibutuhkan oleh pengguna melalui relay untuk mengendalikan tegangan;
7. Data yang diperoleh oleh *microcontroller* juga bisa diakses oleh pengguna melalui website;
8. Relay akan mengontrol energi yang diterima dari baterai untuk diteruskan pada output sesuai dengan perintah *microcontroller*.

Dalam perancangan perangkat keras, sebelum merakit prototype, peneliti merancang diagram sirkuit menggunakan perangkat lunak untuk mendokumentasikan komponen yang terhubung ke *NodeMCU ESP32 DEV KIT VI*, yaitu: tiga *sensor PIR* untuk mendeteksi burung (terhubung ke GPIO 12, 13, 14), satu *sensor PIR* untuk mendeteksi serangga (GPIO 27), *sensor INA219* untuk mengukur tegangan dan arus (SCL ke GPIO 22, SDA ke GPIO 21), serta *relay 2 channel 5V* untuk mengontrol perangkat berdaya tinggi (GPIO 25 dan 33).



Gambar 2. Skema Perancangan Perangkat Keras



Gambar 3. Breadboard Perancangan Perangkat Keras

Sistem pengusir hama ini dibangun menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 sebagai pusat pengendali. Sensor PIR digunakan untuk mendeteksi pergerakan hama, sedangkan speaker ultrasonik berfungsi mengeluarkan suara frekuensi tinggi sebagai pengusir. Selain itu, dipasang jaring listrik sebagai lapisan perlindungan tambahan. Sistem memperoleh suplai daya dari panel surya berkapasitas 20 WP yang terhubung dengan baterai 12V untuk memastikan ketersediaan energi secara berkelanjutan. Komunikasi data antar perangkat menggunakan protokol Wi-Fi, sehingga memungkinkan integrasi dengan aplikasi monitoring berbasis IoT.

#### C. Prosedur Evaluasi Kinerja

Evaluasi kinerja dilakukan melalui beberapa pengujian, yaitu:

1. Uji jarak deteksi sensor PIR untuk mengetahui sejauh mana sensor mampu mendeteksi pergerakan hama.
2. Uji jangkauan speaker ultrasonik untuk memastikan suara dapat terdengar hingga radius tertentu.
3. Uji ketahanan baterai untuk mengetahui lama operasi sistem dalam kondisi tanpa sinar matahari.
4. Uji efektivitas pengusiran hama dengan menghitung persentase keberhasilan sistem dalam mengusir hama yang terdeteksi.

Hasil pengujian ini digunakan untuk menilai sejauh mana sistem dapat bekerja secara efektif, efisien, dan berkelanjutan di lapangan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan prototype sistem otomatisasi pengusir hama berbasis IoT yang berhasil diuji pada skala miniatur di lahan sawah simulasi. Prototype mampu mendeteksi pergerakan hama secara real-time dan mengaktifkan perangkat pengusir secara otomatis sesuai rancangan.

Pengujian menunjukkan sistem dapat beroperasi mandiri dengan sumber energi panel surya, mendeteksi hama pada jarak  $\pm 5$  meter, dan mengusirnya melalui speaker ultrasonik dengan jangkauan efektif 50–100 meter. Hasil ini mendukung tujuan penelitian untuk menyediakan solusi pengendalian hama yang ramah lingkungan, hemat energi, dan dapat diterapkan oleh petani lokal.

Dengan pengembangan lebih lanjut, sistem diharapkan dapat diterapkan pada lahan pertanian nyata untuk meningkatkan efisiensi produksi pangan. Adapun hasil penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

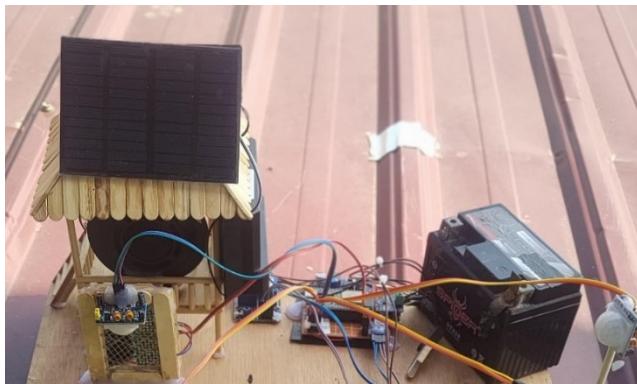
#### A. Hasil Perancangan Perangkat Keras

Berikut adalah tampilan perancangan prototype yang telah dirancang sedemikian rupa.



