

## Rancang Bangun Alat Pemantau Tingkat Predasi Burung Hantu Pengendali Hama Tikus berbasis IoT

Hilarius Prin Pujiyanto<sup>\*1</sup>, Eko Purwanto Aribowo<sup>2</sup>, Fenty Pandansari<sup>3</sup>, M A A Akbar<sup>4</sup>, R A Hermawan<sup>5</sup>, A B Mahri<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mekatronika, Politeknik ATMI Surakarta

<sup>2-6</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Politeknik ATMI Surakarta

E-mail: prinpujiyanto@atmi.ac.id<sup>\*1</sup>, eko.purwanto@atmi.ac.id<sup>2</sup>, fenty.pandansari@atmi.ac.id<sup>3</sup>, muhammad.20216035@student.atmi.ac.id<sup>4</sup>, reza.20216039@student.atmi.ac.id<sup>5</sup>, ahmad.20216001@student.atmi.ac.id<sup>6</sup>

**Abstrak.** Pemanfaatan burung hantu Jawa (*Tyto Alba Javanica*) sebagai agen hayati dalam pengendalian hama tikus sawah (*Rattus argentiventer*) telah banyak dilakukan melalui penyediaan rumah burung hantu (rubuha) di area persawahan. Data predasi burung hantu memiliki peran penting untuk membuktikan efektivitas metode ini kepada masyarakat. Namun, saat ini pengumpulan data predasi dilakukan secara manual sehingga membutuhkan waktu dan tenaga yang besar. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan predasi burung hantu secara otomatis dan akurat untuk mendukung pengendalian hama tikus. Model yang diusulkan bekerja dengan mengukur perubahan berat burung hantu saat meninggalkan dan kembali ke rubuha menggunakan sensor massa (*load cell*) yang terhubung dengan perangkat IoT untuk pengolahan data di server. Data selisih massa dihitung untuk memprediksi hasil predasi burung hantu. Pengujian sistem dengan menggunakan burung hantu tiruan menunjukkan akurasi prediksi sebesar 98% dari 100 data uji. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model dapat memberikan potensi penyelesaian masalah dalam pemantauan tingkat predasi burung hantu secara otomatis. Penelitian ini memberikan manfaat kemudahan dalam pengambilan data dalam penelitian pemanfaatan burung hantu untuk pengendalian hama tikus sawah.

**Kata kunci:** IoT; burung hantu; rubuha; predasi; load cell

**Abstract.** The utilization of the Javanese Barn Owl (*Tyto alba javanica*) as a biological agent in the control of rice field rats (*Rattus argentiventer*) has been widely implemented through the provision of owl houses (rubuha) in rice fields. Predation data of the barn owl plays a crucial role in demonstrating the effectiveness of this method to the community. However, currently, the collection of predation data is done manually, which requires considerable time and effort. This study aims to design an automatic and accurate monitoring system for barn owl predation to support rice field rat control. The proposed model works by measuring the change in the owl's weight when it leaves and returns to the rubuha using a mass sensor (*load cell*) connected to an IoT device for data processing on a server. The mass difference data is calculated to predict the predation results of the barn owl.

*System testing using a model owl showed a prediction accuracy of 98% from 100 test data. The evaluation results indicate that the model has the potential to address the problem of automatic barn owl predation monitoring. This research provides the benefit of ease in data collection for studies on the use of barn owls in rice field rat control.*

**Keywords:** *IoT; barn owl; nestbox; predation; load cell*

## 1. Pendahuluan

Tikus sawah (*Rattus Argentiventer*) merupakan salah satu jenis hama pertanian yang banyak menyebabkan kerusakan pada area persawahan [1]. Kerugian terhadap hasil panen padi yang diakibatkan oleh serangan hama tikus dapat mencapai 50% dari total hasil panen [2]. Pada kondisi tertentu dimana penanganan populasi hama tikus tidak dilakukan, kerusakan dapat meningkat hingga 100% [3]. Mengingat tingginya kerusakan yang diakibatkan oleh serangan hama tikus pada hasil panen, maka diperlukan pengendalian populasi hama tikus secara tepat sehingga menjamin produktivitas pertanian yang berkelanjutan [4]. Berbagai metode pengendalian terhadap hama tikus telah dilakukan, seperti penggunaan perangkap tikus, rodentisida, perburuan langsung, dan pemanfaatan burung hantu jawa [5], [6], [7], [8]. Pemanfaatan burung hantu jawa sebagai agen hayati pengendali hama tikus sawah menjadi salah satu metode yang dinilai efektif, dan ramah lingkungan dibandingkan dengan metode lainnya.

Burung hantu, terutama jenis *Tyto alba javanica* atau Serak Jawa, merupakan salah satu predator alami tikus yang sangat efektif. Burung hantu dikenal mampu memangsa 2-5 ekor tikus setiap malam, sehingga memiliki potensi yang tinggi dalam pengendalian hama tikus di sawah. Burung hantu adalah hewan nokturnal yang berburu di malam hari dan memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan menangkap tikus dengan sangat efisien [9], [10]. Penggunaan burung hantu sebagai agen pengendalian hama memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode konvensional karena tidak melibatkan penggunaan bahan kimia yang dapat mencemari tanah dan air seperti pada rodentisida. Penggunaan burung hantu sebagai predator alami juga mendukung pelestarian keanekaragaman hayati pada ekosistem pertanian [11], [12]. Untuk memastikan metode-metode yang digunakan untuk pengendalian hama tikus sawah dapat diterima dan diadopsi oleh masyarakat, diperlukan pengujian efektivitas yang komprehensif dan dapat meyakinkan masyarakat akan manfaat serta keberhasilan metode tersebut.

Penelitian [13] mengevaluasi efektivitas berbagai jenis perangkap dalam mengendalikan populasi hama tikus. Dari pengujian yang dilakukan diperoleh data bahwa penggunaan perangkap kurungan (*live trap*) memiliki efektivitas sebesar 14%, perangkap pembunuh (*snap trap*) memiliki efektivitas 12% dan perangkap perekat (lem tikus) sebesar 15%. Efektivitas perangkap tikus dihitung melalui perbandingan antara tikus yang tertangkap dengan perangkap yang terpasang. Pengujian yang dilakukan relatif mudah karena tikus yang terperangkap dapat secara langsung dihitung pada perangkap-perangkap yang dipasang. Namun, perhitungan efektivitas pengendalian hama tikus akan lebih sulit pada penggunaan rodentisida. Rodentisida pada umumnya tidak menyebabkan kematian di tempat sehingga pengukuran efektivitas dilakukan melalui perbandingan umpan yang dipasang, dengan umpan yang dimakan oleh tikus. Penelitian [14] meneliti efektivitas beberapa jenis rodentisida dengan efektivitas maksimum yang dapat dicapai sebesar 80%. Pada pengendalian hama tikus melalui perburuan langsung, pengukuran efektivitas dilakukan berdasarkan lama waktu alat pengasap (*smoker*) memberikan efek kematian terhadap hama tikus sawah. Pengujian yang dilakukan menunjukkan hasil bahwa alat pengasap memerlukan waktu kurang lebih 4 menit untuk membunuh tikus setelah diaplikasikan ke lubang persembunyian tikus [15]. Melalui evaluasi efektivitas berbagai metode pengendalian hama tikus, diperoleh wawasan yang bermanfaat bagi masyarakat untuk memilih metode yang paling tepat dan sesuai dengan kebutuhan.

