



Pengembangan Sistem Internet Of Things (IoT) Untuk Pengendalian Suhu dan Kelembaban Sarang Burung Walet Dengan Penyiram Air Otomatis

Muhammad Naufal Raihan ¹, Abd. Hallim ^{2*}, dan Arbansyah ³

¹ Universitas Muhammadiyah; Jl. Ir. H. Juanda No. 15, Kecamatan Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur; e-mail : 2111102441070@umkt.ac.id

² Universitas Muhammadiyah; Jl. Ir. H. Juanda No. 15, Kecamatan Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur; e-mail : ah445@umkt.ac.id

³ Universitas Muhammadiyah; Jl. Ir. H. Juanda No. 15, Kecamatan Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur; e-mail : arb381@umkt.ac.id

* Corresponding Author : Abd. Hallim

Abstract: This study focuses on the design and implementation of an Internet of Things (IoT)-based automated system for controlling temperature and humidity in swallow houses. The object of the study is a prototype swallow house that functions to simulate the natural environmental conditions in swallow breeding buildings. The main problem in this research is the instability of temperature and humidity, which affects the comfort and productivity of swiftlets, as well as the management process, which is still carried out manually and inefficiently. The purpose of this research is to design a system that can monitor and control temperature and humidity automatically and in real-time to create an ideal environment for swiftlets. This system uses a DS18B20 temperature sensor and a DHT22 humidity sensor connected to an ESP32 microcontroller and controlled through a web-based interface. In addition, the system is equipped with a DFPlayer Mini module to play swallow call sounds and a notification feature through the Telegram application. Test results show that the system can respond accurately to changes in temperature and humidity, perform automatic watering when conditions are not ideal, and play swift sounds according to a schedule. The system also successfully displays data in real-time and sends notifications to users. In conclusion, this system has proven effective in automating swift house environment management, improving efficiency, and has the potential to increase swift nest production.

Keywords: Internet of Things; swiftlet house; temperature sensor; humidity sensor; ESP32; sound player; automation; microenvironment

Received: July 19, 2025

Revised: August 2, 2025

Accepted: November 18, 2025

Published: November 24, 2025

Curr. Ver.: November 24, 2025



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license

(<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

Abstrak: Penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem otomatis berbasis Internet of Things (IoT) untuk pengendalian suhu dan kelembapan pada rumah burung walet. Objek penelitian berupa prototipe rumah walet yang berfungsi untuk mensimulasikan kondisi lingkungan alami pada bangunan budidaya walet. Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah ketidakstabilan suhu dan kelembapan yang berdampak pada kenyamanan dan produktivitas burung walet, serta proses pengelolaan yang masih dilakukan secara manual dan tidak efisien. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sistem yang dapat memantau dan mengendalikan suhu serta kelembapan secara otomatis dan real-time guna menciptakan lingkungan yang ideal bagi burung walet. Sistem ini menggunakan sensor suhu DS18B20 dan sensor kelembapan DHT22 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32, serta dikendalikan melalui antarmuka berbasis web. Selain itu, sistem dilengkapi dengan modul DFPlayer Mini untuk memutar suara panggil walet dan fitur notifikasi melalui aplikasi Telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan suhu dan kelembapan secara tepat, melakukan penyiraman otomatis saat kondisi tidak ideal, serta memutar suara walet sesuai jadwal. Sistem juga berhasil menampilkan data secara real-time dan memberikan notifikasi ke pengguna. Kesimpulannya, sistem ini terbukti efektif dalam mengotomatisasi pengelolaan lingkungan rumah walet, meningkatkan efisiensi, serta berpotensi meningkatkan produksi sarang walet.