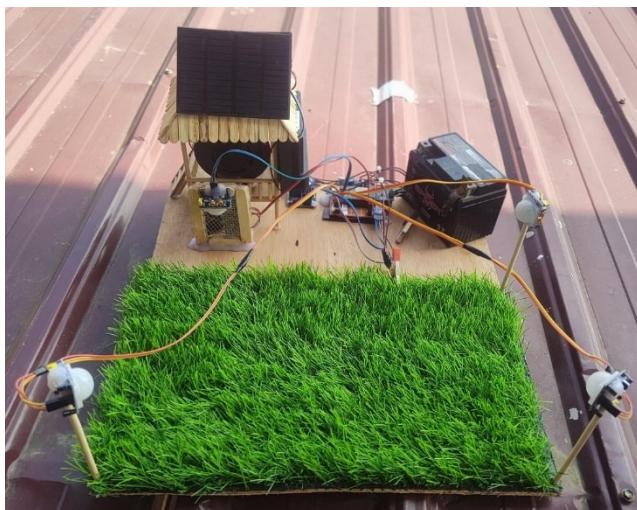
Gambar 4. Tampilan Penempatan Sensor pada Prototype

Gambar di atas menampilkan penempatan sensor PIR di setiap sudut sawah untuk mendeteksi pergerakan burung, juga menampilkan penempatan sensor PIR yang terpasang satu rangkaian dengan perangkap hama walangsangit untuk mendeteksi adanya pergerakan walang sangit yang mendekati lampu LED. Jebakan walangsangit sengaja diletakkan dekat dengan *rangkang* (tempat para petani berteduh) supaya petani dapat dengan mudah mengambil walangsangit yang telah terperangkap di malam hari untuk dibuang dikeesokan harinya.



Gambar 5. Tampilan Pemasangan Panel Surya

Gambar 5 menunjukkan panel surya yang dipasang pada atap rangka *blang* dengan tujuan untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari. Energi yang dihasilkan oleh panel surya tersebut selanjutnya akan digunakan sebagai sumber daya utama pada sistem dan disimpan di dalam baterai untuk memastikan ketersediaan energi secara berkelanjutan pada perangkat yang dirancang.

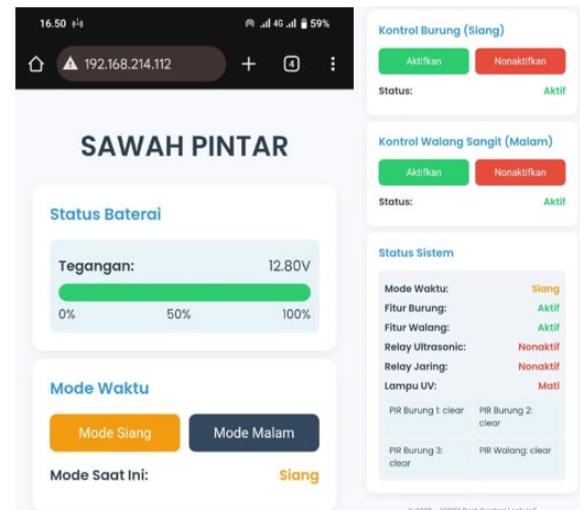


Gambar 6. Tampilan Keseluruhan Prototype

Gambar 6 menampilkan keseluruhan rancangan sistem perangkat keras yang digunakan dalam pengembangan *prototype* sistem otomatisasi pengusir hama pertanian berbasis *Internet of Things* (IoT). Rangkaian perangkat keras ini terdiri dari berbagai komponen utama yang saling terintegrasi, sehingga mendukung fungsi otomatisasi dan pengendalian sistem secara real-time sesuai kebutuhan di lapangan.