Evaluasi terhadap berbagai metode pengendalian hama tikus sawah tidak selalu mudah dilakukan. Tingkat kesulitannya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kemudahan mengamati jumlah tikus yang berhasil dibasmi, kemampuan media yang digunakan untuk menunjukkan efektivitas metode tersebut, serta aksesibilitas metode dalam penerapannya di lapangan [13], [14], [15]. Dari beberapa metode Pengendalian hama tikus sawah, penggunaan burung hantu sebagai agen hayati adalah yang paling sulit dilakukan. Hal

ini disebabkan oleh berbagai kendala, seperti sulitnya mengamati jumlah tikus yang berhasil dimangsa, tantangan dalam memantau perilaku burung hantu yang sering berpindah tempat, serta kesulitan mengakses rubuha yang biasanya dipasang pada tempat yang tinggi [16]. Kurangnya data empiris efektivitas pemanfaatan burung hantu jawa sebagai agen hayati pengendali hama tikus menimbulkan keraguan masyarakat untuk mengadopsi teknologi ini sehingga menjadi topik yang menarik untuk diteliti lebih lanjut. Pengujian efektivitas pemanfaatan burung hantu jawa sebagai agen hayati pengendali tikus sawah oleh [17] dilakukan melalui metode wawancara terhadap warga yang berdomisili di dekat area pemasangan rubuha. Metode ini berhasil memberikan gambaran mengenai pendapat masyarakat terhadap pemanfaatan burung hantu dalam pengendalian tikus, namun belum dapat mengukur dengan akurat jumlah tikus yang dimangsa oleh burung hantu. Pendekatan lainnya dilakukan oleh [18], dengan cara mengamati pelet (kotoran yang dimuntahkan burung hantu) yang mengandung sisa-sisa tikus seperti tengkorak dan tulang. Metode lain yang digunakan adalah pemasangan kamera infra merah di dalam kotak sarang (*nest box*) untuk merekam aktivitas burung hantu saat membawa mangsa ke dalam sarang. Namun, metode ini memiliki keterbatasan karena tidak dapat mendeteksi mangsa yang dimakan di luar kotak sarang [19], [20], [21] Oleh karena itu, diperlukan metode yang lebih akurat dan efisien untuk menghitung jumlah tikus yang dimangsa burung hantu, baik di dalam maupun di luar kotak sarang.

Untuk mengatasi hal ini, beberapa penelitian telah mencoba mengembangkan sistem monitoring yang dapat memberikan data yang akurat dan real-time mengenai aktivitas burung hantu dalam menangkap tikus. Metode yang paling umum digunakan untuk memantau aktivitas burung hantu adalah pemasangan kamera infra merah di dalam kotak sarang (*nest box*). Kamera ini merekam aktivitas burung hantu saat membawa mangsa ke dalam sarang. Namun, metode ini memiliki keterbatasan karena tidak dapat mendeteksi mangsa yang dimakan di luar kotak sarang [22]. Hal ini membuat akurasi dalam estimasi jumlah tikus yang berhasil ditangkap oleh burung hantu menjadi terbatas yaitu sebesar 80%. Selain itu, analisis rekaman video membutuhkan waktu dan tenaga manusia untuk mengamati dan menghitung jumlah mangsa, sehingga tidak efisien. Dari sekian banyak upaya penelitian yang dilakukan oleh para peneliti, masih terdapat beberapa permasalahan yang perlu dipecahkan sehingga perhitungan jumlah predasi burung hantu terhadap hama tikus dapat dihitung secara akurat.

Penelitian ini berusaha menutup celah penelitian sebelumnya dimana penyajian data empiris jumlah tangkapan tikus oleh burung hantu masih menjadi tantangan serius bagi para peneliti. pengembangan model melibatkan penggunaan *load cell* dan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk memantau aktivitas burung hantu secara otomatis. Teknologi IoT merupakan salah satu konsep dimana objek-objek fisik atau perangkat sehari-hari dapat terhubung ke internet dan saling berkomunikasi, dan bertukar informasi secara otomatis atau semi-otomatis. IoT memungkinkan integrasi perangkat sehari-hari ke dalam jaringan internet, memfasilitasi komunikasi dan operasi otomatis untuk meningkatkan efisiensi, kenyamanan, dan produktivitas. Implementasi IoT telah banyak dilakukan seperti pada pengaturan suhu, pencahayaan, dan keamanan secara otomatis. Dengan berbagai keunggulan ini, perangkat IoT berpeluang besar untuk diterapkan pada teknologi pertanian.

**Tabel 1.** Perbandingan Metode Pendeteksian

Metode	Jenis Data	Kelebihan	Kekurangan	Akurasi
Analisis Pelet Kotoran	Sisa mangsa (tulang, tengkorak)	Dapat mengidentifikasi jenis mangsa	Tidak <i>real-time</i> , tidak efisien, butuh pengumpulan & analisis manual	Tinggi
Kamera Infra Merah	Rekaman visual burung hantu dan mangsa	Dapat melihat aktivitas predasi di dalam kotak sarang (rubuha)	Tidak mendeteksi mangsa yang dimakan di luar sarang, butuh tenaga manusia	±80%

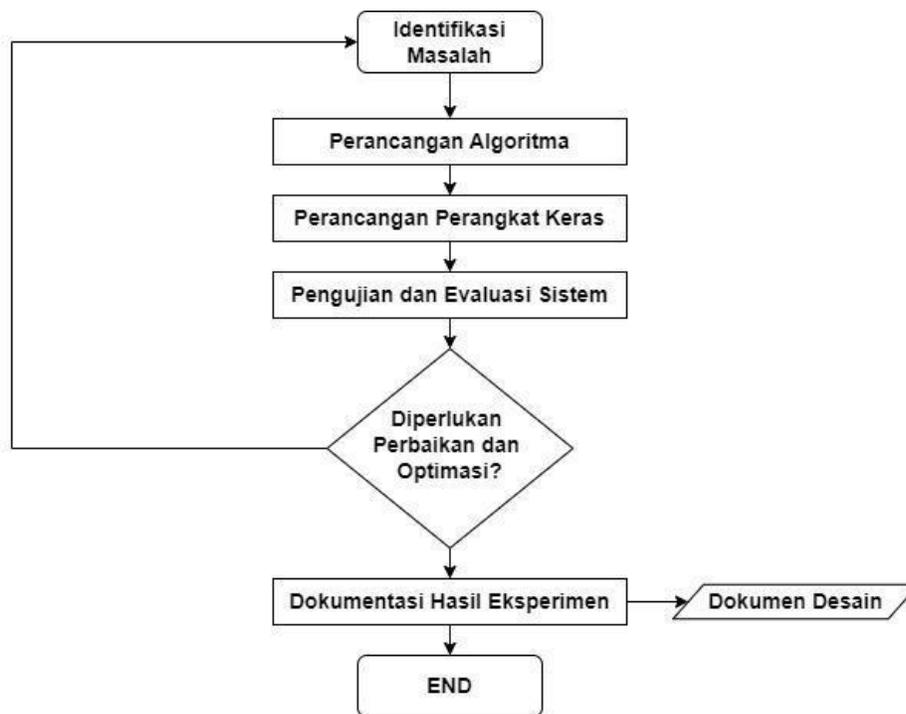
<i>Load Cell</i> (Sensor Beban)	Berat burung hantu sebelum dan sesudah meninggalkan rubuha	<i>Real-time</i> terintegrasi dengan IoT, efisien, hemat tenaga	Tidak dapat mengidentifikasi spesies mangsa, butuh kalibrasi	Tinggi (>80%)
---------------------------------------	--	---	--	------------------

Melalui Tabel 1 di atas, ditunjukkan perbandingan tiga metode yang digunakan untuk memantau efektivitas predasi burung hantu terhadap tikus sawah. Analisis pelet kotoran dan kamera infra merah memiliki akurasi yang cukup tinggi dalam mengidentifikasi mangsa, namun keduanya tidak bekerja secara *real-time* dan membutuhkan tenaga manusia dalam proses pengamatan atau analisis, sehingga kurang efisien untuk diterapkan dalam skala besar. Di sisi lain, penggunaan *load cell* menawarkan keunggulan berupa pemantauan *real-time*, integrasi dengan sistem IoT, serta efisiensi dalam penggunaan tenaga kerja, meskipun tidak dapat mengidentifikasi spesies mangsa. Dengan kelebihan-kelebihan tersebut, *load cell* menjadi metode yang paling potensial untuk pengembangan sistem monitoring predasi burung hantu yang akurat, efisien, dan dapat diterapkan secara luas.