Kata kunci: Internet of Things; rumah burung walet; sensor suhu; sensor kelembapan; ESP32; pemutar suara; otomasi; lingkungan mikro

1. Pendahuluan

Budidaya burung walet merupakan industri bernilai ekonomi tinggi di Indonesia, yang dikenal sebagai salah satu penghasil utama sarang burung walet di dunia, dengan pasar utama meliputi negara-negara seperti Tiongkok, Hongkong, dan Singapura [19][6]. Sarang burung walet memiliki nilai jual yang tinggi karena dipercaya memiliki manfaat kesehatan, sehingga permintaan global terhadap produk ini terus meningkat [13]. Produksi sarang burung walet sangat bergantung pada kondisi lingkungan di dalam rumah walet, terutama suhu dan kelembaban. Kisaran suhu optimal berada antara 26°C hingga 29°C, dengan kelembaban relatif 70% hingga 90% [3]. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan lingkungan yang optimal guna meningkatkan hasil produksi.

Metode konvensional dalam menjaga kelembaban dan suhu rumah walet umumnya masih dilakukan secara manual, seperti penyiraman air secara berkala dan penggunaan genangan air [10]. Namun, metode ini memiliki keterbatasan, terutama dalam hal efektivitas dan efisiensi tenaga kerja [15]. Selain itu, perubahan iklim yang tidak menentu semakin memperumit usaha dalam mempertahankan kondisi lingkungan yang stabil di rumah walet. Kelembaban yang terlalu rendah dapat menyebabkan burung walet enggan bersarang [5]. Sementara kelembaban yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan jamur yang berpotensi merusak sarang burung walet [17].

Selain kondisi lingkungan, keberhasilan budidaya burung walet juga sangat dipengaruhi oleh kemampuan untuk menarik burung walet liar agar masuk dan menetap di rumah walet [2] [2][20]. Salah satu metode yang umum digunakan adalah teknik suara panggil, yang bertujuan untuk menarik burung walet agar masuk dan membangun sarang di dalam rumah walet [7][16]. Penggunaan suara panggil yang efektif berperan dalam meningkatkan jumlah burung walet yang bersarang dan menetap. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem berbasis IoT yang dilengkapi dengan fitur pemutar suara burung walet menggunakan DFPlayer Mini. Fitur ini diharapkan dapat membantu dalam menarik burung walet agar masuk ke dalam rumah walet dan meningkatkan peluang keberhasilan budidaya.

Pemilihan teknologi Internet of Things (IoT) dalam solusi ini didasarkan pada keunggulan signifikan dibandingkan metode konvensional maupun semi-otomatis [14]. Sistem konvensional yang mengandalkan pemantauan manual tidak hanya memerlukan waktu dan tenaga yang besar, tetapi juga memiliki risiko ketidakstabilan dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembaban. Sistem semi-otomatis, seperti penggunaan timer untuk penyiraman, tetapi kurang adaptif terhadap fluktuasi kondisi lingkungan yang dinamis. Sementara itu, IoT menawarkan kemampuan pemantauan dan pengendalian secara real-time dan berbasis data, yang membuat sistem lebih responsif terhadap perubahan suhu dan kelembaban [11]. Selain itu, IoT memungkinkan integrasi dengan aplikasi berbasis web untuk analisis data historis dan pengambilan keputusan yang lebih akurat [8].

Berdasarkan studi oleh Koresi et al. 2021, ketidakstabilan suhu dan kelembaban memiliki dampak langsung terhadap produktivitas sarang burung walet. Suhu yang terlalu tinggi atau rendah di luar kisaran optimal (26°C–29°C) serta kelembaban yang tidak stabil (kurang dari 70% atau lebih dari 90%) dapat menyebabkan penurunan minat burung walet untuk bersarang [12] sehingga mempengaruhi jumlah dan kualitas sarang yang dihasilkan. Di Kampung Engkuni Pasek, Kutai Barat, penurunan kelembaban saat musim kemarau dikaitkan dengan penurunan produksi sarang walet hingga 25% per periode panen [9].

Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah sistem penyiraman air otomatis yang bekerja berdasarkan data sensor [4]. Sistem ini dapat mengaktifkan penyiraman air secara otomatis ketika kelembaban udara turun di bawah ambang batas optimal, sehingga kondisi lingkungan tetap terjaga tanpa perlu campur tangan langsung dari peternak. Penerapan sistem ini juga berpotensi mengurangi konsumsi air secara berlebihan karena hanya akan menyiram ketika diperlukan.