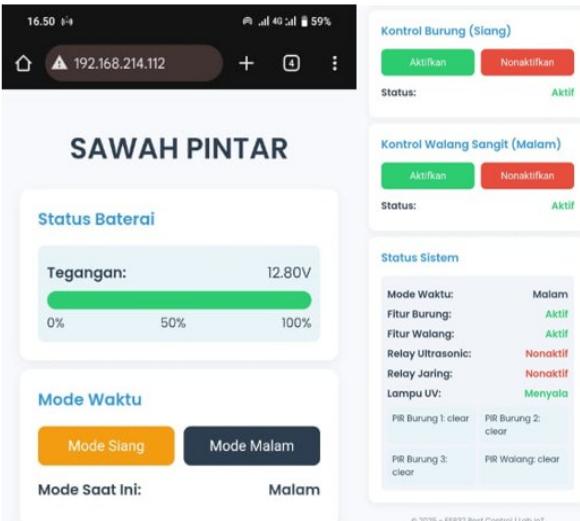
#### B. Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Berikut adalah user interface yang dirancang oleh peneliti dengan mempertimbangkan kemudahan pengguna:



Gambar 7. Tampilan Mobile dengan Mode Siang

Gambar 7 menunjukkan tangkapan layar dari web mobile ketika menggunakan mode siang. Dapat ditandai dengan keterangan dibawah button mode "Mode saat ini: Siang" dan keterangan pada status sistem yang mendeskripsikan "Mode waktu: Siang". Pada mode siang, lampu LED di program nonaktif.



Gambar 8. Tampilan Mobile dengan Mode Malam

Gambar 8 memperlihatkan tampilan antarmuka web mobile saat mode malam diaktifkan. Mode malam ini dapat diidentifikasi melalui keterangan Mode Waktu yang tertera di bawah dua button, yaitu "Mode saat ini: Malam", serta pada bagian status sistem yang menampilkan deskripsi "Mode waktu: Malam". Pada pengoperasian mode malam, lampu LED pada sistem akan tetap menyala secara kontinu sebagai alat yang mengundang ketertarikan walang sangit. Sementara itu, relay jaring hanya akan diaktifkan apabila sensor PIR mendeteksi adanya pergerakan yang mendekati lampu LED. Hal ini dirancang supaya sistem dapat mengoptimalkan penggunaan energi dengan efektif di malam hari.

### C. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem yang terpasang pada miniatur sawah dilakukan dengan beberapa skenario sebagai berikut:

TABEL II  
SKENARIO PENGUJIAN

| Skenario Pengujian           | Hasil Pengujian   |
|------------------------------|---|
| Deteksi hama oleh sensor PIR | Sensor mampu mendeteksi objek yang bergerak dalam radar miniature sawah   |
| Respon aktuator              | 1. Speaker ultrasonic otomatis berbunyi ketika terjadi pergerakan dalam radar sensor PIR<br>2. Jaring listrik otomatis menyala ketika sensor mendeteksi pergerakan mendekati LED  |
| Monitoring IoT               | Web data menampilkan secara real-time status aktuator yang sedang aktif atau mati, melalui web ini juga tertera persentasi daya energi yang masih tersisa di dalam baterai.   |
| Konsumsi energi              | Ketika ada sinar matahari, energi yang dibutuhkan oleh sistem <i>prototype</i> dihasilkan langsung oleh panel surya, namun ketika sudah tidak ada cahaya sama sekali baterai dengan kapasitas 100% dapat menunjang sistem selama $\pm$ 3 jam tergantung seberapa sering sensor menangkap pergerakan dan aktuator otomatis menyala |

Dalam tahap pengujian *prototype*, penulis menguji kepekaan sensor dengan menggerakkan tangan di sekitar sensor pendeksi burung dan perangkap walang sangit secara berulang untuk memastikan fungsi deteksi bekerja konsisten. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem kendali merespons dengan baik. Saat mode siang aktif dan tidak terdeteksi gerakan, serial monitor menampilkan status "clear", relay tetap "OFF" (lampa indikator menyala), dan perangkat sound ultrasonik tidak beroperasi sehingga menghemat energi. Adapun tampilannya adalah sebagai berikut.