*Load cell* dipasang di dalam kotak sarang untuk mengukur berat burung hantu sebelum dan setelah berburu. Data ini kemudian dikirimkan ke server melalui perangkat IoT, memungkinkan pemantauan dan analisis yang lebih cepat dengan akurasi lebih dari 80% seperti disampaikan pada [22]. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap pertama penelitian adalah perancangan algoritma untuk mendeteksi perubahan berat burung hantu dan menghitung jumlah tikus yang dimangsa. Tahap kedua adalah penentuan spesifikasi perangkat keras, termasuk *microcontroller* ESP8266, modem, sistem manajemen baterai, baterai, dan panel surya. Tahap ketiga adalah pengujian sistem dan pengumpulan data yang relevan dengan permasalahan yang hendak diselesaikan. Tahap keempat adalah analisis dan diskusi yang memberikan gambaran terhadap penyelesaian masalah pemantauan tingkat predasi burung hantu melalui teknologi IoT dengan akurasi lebih dari 90%.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan data primer diperoleh melalui pengujian eksperimental pada purwarupa yang dikembangkan. Data diperoleh melalui beberapa tahapan yang mencakup perancangan sistem, pemilihan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, dan validasi sistem seperti ditampilkan dalam diagram pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Tahapan Penelitian

Pada Gambar 1, tahapan penelitian dimulai dengan identifikasi masalah yang meliputi aktivitas studi literatur pada berbagai penelitian terdahulu. Aktivitas ini dilakukan untuk menemukan *research gap* yang menjadikan penelitian ini penting untuk dilakukan. Data awal yang diperoleh melalui tahapan identifikasi masalah memberikan gambaran mengenai algoritma sistem yang akan dibuat. Perancangan algoritma dilakukan dengan penentuan tahapan proses, pengelolaan masukan dari sensor, dan perancangan antar muka pengguna. Pada tahap ini kebutuhan komputasi dirumuskan sehingga pemilihan perangkat keras yang sesuai dapat dilakukan, dilanjutkan dengan pembuatan sistem keseluruhan. Setiap tahapan dirancang untuk memastikan sistem dapat beroperasi dengan akurasi dan efisiensi yang tinggi melalui pengujian dan analisis sistem. Pada tahap pengujian dan analisis, dimungkinkan adanya perbaikan pada sistem jika hasil pengujian menunjukkan performa yang lebih rendah dari target yang diharapkan. Pada akhirnya, ketika seluruh rangkaian eksperimen selesai dilakukan maka proses dilanjutkan dengan tahapan pengujian dan evaluasi sistem yang menguraikan dan membahas hubungan dari data-data hasil pengujian menjadi informasi penting. Analisis data dalam penulisan karya tulis ilmiah ini menggunakan teknik metode kuantitatif untuk menentukan performa model yang diusulkan serta analisis komparatif untuk membandingkan performa model yang diusulkan dengan penelitian terdahulu. Data pengujian yang telah didapatkan, lalu disusun, diinterpretasikan dan dianalisa untuk memberi penjelasan gambaran terhadap objek penelitian.

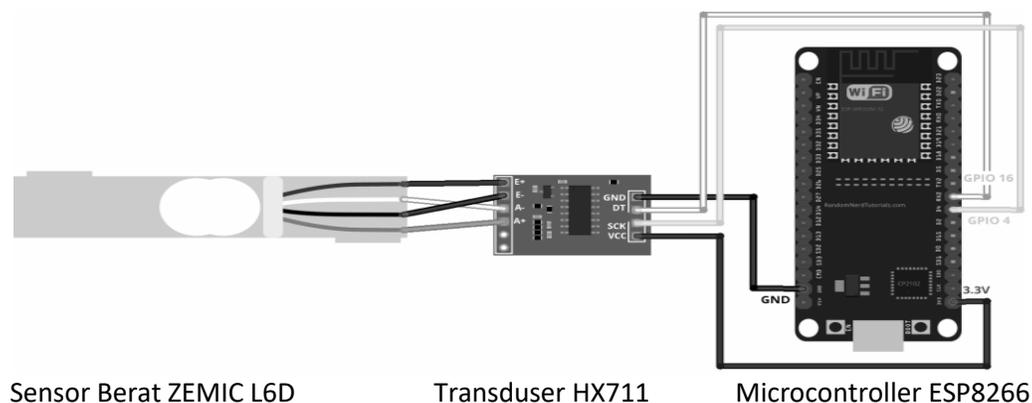
### 2.1 Perancangan Sistem Kelistrikan

Tahap penelitian dimulai dengan merancang sistem dan algoritma untuk mendeteksi perubahan berat burung hantu. Sebuah *load cell* dipasang di dalam kotak sarang untuk mengukur berat burung hantu. *Load cell* bekerja berdasarkan prinsip resistansi yang dibaca menggunakan perangkat transduser. Isyarat dari transduser berupa tegangan analog yang sebanding dengan berat burung hantu. Agar isyarat ini dapat diterjemahkan menjadi data berat burung hantu, sebuah *microcontroller* ESP8266 dipasang pada luaran sensor. *Microcontroller* ESP8266 akan menerjemahkan isyarat dari sensor dan transduser menjadi data berat burung hantu melalui program yang ditanam ke dalamnya. Algoritma program yang dirancang

bekerja dengan membandingkan berat burung hantu sebelum berangkat dan setelah kembali ke rubuha. Perbedaan berat ini digunakan untuk menghitung jumlah tikus yang dimangsa burung hantu. Jika perbedaan berat melebihi 100 gram, algoritma akan menghitung jumlah tikus dengan membagi perbedaan berat dengan rata-rata berat tikus sawah, yaitu sekitar 130 gram. Algoritma dimulai dengan persiapan sistem, termasuk koneksi jaringan, pengecekan sensor, dan persiapan data keluaran. Selanjutnya, program utama menunggu burung hantu meninggalkan rubuha untuk melakukan perburuan. Setelah burung hantu kembali ke kotak sarang, *load cell* akan mengukur berat burung hantu dan membandingkannya dengan berat sebelumnya. Hasil perhitungan jumlah tikus kemudian dikirim ke server web melalui koneksi IoT. Proses ini memungkinkan pemantauan yang akurat dan real-time terhadap aktivitas perburuan burung hantu, serta memberikan data penting untuk analisis lebih lanjut.

### 2.1.1 Sensor dan Perangkat IoT

Pemilihan perangkat keras merupakan tahap penting dalam penelitian ini. Perangkat keras yang digunakan meliputi *load cell*, *microcontroller* ESP8266, modem, baterai, dan panel surya. *Microcontroller* ESP8266 dipilih karena memiliki konektivitas Wi-Fi dan kapasitas pemrosesan yang memadai untuk menjalankan algoritma yang dirancang. Untuk dapat terhubung dengan server, perangkat IoT memerlukan sebuah modem internet. Modem yang digunakan adalah Huawei E5673. Baterai yang dipilih adalah baterai lithium-ion, karena memiliki kepadatan energi tinggi dan dimensi yang kompak, sehingga cocok untuk digunakan dalam sistem IoT yang membutuhkan daya tahan dan efisiensi. Sensor berat yang digunakan dalam sistem ini adalah ZEMIC L6D dengan kapasitas maksimal 3 kilogram, yang dipilih karena kemampuannya dalam mengukur berat burung hantu dewasa dengan tingkat akurasi yang tinggi. Sensor ini dilengkapi dengan amplifier HX711 yang berfungsi untuk memperkuat sinyal analog yang dihasilkan oleh *load cell* serta mengkonversinya menjadi sinyal digital yang dapat diolah oleh *microcontroller* ESP8266 ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Rancangan sistem IoT

*Microcontroller* ESP8266 seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dipilih karena memiliki konektivitas Wi-Fi yang andal serta kapasitas pemrosesan yang memadai untuk menjalankan algoritma yang telah dirancang. Selain itu, *microcontroller* ESP8266 dilengkapi dengan fitur *low-power* yang sangat penting dalam menjaga efisiensi energi, khususnya pada sistem Internet of Things (IoT) yang menggunakan sumber daya terbatas. Dengan kombinasi konektivitas yang baik dan konsumsi daya rendah, ESP8266 menjadi solusi yang optimal untuk aplikasi IoT yang membutuhkan kinerja dan efisiensi secara bersamaan. Modem Huawei E5673 digunakan untuk menyediakan konektivitas internet bagi *microcontroller* ESP8266, sehingga memungkinkan pengiriman data ke server web secara real-time. Modem ini dipilih karena memiliki kompatibilitas yang baik dengan ESP8266 serta kebutuhan daya yang sesuai dengan kapasitas

baterai yang digunakan dalam sistem. Dengan fitur tersebut, modem Huawei E5673 mampu mendukung komunikasi data yang stabil dan efisien dalam aplikasi IoT berbasis jaringan nirkabel. Untuk memberikan daya kepada perangkat sensor dan perangkat IoT diperlukan sistem manajemen daya dan penyedia energi yang memadai. Panel surya digunakan sebagai sumber energi utama untuk sistem ini, mengingat lokasi kotak sarang yang berada di area persawahan yang jauh dari sumber listrik.