Namun, dalam implementasi IoT di rumah burung walet, terdapat tantangan teknis yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah ketersediaan jaringan internet di lokasi rumah burung walet yang umumnya berada di daerah pedesaan atau terpencil, di mana sinyal internet sering tidak stabil. Selain itu, konsumsi daya dari perangkat IoT, terutama sensor dan modul komunikasi seperti WiFi, memerlukan manajemen energi yang baik agar sistem tetap berjalan meskipun terjadi gangguan pasokan listrik [1]; [18]. Oleh karena itu, dalam pengembangan sistem ini, perlu dipertimbangkan solusi seperti penggunaan penyimpanan energi cadangan (misalnya baterai atau panel surya) dan optimasi kode pemrograman agar perangkat bekerja secara efisien dalam konsumsi daya.

Dapat disimpulkan bahwa sistem otomatisasi ini juga dapat diintegrasikan dengan platform berbasis internet yang memungkinkan peternak untuk mengontrol dan memantau kondisi rumah walet dari jarak jauh melalui perangkat seluler atau komputer. Hal ini tentunya memberikan nilai tambah bagi peternak, terutama bagi mereka yang memiliki lebih dari satu lokasi budidaya. Dengan adanya data historis yang terekam dalam sistem, peternak juga dapat melakukan analisis terhadap tren perubahan suhu dan kelembaban, sehingga strategi pengelolaan dapat disesuaikan untuk meningkatkan efisiensi produksi.

2. Kajian Pustaka atau Penelitian Terkait

Penelitian sebelumnya yang relevan dengan objek penelitian ini adalah studi-studi yang membahas pengelolaan lingkungan pada rumah burung walet. Beberapa penelitian terdahulu memfokuskan pada faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan budidaya burung walet, seperti suhu dan kelembapan yang optimal, serta pengelolaan lingkungan yang mendukung kenyamanan burung walet. Salah satu penelitian oleh Koresi et al. (2021) menunjukkan bahwa ketidakstabilan suhu dan kelembapan dapat menurunkan minat burung walet untuk bersarang, yang secara langsung berdampak pada produksi sarang. Penelitian ini juga berfokus pada pengelolaan lingkungan di rumah burung walet, tetapi dengan menggunakan teknologi yang lebih canggih, yaitu sistem berbasis Internet of Things (IoT) untuk mengontrol suhu dan kelembapan secara otomatis. Objek penelitian ini lebih spesifik karena mengembangkan sistem yang mengotomatisasi pengelolaan lingkungan tersebut, serta menambahkan fitur pemutaran suara burung walet yang bertujuan untuk menarik burung walet agar masuk dan bersarang di dalam rumah walet. Perbedaan utama terletak pada pendekatan teknologi yang digunakan. Penelitian sebelumnya lebih mengandalkan metode manual atau semi-otomatis untuk mengendalikan suhu dan kelembapan, sedangkan penelitian ini memanfaatkan IoT untuk memberikan solusi otomatis yang lebih efisien dan responsif terhadap perubahan lingkungan secara real-time.

Penelitian sebelumnya banyak menggunakan metode konvensional atau semi-otomatis dalam pengelolaan suhu dan kelembapan, seperti penggunaan timer untuk pengaturan penyiraman atau pengontrolan suhu dan kelembapan secara manual. Sebagai contoh, penelitian oleh Firly et al. (2022) menggunakan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266, namun terbatas pada aspek pengelolaan suhu dan kelembapan tanpa adanya fitur kontrol suara atau pemberitahuan. Penelitian ini menggunakan teknologi IoT dengan mengintegrasikan sensor suhu (DS18B20) dan sensor kelembapan (DHT22) yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Sistem ini tidak hanya mengendalikan suhu dan kelembapan, tetapi juga mengaktifkan penyiraman otomatis, serta pemutaran suara burung walet yang terjadwal. Selain itu, sistem ini terhubung dengan aplikasi berbasis web yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh, serta pemberitahuan otomatis melalui aplikasi Telegram. Perbedaan metode terletak pada penggunaan sistem berbasis web yang memungkinkan kontrol jarak jauh dan integrasi berbagai fitur dalam satu sistem. Penelitian sebelumnya lebih sederhana dalam pendekatannya, sementara penelitian ini menggabungkan beberapa fungsi dalam satu sistem otomatis yang lebih kompleks, termasuk pemberitahuan dan pemantauan real-time.