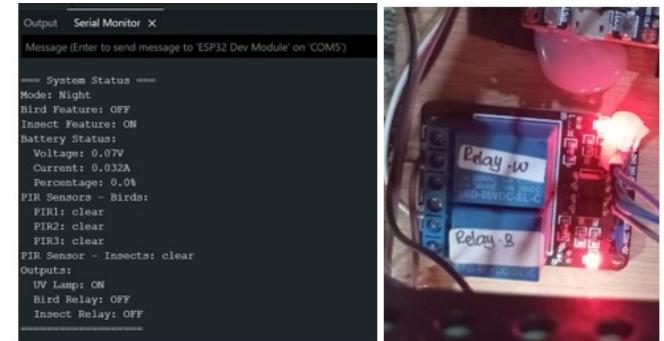


Gambar 9. Serial monitor dan relay mode siang yang tidak mendeteksi gerakan



Gambar 10. Serial monitor dan relay mode siang yang mendeteksi gerakan

Gambar 10 menunjukkan saat sensor mendeteksi gerakan di mode siang, serial monitor menampilkan status "DETECTED (✓)", relay aktif "ON" (lampa indikator mati), dan perangkat sound ultrasonik menyala ("ACTIVE (on)"). Mekanisme ini memicu keluaran suara ultrasonik secara otomatis. Sebaliknya, pada mode malam jika tidak terdeteksi gerakan, status "clear" muncul, relay tetap "OFF" (lampa indikator menyala), dan jaring listrik tidak beroperasi untuk menghemat energi.



Gambar 11. Serial monitor dan relay mode malam yang tidak mendeteksi gerakan

Lain halnya ketika sensor mendeteksi pergerakan, serial monitor menunjukkan status "DETECTED (✓)". Relay kemudian beralih ke posisi aktif "ON", yang ditandai dengan lampu indikator relay mati. Hal ini mengakibatkan perangkat jaring listrik yang terhubung ke relay diaktifkan secara otomatis. Dengan demikian, sistem dapat mengendalikan perangkat listrik secara efisien berdasarkan deteksi gerakan pada malam hari, memberikan keamanan dan penghematan energi. Berikut tampilan serial monitor dan relay.



Gambar 12. Serial monitor dan relay mode malam yang mendeteksi gerakan

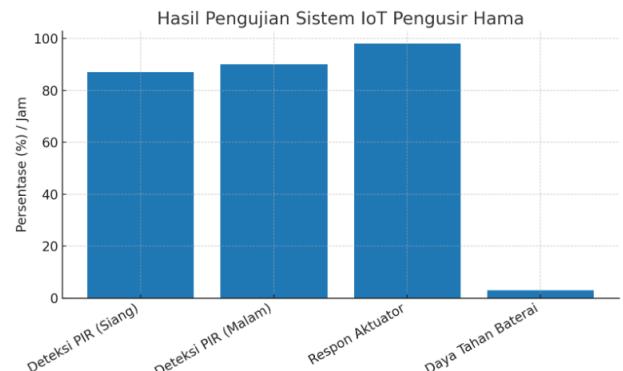
Data pemantauan direkam setiap jam untuk melihat kemampuan sistem mendeteksi gerakan dan merespons otomatis sesuai target. Hasil pengujian manipulasi gerakan dan pemantauan *real-time* tercatat pada tabel deteksi dan respons sistem. Pengujian ini membuktikan sistem kontrol bekerja baik untuk mengendalikan hama burung di siang hari dan walang sangit di malam hari.

TABEL III  
PENGUJIAN KESELURUHAN SISTEM

| Mode  | Sensor       |      |                | Outputs |      |        |
|-------|--------------|------|----------------|---------|------|--------|
|       | Sensor Birds |      | Sensor Insects | UV      | Bird | Insect |
|       | PIR1         | PIR2 | PIR3           |         |      |        |
| Day   | ✗            | ✗    | ✗              | ✗       | off  | off    |
| Day   | ✗            | ✓    | ✗              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✗            | ✗    | ✓              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✓            | ✗    | ✗              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✓            | ✗    | ✗              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✓            | ✓    | ✗              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✓            | ✗    | ✓              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✗            | ✓    | ✓              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✗            | ✓    | ✓              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✗            | ✓    | ✗              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✓            | ✗    | ✗              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✓            | ✗    | ✓              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✓            | ✗    | ✗              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✗            | ✓    | ✗              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✓            | ✓    | ✓              | ✗       | off  | on     |
| Day   | ✗            | ✗    | ✗              | ✗       | off  | on     |
| Night | ✗            | ✗    | ✗              | ✗       | ON   | on     |
| Night | ✗            | ✗    | ✗              | ✓       | ON   | on     |
| Night | ✗            | ✗    | ✗              | ✓       | ON   | on     |
| Night | ✗            | ✗    | ✗              | ✓       | ON   | on     |
| Night | ✗            | ✗    | ✗              | ✗       | ON   | on     |