### 2.1.2 Perangkat Penyedia Daya

Perancangan perangkat penyedia daya dimulai dengan perhitungan kebutuhan baterai untuk menjamin ketersediaan daya bagi seluruh perangkat kelistrikan. Baterai Lithium-Ion dipilih sebagai sumber daya utama sistem IoT dengan kapasitas yang ditentukan berdasarkan perhitungan total kebutuhan arus seluruh perangkat dikalikan dengan waktu operasional dalam satuan jam. Sistem ini terdiri dari dua perangkat utama yang memerlukan catu daya, yaitu modem Huawei E5673 dengan kebutuhan arus sebesar 400 mA pada tegangan supply 5V, dan *microcontroller* ESP8266 yang mengkonsumsi arus 250 mA pada tegangan 5V. Total kebutuhan arus untuk sistem ini dihitung menggunakan persamaan:

$$I_{total} = I_1 + I_2 \quad (1)$$

dimana

$$I_1 = \text{ arus maksimal modem (A)}$$

$$I_2 = \text{ arus maksimal microcontroller ESP8266(A)}$$

Dari persamaan 1, total arus yang dihasilkan sebesar 750mA. Sebuah sistem yang dirancang untuk bertahan dua hari atau 48 jam tanpa sinar matahari. Perhitungan kebutuhan baterai dibatasi oleh suplai daya ke beban, seperti terlihat pada Persamaan 2.

$$T = I_{total} \times V \times t \quad (2)$$

dimana

$$ET = \text{ Kapasita baterai (Wh)}$$

$$V = \text{ tegangan beban (V)}$$

$$t = \text{ Durasi pemakaian energi (h)}$$

Dari perhitungan persamaan 3 diperoleh kebutuhan energi sebesar 1440 Wh. Energi listrik dari solar PV kemudian disimpan di Sistem Penyimpanan Energi. Sistem penyimpanan energi adalah kumpulan perangkat yang memproses dan menyimpan energi listrik PV surya, termasuk baterai, pengontrol muatan, sistem manajemen baterai, dan pengatur tegangan. Penelitian ini menggunakan baterai Lithium-Ion. Baterai lithium-Ion merupakan salah satu jenis baterai yang memiliki kepadatan energi yang tinggi jika dibandingkan dengan jenis baterai lainnya. Karena baterai jenis ini memiliki kepadatan energi yang tinggi, maka dimensinya dapat diperkecil sehingga tidak memakan banyak ruang di kotak sirkuit. Pertimbangan ini didasarkan pada penelitian [23] yang membicarakan tentang perbandingan kepadatan energi beberapa jenis baterai ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Spesifikasi baterai

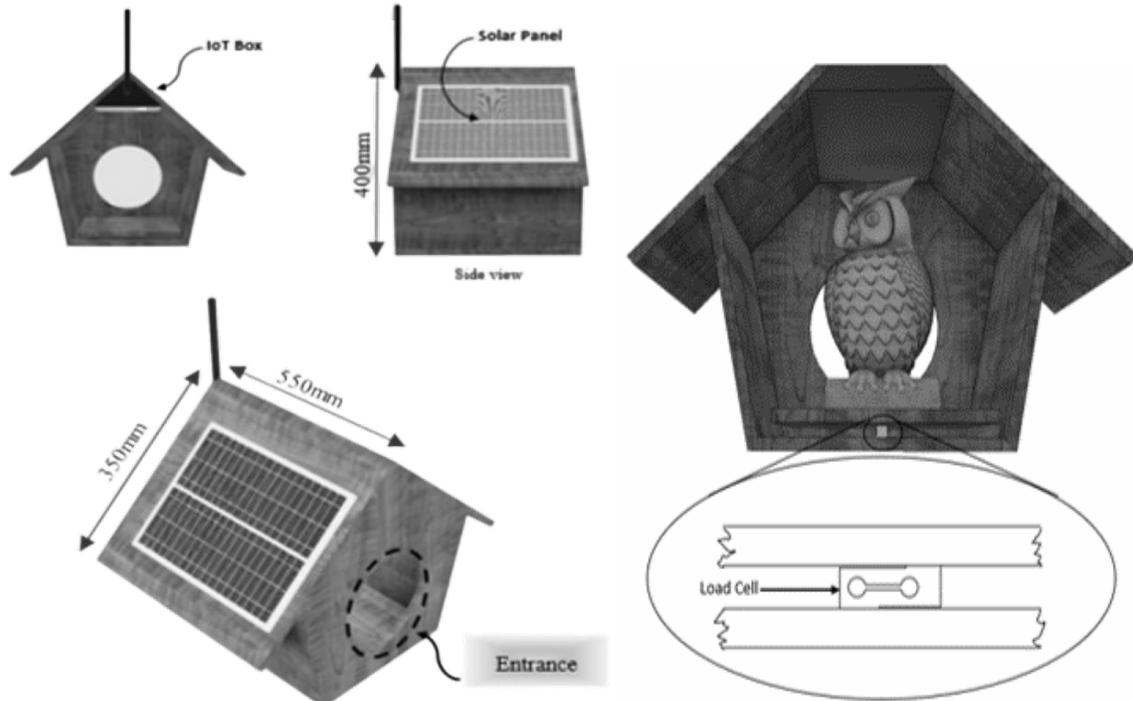
Jenis baterai	Tegangan (V)	Kepadatan Energi (Wh/kg – Wh/l)	Waktu pengosongan untuk ketebalan 5 mm (jj:mm:ss)	Waktu pengosongan untuk ketebalan 1 mm (hh:mm:ss)
Ni-Cd	1,2	40-100	11:15:00	00:05:24
NI-MH	1,2	90-245	27:36:00	00:13:12
Ag-Zn	1,5	110-220	24:45:00	00:11:54
Li	3,6	155-400	45:00:00	00:21:36
Li-polimer	3,6	180-380	42:45:00	00:20:24
Li-ion	3,6	250-1000	112:30:00	00:54:00

Melalui data yang disajikan pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa kepadatan energi pada baterai berjenis lithium ion adalah yang paling tinggi jika dibandingkan dengan baterai jenis yang lain. Selain itu kemampuan pengosongan energi yang tinggi memungkinkan baterai melayani kebutuhan energi pada rangkaian elektronik dalam waktu yang diperlukan. Panel surya digunakan sebagai sumber energi utama untuk mengisi ulang baterai dan menyediakan daya yang kontinu bagi sistem IoT. Spesifikasi panel surya ditentukan berdasarkan kebutuhan daya total sistem serta tingkat isolasi surya harian di lokasi pemasangan. Dalam sistem ini, panel surya dengan kapasitas 185 Watt Peak (WP) dipilih karena mampu menghasilkan daya yang cukup untuk mengisi ulang baterai secara efisien dan mendukung operasi sistem secara berkelanjutan, bahkan dalam kondisi lingkungan yang bervariasi.

## *2.2 Perancangan Rubuha*

Perancangan rubuha mempertimbangkan beberapa aspek diantaranya adalah bentuk dan ukuran rubuha, bahan pembuat rubuha, dan posisi peletakan peralatan elektronik pada rubuha. Ukuran tinggi rubuha disesuaikan dengan anatomi tubuh burung hantu dimana tinggi rata-rata burung hantu adalah 300 mm [24]. Untuk mengakomodir ruang gerak bagi burung hantu, maka ketinggian rubuha dari alas sampai puncak tertinggi adalah 400mm. Selain mempertimbangkan tinggi burung-hantu, ukuran rubuha juga dipengaruhi oleh panel surya yang digunakan sebagai penyedia energi. Panel surya yang digunakan berukuran 300 x 500 mm sehingga ditentukan luasan atap rubuha sebesar 330 x 550 mm yang terbagi menjadi dua bagian ditunjukkan pada Gambar 3. Seluruh komponen elektronik termasuk baterai dan perangkat IoT ditempatkan pada bagian atas rubuha sehingga memberikan akses ruang yang mencukupi bagi pergerakan burung hantu. Pada salah satu sisi rubuha dibuat sebuah lubang melingkar yang menjadi pintu masuk dan keluar bagi burung hantu. Pemilihan bentuk dan ukuran rubuha menjadi pertimbangan yang penting bagi terwujudnya produk yang sesuai, namun pemilihan material rubuha juga perlu dipertimbangkan agar rubuha memiliki ketahanan yang baik terhadap cuaca.

Material yang dipilih harus mampu memberikan keamanan bagi perangkat yang ada di dalam rubuha serta tidak berbahaya bagi burung hantu yang tinggal didalamnya. Kayu jati dipilih sebagai bahan utama pembuatan rubuha karena memiliki ketahanan yang baik terhadap cuaca. Penggunaan bahan alami juga menjamin keamanan bagi burung hantu karena tidak mengandung bahan kimia yang berbahaya bagi kelangsungan hidup burung hantu.



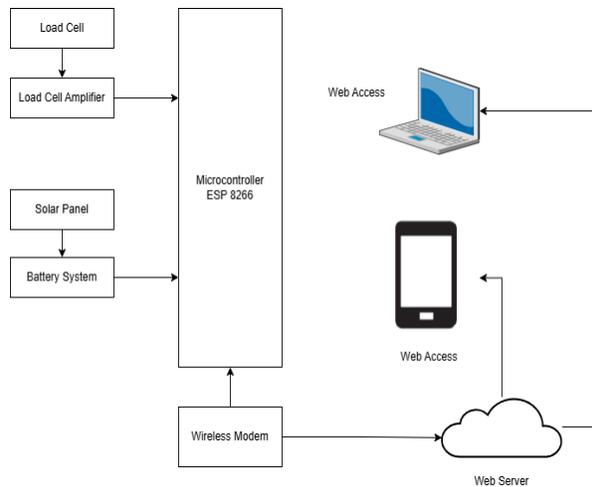
Gambar 3. Rancangan rubuha

### 2.3 Perancangan Perangkat Lunak

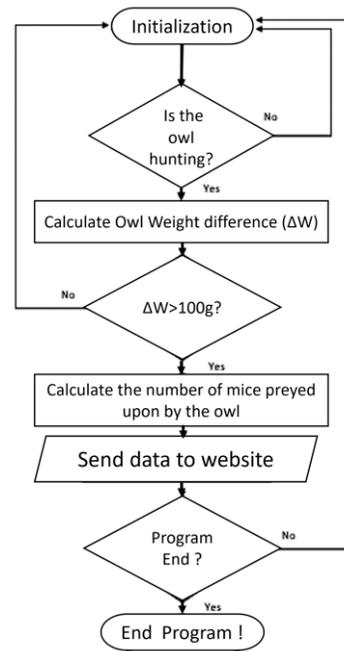
Pengembangan perangkat lunak melibatkan penulisan program untuk *microcontroller* ESP8266 menggunakan bahasa pemrograman C dan Arduino IDE. Program ini mencakup inialisasi sensor, pembacaan data dari *load cell*, pengolahan data, dan pengiriman data ke server web. Algoritma yang dirancang diimplementasikan dalam program ini untuk mendeteksi perbedaan berat burung hantu dan menghitung jumlah tikus yang dimangsa. Perangkat lunak ini juga mencakup konektivitas IoT menggunakan protokol HTTP, yang memungkinkan *microcontroller* ESP8266 mengirim data ke broker web server dan server web kemudian memproses data dan menampilkannya dalam bentuk yang dapat diakses oleh petani melalui situs web yang telah disiapkan. Perangkat lunak untuk *microcontroller* ESP8266 dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C dan Arduino IDE. Perangkat lunak ini mencakup beberapa fungsi utama, yaitu:

- Inialisasi sistem dan koneksi jaringan
- Pembacaan data dari *load cell*
- Pengolahan data untuk mendeteksi perubahan berat dan menghitung jumlah tikus yang dimangsa
- Pengiriman data ke server web menggunakan protokol HTTP

Perangkat lunak ini juga mencakup konektivitas IoT, di mana data yang diperoleh dari *load cell* dikirim ke server melalui protokol HTTP dan kemudian diproses dan divisualisasikan pada website. Perancangan algoritma menggunakan metode pencarian dan pengurutan dimana bagian-bagian dari sistem diwakili dengan diagram blok ditunjukkan pada Gambar 4a, setelah itu dilakukan perencanaan aktivitas fungsi dari setiap perangkat. Dengan pengurutan tersebut kemudian dihasilkan diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 4b.



Gambar 4a Diagram blok sistem



Gambar 4b Diagram alir sistem

**Gambar 4.** Perancangan Algoritma

Algoritma yang ditunjukkan melalui Gambar 4a dan Gambar 4b dirancang untuk mendeteksi perubahan berat burung hantu dan menghitung jumlah tikus dengan penjelasan sebagai berikut: Algoritma dimulai dengan inisialisasi sistem, termasuk pengecekan sensor dan persiapan data keluaran. Setelah sistem siap, algoritma akan menunggu burung hantu melakukan perburuan, yang ditandai dengan perubahan berat pada *load cell*. Ketika burung hantu meninggalkan kotak sarang, beratnya diukur dan disimpan sebagai referensi. Setelah burung hantu kembali, beratnya diukur lagi. Jika terdapat selisih berat yang signifikan (lebih dari sama dengan 100 gram), algoritma akan menghitung jumlah tikus yang dimangsa berdasarkan selisih berat tersebut, dengan asumsi bahwa satu tikus rata-rata memiliki berat 100 gram. Hasil simulasi dari algoritma ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi dan menghitung jumlah tikus yang dimangsa dengan akurasi yang cukup tinggi. Data yang diperoleh dari simulasi juga dikirim ke server web untuk divisualisasikan dalam bentuk grafik dan laporan harian.