Berdasarkan hasil pengujian, tingkat keberhasilan sensor PIR dalam mendeteksi pergerakan hama mencapai 87% pada siang hari dan 90% pada malam hari. Respon aktuator berupa speaker ultrasonik dan jaring listrik memiliki delay rata-rata

1–2 detik setelah deteksi, yang masih tergolong responsif. Konsumsi energi juga relatif stabil, di mana panel surya mampu mengisi baterai hingga penuh dalam waktu 4 jam, sementara daya tahan baterai mencapai ±3 jam tanpa cahaya matahari. Data pengujian ini ditampilkan pada Gambar 13 di bawah yang memperlihatkan grafik perbandingan kinerja sensor dan aktuator.



Gambar 13. Grafik hasil pengujian sistem IOT pengusir hama

Karena perancangan *prototype* ini berfokus pada aspek penelitian, alat dan bahan yang digunakan pun masih terbatas pada skala dengan kapasitas dan spesifikasi rendah, namun sistem secara keseluruhan telah dapat diterapkan untuk memproduksi perangkat siap pakai dalam skala industri dengan spesifikasi yang lebih tinggi.

Selain itu, efektivitas sistem juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti intensitas cahaya, kelembapan, serta kondisi jaringan internet. Dengan demikian, meskipun prototype menunjukkan kinerja yang cukup baik dalam skala terbatas, masih diperlukan optimasi lebih lanjut agar sistem dapat diimplementasikan secara luas di lahan pertanian nyata.

#### Keterbatasan Penelitian

1. Skala Pengujian Terbatas – Pengujian dilakukan pada lahan uji terbatas, sehingga efektivitas sistem pada lahan yang lebih luas belum dapat dipastikan.
2. Daya Tahan Energi – Sistem hanya mampu bertahan 3–4 jam, sehingga dibutuhkan kapasitas baterai yang lebih besar atau sistem manajemen energi yang lebih efisien.
3. Jenis Hama – Prototype diuji terutama pada hama burung dan serangga tertentu. Efektivitas terhadap jenis hama lain belum sepenuhnya diuji.
4. Konektivitas Internet – Sistem bergantung pada jaringan internet untuk monitoring IoT. Pada daerah dengan sinyal lemah, performa sistem bisa terganggu.
5. Kesalahan Deteksi – Sensor PIR memiliki potensi error (false detection) akibat gerakan non-hama seperti daun atau angin, sehingga masih perlu integrasi dengan sensor tambahan agar lebih akurat.

#### IV. KESIMPULAN

Prototipe sistem IoT berhasil dirancang untuk deteksi dan respons otomatis terhadap hama pertanian. Sistem ini mengintegrasikan sensor (*field monitoring system*) dan aktuator yang bekerja secara *real-time* untuk mengidentifikasi keberadaan hama (seperti burung dan walang sangit). Data dari sensor diproses secara komputasional untuk mengaktifkan perangkat pengusir hama secara otomatis yang meningkatkan akurasi respons. Desain sistem mengoptimalkan efisiensi energi dan aksesibilitas bagi petani. Arsitektur IoT dirancang dengan menggunakan teknologi *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) untuk meminimalkan konsumsi energi. Sistem ini terintegrasi dengan platform berbasis web/mobile yang memungkinkan petani memantau dan mengontrol perangkat secara *real-time* melalui antarmuka sederhana, sehingga mengurangi ketergantungan pada sumber daya listrik konvensional dan meningkatkan kemudahan operasional.