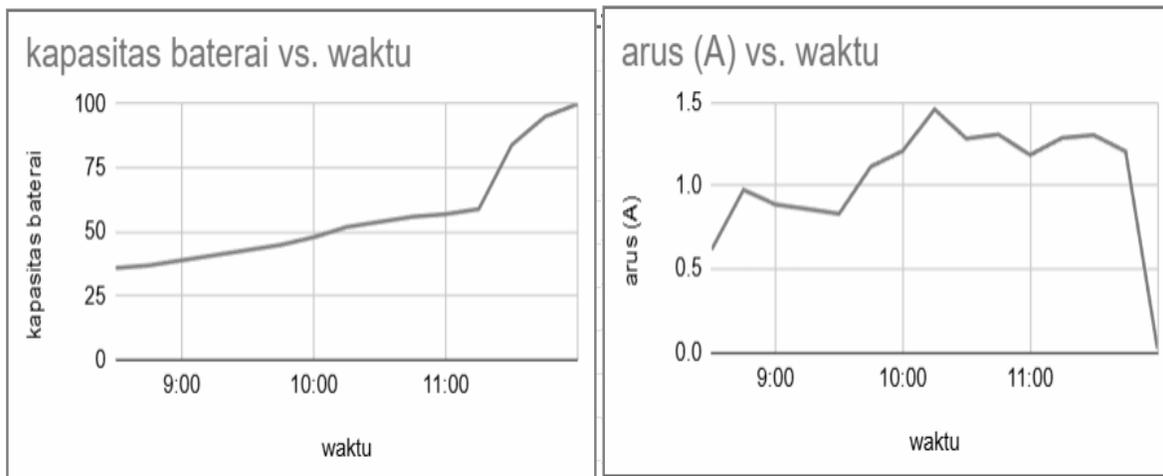
### 2.3 Validasi dan Pengujian Sistem

Tahap terakhir dalam metodologi ini adalah validasi dan pengujian sistem. Validasi dilakukan melalui simulasi perangkat lunak menggunakan Proteus untuk memastikan bahwa algoritma dan perangkat keras berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian sistem dilakukan dengan mengoperasikan sistem di lapangan, di mana kotak sarang dipasang di area persawahan dan burung hantu dibiarkan berburu secara alami. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam kondisi nyata, termasuk akurasi *load cell*, kestabilan koneksi IoT, dan keandalan sumber daya energi dari panel surya. Data yang diperoleh selama pengujian dianalisis untuk memastikan bahwa sistem dapat mendeteksi dan menghitung jumlah tikus yang dimangsa burung hantu dengan akurasi tinggi. Validasi dilakukan melalui simulasi perangkat lunak menggunakan Proteus untuk memastikan bahwa algoritma dan perangkat keras berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian sistem dilakukan dengan mengoperasikan sistem di lapangan, di mana kotak sarang dipasang di area persawahan dan burung hantu dibiarkan berburu secara alami. Pengujian ini

bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam kondisi nyata, termasuk akurasi sensor berat, kestabilan koneksi IoT, dan keandalan sumber daya energi dari panel surya.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Untuk memastikan bahwa sistem perangkat keras yang dirancang dapat beroperasi dengan baik maka diperlukan beberapa langkah pengujian. Tahap pertama pengujian perangkat keras adalah dengan menguji sistem penyedia energi. Pengujian dilakukan dengan mengukur laju pengisian baterai oleh panel surya. Pengukuran arus dan tegangan dilakukan setiap 15 menit, kemudian menyajikan ke dalam grafik pengisian energi. Grafik pengisian energi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5a Proses pengisian baterai

Gambar 5b Arus pengisian baterai

**Gambar 5.** Grafik pengisian baterai

Grafik yang ditunjukkan pada gambar 5a menunjukkan bahwa untuk mengisi baterai dengan sistem solar PV diperlukan waktu selama 3 jam 30 menit untuk mengisi baterai dengan kapasitas maksimal 10.000 mAh dengan intensitas pencahayaan 100% atau cahaya matahari bersinar langsung tanpa ada gangguan awan. Pengujian juga dilakukan pada kondisi berawan dimana dengan pencahayaan 50% dari kondisi tanpa awan, sistem masih tetap dapat melakukan pengisian dengan waktu dua kali lebih lama. Pada Gambar 5b ditunjukkan arus pengisian baterai dimana rata-rata arus pengisian baterai adalah 1.1 Ampere, menunjukkan kesesuaian antara pengujian dengan perhitungan yang dilakukan dengan Persamaan (1). Dengan terselesaikannya pengujian sistem penyedia daya yang dibuktikan dengan kesesuaian antara perhitungan dengan data pengujian, maka tahap pengujian sistem sensor dan IoT dapat dilakukan.

Pengujian massa burung hantu dilakukan pada lingkungan rekaan dengan memanfaatkan burung hantu tiruan. massa burung hantu disimulasikan dengan menggunakan pemberat dengan massa 0.5 kg sedangkan massa tikus disimulasikan dengan pemberat 100 gr. Pemberat diletakkan pada *load cell* kemudian diangkat untuk mensimulasikan burung hantu sedang berburu. Beberapa kondisi kemudian diberlakukan untuk memberikan simulasi burung hantu membawa hasil buruan berupa tikus sawah. Hasil pengukuran sistem sensor dan pengukur massa burung hantu ditampilkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian *load cell*

Pengujian <i>load cell</i>		
Pengujian Ke-	Massa Burung	Hasil Pengukuran
1	100 gram	97.16
2	200 gram	173.27
3	300 gram	258.33
4	400 gram	347.50
5	500 gram	473.22
6	600 gram	563.98
7	700 gram	645.83
8	800 gram	763.98

Pada Tabel 3 diperlihatkan bahwa *load cell* dapat mengukur massa burung hantu namun masih terdapat penyimpangan. Percobaan pengujian menggunakan *load cell* menunjukkan adanya temuan bahwa tipe sensor yang digunakan menghasilkan luaran sinyal yang berbeda dengan pustaka program pembaca *load cell* yang ditanam pada perangkat lunak. Hal ini merupakan kondisi yang normal karena pustaka hx711.h yang digunakan untuk membaca luaran *load cell* tidak dapat mengakomodasi semua tipe sensor dan diperlukan adanya penyesuaian. Hasil pengukuran menunjukkan adanya penyimpangan sebesar -13.5% terhadap nilai aktual. Untuk mengkompensasi error yang terjadi, dilakukan penambahan nilai pada hasil prediksi sebesar 13.5% dari nilai yang terukur.

Melalui kompensasi error yang diberikan, hasil pembacaan sensor mencapai akurasi 96%. Dengan keberhasilan pengujian sesuai target yang diharapkan maka tahapan dapat dilanjutkan dengan pengujian program. Program harus mampu bekerja sesuai dengan algoritma yang telah dirancang sehingga perlu adanya pengujian dan evaluasi sistem. Pengujian sistem dilakukan dengan mengoperasikan sistem pada lingkungan rekaan, di mana kotak sarang dipasang di area laboratorium. Aktivitas predasi burung hantu dilakukan dengan simulasi dengan menggunakan burung hantu dan tikus sawah tiruan. Selama pengujian, data dari sensor *load cell* dikumpulkan dan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam kondisi nyata. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi dengan andal di lapangan, dengan akurasi deteksi yang tinggi dan konektivitas IoT yang stabil. Data yang dikumpulkan selama pengujian menunjukkan bahwa burung hantu mampu menangkap beberapa ekor tikus setiap malam, dengan jumlah yang bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan dan ketersediaan mangsa. Data hasil buruan telah berhasil disimpan ke database melalui koneksi HTTP dan ditampilkan pada web server. Data pengujian yang tersimpan pada database ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian ke	Berat burung hantu sebelum meninggalkan rubuha (g)	Berat burung hantu setelah kembali (g)	Selisih Berat (g)	Jumlah Tangkapan Tikus	Prediksi
1	232.46	232.46	0	0	0
2	221.31	315.22	93.91	1	1
3	315.22	315.15	-0.07	0	0
4	310.15	250.01	-60.14	0	0
5	221.67	385.30	163.63	2	2
....	....	....	....	....	..
95	377.57	365.27	-12.30	0	0
96	301.58	300.21	-1.37	0	0
97	289.52	438.67	149.15	1	2
98	338.67	338.87	0.20	0	0
99	338.22	338.10	0.12	0	0
100	337.68	336.41	-1.27	0	0

Data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi dan menghitung jumlah tikus yang dimangsa burung hantu tiruan pada 100 kali pengujian. Dari 100 kali pengujian diperoleh hasil prediksi benar sebanyak 98 dan prediksi salah sebanyak 2. Dengan demikian akurasi sistem yang dibuat dan diuji adalah sebesar 98%. Hasil prediksi tersebut melebihi target 90% yang diperlukan agar sistem dapat digunakan untuk pemantauan predasi burung hantu. Selain itu, data ini juga membantu dalam memahami pola perburuan burung hantu dan efektivitas mereka sebagai agen hayati dalam pengendalian hama tikus. Melalui pengujian keandalan sistem penyedia daya ditunjukkan Gambar 5, dapat diketahui bahwa sistem penyedia daya mampu memanen dan menyimpan energi guna memberikan daya pada perangkat IoT dan perangkat lainnya. Pengujian *load cell* pada Tabel 4 memberikan gambaran bagaimana sensor dan transduser dapat memberikan nilai berat burung hantu dengan akurasi yang memadai (96%) bagi prediksi berat burung hantu. Pengujian keseluruhan sistem pada Tabel 4 menunjukkan bahwa penggunaan teknologi IoT dan *load cell* dapat memberikan solusi yang efektif dan efisien dalam menghitung jumlah tikus yang dimangsa burung hantu dengan akurasi 98%. Sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu mendeteksi mangsa yang dimakan di dalam kotak sarang, tetapi juga yang dimakan di luar kotak sarang dimana sebelumnya menjadi permasalahan pada penelitian [22]. Hal ini memberikan keuntungan signifikan dibandingkan metode konvensional yang hanya mengandalkan pengamatan visual atau analisis pelet. Keunggulan utama dari sistem ini adalah kemampuan untuk mengumpulkan dan mengirim data secara real-time, yang memungkinkan pemantauan yang lebih akurat dan tepat waktu.

Data yang dikumpulkan dapat digunakan untuk memberikan informasi yang berharga bagi petani mengenai efektivitas burung hantu sebagai agen pengendalian hama. Dengan adanya data yang akurat dan aktual, diharapkan petani dapat lebih percaya dan mendukung penggunaan burung hantu dalam mengendalikan populasi tikus di sawah. Selain itu, penggunaan panel surya sebagai sumber energi memastikan bahwa sistem dapat beroperasi secara berkelanjutan tanpa tergantung pada sumber listrik eksternal. Evaluasi sistem menunjukkan bahwa penggunaan teknologi IoT dan *load cell* merupakan pendekatan yang potensial dalam pengendalian hama tikus. Namun demikian, data yang dihasilkan dalam penelitian ini terbatas pada pengujian di dalam lingkungan rekaan dengan burung hantu buatan. Oleh sebab itu diperlukan perencanaan pengujian di area persawahan langsung dengan objek penelitian adalah burung hantu asli.

Perencanaan pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu mengumpulkan data lokasi, ketinggian rubuha dan ukuran rubuha. Melalui data yang telah dikumpulkan dilakukan perancangan bentuk rubuha yang hendak dipasang. Konsep pengujian rubuha ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Rencana pemasangan Rubuha di area persawahan

Pemasangan rubuha di area persawahan ditunjukkan pada Gambar 6. Rubuha dipasang setinggi 12 meter di atas permukaan tanah sesuai dengan ketinggian rubuha rata-rata yang sering digunakan [17]. Tiang rubuha dibuat dengan menggunakan material pipa besi 2,5 inch dengan pondasi penguat pada bagian bawah. Pintu rubuha selalu menghadap ke selatan agar solar panel dapat menangkap energi matahari sepanjang waktu. Solar panel pada atap sebelah kanan akan menangkap cahaya matahari pada pagi hingga siang hari, sedangkan solar panel pada sisi sebelah kiri akan menangkap cahaya matahari pada siang hingga sore hari. Melalui perencanaan pemasangan, dan berbagai pertimbangan terhadap posisi dan letak rubuha, potensi ketepatan dalam pengambilan data akan memadai. Pertimbangan lain yang diperhatikan dalam studi ini adalah dampak etis ekologis pemanfaatan teknologi terhadap ekosistem burung hantu.

Penggunaan burung hantu sebagai agen hayati pengendali hama tikus seperti disampaikan [1], [2], [4], bukan hanya bermanfaat bagi petani namun, juga penting bagi kelestarian burung hantu sehingga penggunaan burung hantu dilakukan secara etis, dengan mengutamakan prinsip 3R (*replacement, reduction, refinement*) dan memastikan kesejahteraan hewan melalui prinsip *Five Freedoms* yang mengacu pada *Farm Animal Welfare Council* [25], [26].

Pendekatan kualitatif dilakukan untuk menilai dampak teknologi terhadap habitat burung hantu, untuk menghindari adanya ancaman yang membahayakan ekosistem. Penggunaan material utama dari bahan kayu jati bertujuan untuk menjamin keamanan burung hantu dari paparan bahan-bahan industri yang belum teruji keamanannya bagi kelangsungan burung hantu. Pemasangan berbagai perangkat elektronik dirancang pada kompartemen tersendiri seperti diperlihatkan pada Gambar 3, sehingga burung hantu tidak dapat menjangkaunya. Namun demikian diperlukan studi lebih lanjut terkait keamanan penggunaan perangkat wireless untuk kebutuhan koneksi terhadap internet. Melalui analisis kebiasaan burung hantu, dan disesuaikan dengan perancangan teknis pada Gambar 3, teknologi yang diusulkan aman bagi kelangsungan ekosistem burung hantu, bahkan berkontribusi untuk mempermudah peneliti mempelajari perilakunya.

Implementasi skala besar dari alat pemantau ini menghadapi berbagai tantangan, terutama terkait dengan infrastruktur jaringan di lahan pertanian yang sering kali berada di area terpencil dan memiliki akses internet terbatas. Selain itu, keberagaman kondisi geografis dan jenis pertanian memerlukan adaptasi perangkat keras dan perangkat lunak agar sistem dapat berfungsi optimal dalam berbagai lingkungan. Integrasi dengan sistem pertanian juga menuntut interoperabilitas data, sehingga informasi yang dikumpulkan dari alat ini dapat digunakan bersama dengan sistem monitoring lain seperti irigasi pintar atau deteksi hama berbasis sensor. Tantangan lain adalah membangun kepercayaan dan pemahaman petani terhadap teknologi ini agar mereka mau mengadopsi dan memelihara sistem secara berkelanjutan. Dalam konteks ini, pendekatan berbasis bioakustik menunjukkan bahwa optimalisasi sistem monitoring satwa liar, seperti burung, melalui pemisahan komponen suara alami [27] dapat meningkatkan akurasi pengamatan dan menjadi contoh relevan bagi pengembangan sistem pemantauan berbasis IoT di sektor pertanian.

#### **4. Kesimpulan**

Pengujian pada purwarupa yang berhasil dibuat pada penelitian ini menunjukkan peningkatan akurasi sebesar 18% dari penelitian sebelumnya dalam estimasi jumlah tikus yang berhasil dimangsa oleh burung hantu. Sistem yang dibuat mampu melakukan estimasi jumlah predasi burung hantu secara otomatis dimana dalam penelitian sebelumnya perhitungan masih dilakukan secara manual. Dengan menggunakan panel surya sebagai sumber energi, sistem ini dapat beroperasi secara berkelanjutan dengan waktu pengisian hingga penuh selama 3 jam 30 menit, menjamin ketersediaan energi berkelanjutan bagi sistem. Hasil pengujian keseluruhan menunjukkan bahwa sistem mampu merekam aktivitas predasi burung hantu secara efektif dalam mendukung penelitian pengendalian hama tikus secara biologis. Dengan demikian desain dan purwarupa yang dibuat memberikan data yang berharga untuk meningkatkan kepercayaan petani terhadap penggunaan burung hantu sebagai agen hayati.