Kendatipun demikian, dalam penerapan dan pengembangannya, sistem yang telah peneliti rangang tentu membutuhkan perbaikan dan penyempurnaan berulangkali, seiring makin meningkatnya kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. K. Darwin, M. Alfarizi, P. Tunggal, dan W. A. Mangngampe, “Analisis Peluang Bisnis Industri Pertanian Dan Perlindungan Hukum Dalam Pengembangan Bisnis Agro Indonesia,” *Pros. Serina*, vol. 1, no. 1, hal. 2093–2098, 2021, doi: 10.24912/pserina.v1i1.18095.
- [2] S. Sholahuddin, S. N. Huwaida, R. Wijayanti, S. Supriyadi, S. Subagya, dan A. Sulistyo, “Jenis dan Populasi Musuh Alami Hama Padi pada Sistem Tanam Jajar Legowo,” *Agrotechnology Res. J.*, vol. 7, no. 2, hal. 119–125, 2023, doi: 10.20961/agrotechresj.v7i2.79836.
- [3] E. Surmaini *et al.*, “Climate change and the future distribution of Brown Planthopper in Indonesia: A projection study,” *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, vol. 23, no. 2, hal. 130–141, 2024, doi: 10.1016/j.jssas.2023.10.002.
- [4] A. H. Arsa Sekti dan A. Syarief, “Perancangan Aplikasi Mobile tentang Etika Digital pada Pola Asuh Anak Usia Remaja Awal,” *J. Sosioteknologi*, vol. 22, no. 2, hal. 209–223, 2023, doi: 10.5614/sostek.itbj.2023.22.2.7.
- [5] Fitri Handayani, “Tren Masif Internet Of Things (IoT) Di Perpustakaan Fitri Handayani,” *J. Ilmu Perpust. dan Inf.*, vol. 4, no. 2, hal. 194–209, 2019.
- [6] O. M. Prabowo, “Pembatasan Definisi Things Dalam Konteks Internet of Things Berdasarkan Keterkaitan Embedded System dan Internet Protocol,” *J. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 2, hal. 43–46, 2019, doi: 10.47292/joint.v1i2.8.
- [7] M. Ardita, B. Romadhan PDP, dan I. Suryani Faradisa, “Internet of Things (IoT) Untuk Pemantauan Jarak Jauh Kondisi Sistem Repeater Jaringan Internet Di Area Terpencil,” *J. Mnemon.*, vol. 6, no. 1, hal. 84–88, 2023, doi: 10.36040/mnemonic.v6i1.6088.
- [8] S. A. Syafrudin, I. Wahyuni, dan Oktaviani, “Penerapan Metode Waterfall Pada Sistem Otomatisasi Website Pembelajaran Smp Kelas 9,” *J. Ilm. Inform. Komput.*, vol. 28, no. 2, hal. 88–99, 2023, doi: 10.35760/ik.2023.v28i2.8030.
- [9] A. Shokhiburrozaq Alwi *et al.*, “Journal Of Applied Smart Electrical Network And Systems (JASENS) Implementasi Sistem Pengusir Hama Burung Berbasis Arduino untuk Optimalisasi Pertanian: Kajian Monitoring Kelembapan Tanah dengan Soil Moisture Sensor,” vol. 4, no. 1, hal. 29–34, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <http://journal.isas.or.id/index.php/JASENS>
- [10] D. Sumardiyanto, A. Saidah, A. Wijayanti, S. Endah, dan D. Kusuma, “5552-13416-2-Pb,” vol. 5, no. 1, hal. 19–31, 2022.
- [11] M. A. Al Rakib *et al.*, “Smart Agriculture Robot Controlling using Bluetooth,” *Eur. J. Eng. Technol. Res.*, vol. 7, no. 6, hal. 77–81, 2022, doi: 10.24018/ejeng.2022.7.6.2867.
- [12] S. P. Collins *et al.*, “No Title 漢無No Title No Title No Title,” *Pap. Knowl. . Towar. a Media Hist. Doc.*, vol. 7, no. 2, hal. 107–15, 2021.
- [13] D. Ratnawati dan B. R. Setiadi, “Techno-Pest Control Berbasis IoT untuk Proteksi Tanaman Padi,” *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, hal. 129–133, 2019, doi: 10.21831/dinamika.v4i2.27396.
- [14] A. Suja'i, L. D. Samsumar, dan Z. Zaenudin, “Implementasi Alat Pengusir Hama Burung & Tikus pada Tanaman Padi Berbasis Internet Of Things,” *J. Comput. Sci. Informatics Eng.*, vol. 3, no. 4, hal. 211–219, 2024, doi: 10.55537/cosie.v3i4.919.
- [15] W. Widjonarko, “Prototype Sistem Klasifikasi Kelas Pasien Penyakit Pernapasan Berbasis Raspberry Pi Dengan Metode Decision Tree,” *J. Media Elektro*, vol. XI, no. 1, hal. 58–69, 2022, doi: 10.35508/jme.v0i0.6777.