#### **5. Ucapan Terima Kasih**

-

#### **Referensi**

- [1] Afifah L, Saputro NW, Adhi SR, Enri U. Pengendalian Hama Tikus Sawah Berbasis Hayati dengan Burung Hantu Tyto Alba di Desa Sumberjaya, Kecamatan Tempuran, Kabupaten Karawang. Wikrama Parahita: Jurnal Pengabdian Masyarakat. 2024 May 1;8(2):171-7. <https://doi.org/10.30656/jpmwp.v8i2.7467>
- [2] Yuniti IG, Widyastuti LP, Pratiwi LP, Widyasari NL. Inovasi Teknologi Pengendalian Hama Tikus Dan Teknis Budidaya Terpadu Dalam Mengoptimalkan Produksi Padi. Jurnal Aplikasi dan Inovasi Iptek. 2024 Oct 31;6(1):167-77.
- [3] Munauwar MM, Hendrival H, Baidhawi B, Latifah L, Putri NP, Nurmasiyah N. Pemberdayaan Masyarakat Tani dalam Pengendalian Hama Tikus Secara Terpadu pada Tanaman Padi. Surya Abdimas. 2024 Apr 2;8(2):179-88. <https://doi.org/10.37729/abdimas.v8i2.3779>
- [4] Duarsa MA, Suarna IW, Mahardika IG, Wardi IN. *Tyto alba* Cultivation in Balinese Cultural Perspective. *International Journal of Life Science and Agriculture Research*. 2024 Feb 12;3(2):95-102. <https://doi.org/10.55677/ijlsar/V03I2Y2024-07>
- [5] Saputra BA, Sartiami D, Wiyono S, Nurmansyah A, Priyambodo S. *Daily captured pattern of rice field rat using trap barrier system application in fallow land*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 2023 ;27(1):26-33. <https://doi.org/10.22146/jpti.77117>

- [6] Htwe NM, Sudarmaji, Pustika AB, Brown PR, Stuart A, Duque U, Singleton GR, Jacob J. *Impacts of rainfall and rainfall anomalies on the population dynamics of rodents in southeast Asian rice fields. Pest Management Science*. 2024 Nov;80(11):5574-83. <https://doi.org/10.1002/ps.8260>
- [7] Pustika AB, Kobarsih M, Sudarmaji S. *Population dynamic of rodent at irrigated intensive rice system in Yogyakarta, Indonesia. In AIP Conference Proceedings 2024 Feb 6 (Vol. 2957, No. 1). AIP Publishing*. <http://dx.doi.org/10.1063/5.0184002>
- [8] Li J, Huang E, Wu Y, Zhu C, Li W, Ai L, Xie Q, Tian Z, Zhong W, Sun G, Zhang L. *Population structure, dispersion patterns and genetic diversity of two major invasive and commensal zoonotic disease hosts (Rattus norvegicus and Rattus tanezumi) from the southeastern coast of China. Frontiers in Genetics*. 2024 Jan 8;14:1174584. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1174584>
- [9] Hananiel P. *Perancangan Destinasi Branding Desa Tlogoweru Sebagai Desa Wisata Edukasi (Doctoral dissertation, Unika Soegijapranata Semarang)*. <https://repository.unika.ac.id/id/eprint/16667>
- [10] Sipayung, Ema R. "Evaluasi Serangan Tikus Sawah (Rattus Argentiventer Robb & Kloss) Sebagai Dampak Keberadaan Burung Hantu (Tyto alba) di Kabupaten Deli Serdang Sumatera Utara." 2017. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/55715>
- [11] Dhaifulloh AD, Khayumi BI, Legawa DT, Ansya MK, Radianto DO. *Dampak Penggunaan Pestisida Kimia Terhadap Kualitas Tanah dan Air Sungai di Daerah Pertanian. Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*. 2024 Apr 29;2(2):197-208. <https://doi.org/10.61132/venus.v2i2.280>
- [12] Siregar SN, Suhartono S, Budiyo B. *Literature Review: Penggunaan Pestisida Dengan Gangguan Kesehatan Petani. Jurnal Ilmu Kesehatan Bhakti Husada: Health Sciences Journal*. 2024 Jun 7;15(01):51-60. <https://doi.org/10.61132/venus.v2i2.280>
- [13] Irawati, J., Fibriana, A. I., & Wahyono, B. *Efektivitas pemasangan berbagai model perangkap tikus terhadap keberhasilan penangkapan tikus di Kelurahan Bangetayu Kulon Kecamatan Genuk Kota Semarang Tahun 2014. Unnes Journal of Public Health* 2015, 4(3). <https://doi.org/10.15294/ujph.v4i3.6374>
- [14] Basuki, D. E. P., Santi, I. S., & Tarmadja, S. *Uji Efektivitas Beberapa Macam Rodentisida Terhadap Pengendalian Tikus (Rattus tiomanicus) Di Perkebunan Kelapa Sawit. Jurnal Agromast*, (2017) 2(2).
- [15] Hadi, F. S., Pramitasari, R. E., & Rosadi, M. M. *Efektivitas Smoker (Alat Fumigasi) Sebagai Pengendali Hama Tikus (Rattus Orgentivener)*. In *Prosiding Seminar Nasional Sains, Teknologi, Ekonomi, Pendidikan dan Keagamaan, 2020. (SAINSTEKNOPAK) (Vol. 4, No. 1)*.
- [16] Mahmudin, M. Z. *Efektivitas rumah burung hantu (Rubuha) terhadap keberadaan tyto alba di areal pesawahan: Studi kasus di Kabupaten Sumedang (Doctoral dissertation, UIN Sunan Gunung Djati Bandung) 2018*.
- [17] Yuliana, N., Qibtiyah, K., & Tobroni, A. Y. *Efektivitas Pemasangan Rumah Burung Hantu (Rubuha) Sebagai Pengendali Hayati Dalam Mengatasi Hama Tikus Di Desa Musir Kidul Kabupaten Nganjuk. Fruitset Sains: Jurnal Pertanian Agroteknologi* 2022, 10(3), 116-121.
- [18] Douglas, G. N., Jahan, M., Sharma, R., Vinson, J., Mitchell, G., Nilan, S., Thompson, R. L. *Barn Owl (Tyto alba) Prey from Pellets Collected during Periods of Deficit and Abundant Precipitation in Claiborne County, Tennessee. Southeastern Naturalist*, 2024. 23(1), 43-51. <http://dx.doi.org/10.1656/058.023.0104>
- [19] Schoenefuss, P., Kutt, A. S., Kern, P. L., Moffatt, K. A., Bon, J., Wardle, G. M., Baker, A. M. *An investigation into the utility of eastern barn owl pellet content as a tool to monitor small mammal diversity in an arid ecosystem. Austral Ecology*, 2024. 49(3), e13503. <https://doi.org/10.1111/aec.13503>
- [20] Delaney, D. K., Grubb, T. G., & Garcelon, D. K. *An infrared video camera system for monitoring diurnal and nocturnal raptors. Journal of Raptor Research*, 1998. 32, 290-296.

- [21] Zárbynická, M., Riegert, J., & Št'astný, K. *Diet composition in the Tengmalm's owl *Aegolius funereus*: a comparison of camera surveillance and pellet analysis.* *Ornis Fennica*, 2011. 88(3), 147-153.
- [22] Johnson, M. D., & St George, D. *Estimating the number of rodents removed by barn owls nesting in boxes on winegrape vineyards.* In *Proceedings of the vertebrate Pest conference* , 2020. (Vol. 29, No. 29).
- [23] Ribeiro, J. F., Silva, M. F., Carmo, J. P., Gonçalves, L. M., Silva, M. M., & Correia, J. H. *Solid-state thin-film lithium batteries for integration in microsystems.* In *Scanning Probe Microscopy in Nanoscience and Nanotechnology 3* (pp. 575-619). 2012. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25414-7\\_20](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25414-7_20)
- [24] Asian Agri. (2024). Tyto Alba: Sahabat yang Sigap Menjaga Sawit dalam Senyap. Diakses dari <https://www.asianagri.com/id/media-publikasi/artikel/tyto-alba-sahabat-yang-sigap-menjaga-sawit-dalam-senyap/>.
- [25] S. Wahyuwardani, S. Noor and B. Bakrie, "Etika Kesejahteraan Hewan dalam Penelitian dan Pengujian," *WARTAZOA*, vol. 30, pp. 211-220, 2020.
- [26] R. Ernita, T. M. Setia, F. N. A. Dewi and H. S. Darusman, "MONYET EKOR PANJANG (*Macaca fascicularis*) SEBAGAI HEWAN," in *Seminar Nasional Biologi (SEMABIO) 6* , 2021.
- [27] Colin A. Quinn, Patrick Burns, Christopher R. Hakkenberg, Leonardo Salas, Bret Pasch, Scott J. Goetz, Matthew L. Clark. *Soundscape Components Inform Acoustic Index Patterns and Refine Rstimates of Bird Species Richness.* 2023. *Frontiers in Remote Sensing.* <https://doi.org/10.3389/frsen.2023.1156837>