Kesenjangan yang ditemukan dari penelitian sebelumnya adalah 1) Integrasi Teknologi, sebagian besar penelitian sebelumnya masih mengandalkan metode manual atau semi-otomatis dalam mengelola lingkungan rumah walet, sementara penelitian ini mengadopsi teknologi IoT yang lebih maju, memungkinkan pemantauan dan pengendalian

secara otomatis dan real-time. 2) Fitur tambahan, penelitian ini mengintegrasikan pemutaran suara burung walet yang bertujuan untuk menarik burung, sebuah fitur yang tidak ditemukan pada sebagian besar penelitian sebelumnya yang hanya berfokus pada pengelolaan suhu dan kelembapan. 3) Kontrol jarak jauh dan pemberitahuan, dengan adanya aplikasi berbasis web dan pemberitahuan melalui Telegram, penelitian ini menawarkan kenyamanan bagi peternak untuk memantau dan mengontrol lingkungan rumah walet dari jarak jauh, yang merupakan peningkatan signifikan dibandingkan dengan sistem yang lebih sederhana dalam penelitian terdahulu.

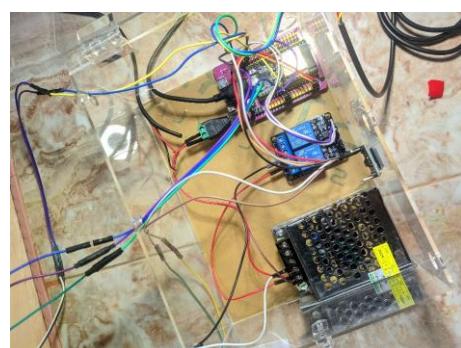
Penelitian ini membawa kemajuan yang signifikan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, terutama dalam hal integrasi teknologi IoT, otomatisasi pengelolaan lingkungan, dan fitur kontrol jarak jauh. Penelitian terdahulu memiliki keterbatasan dalam hal teknologi yang digunakan, dan tidak menggabungkan beberapa fungsi dalam satu sistem. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan solusi yang lebih efisien dan komprehensif untuk pengelolaan rumah burung walet.

3. Metode yang Diusulkan

Penelitian ini merancang sistem otomatis berbasis Internet of Things (IoT) untuk mengendalikan suhu dan kelembapan udara di rumah burung walet. Sistem ini menggunakan sensor suhu DS18B20 dan sensor kelembapan DHT22 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Ketika suhu melebihi 29°C atau kelembapan turun di bawah 70%, sistem secara otomatis mengaktifkan pompa penyemprot air melalui modul relay. Selain itu, DFPlayer Mini digunakan untuk memutar suara panggil burung secara otomatis pada waktu tertentu.

Sistem terhubung dengan aplikasi web yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian kondisi lingkungan secara real-time dan jarak jauh. Perangkat keras yang digunakan meliputi ESP32, sensor DHT22 dan DS18B20, DFPlayer Mini, pompa DC, dan speaker, sedangkan perangkat lunak meliputi Arduino IDE, PHP, MySQL, MQTT, dan Telegram Bot API. Penelitian dilakukan melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, serta pengujian sistem, guna memastikan fungsionalitas dan efektivitas pengendalian lingkungan rumah walet.

4. Hasil dan pembahasan



Gambar 1. Rangkaian sistem penyiraman air otomatis

Pengujian sistem dilakukan untuk menilai kinerja perangkat berdasarkan spesifikasi teknis yang telah dirancang. Fokus pengujian meliputi sensor suhu DS18B20, sensor kelembapan DHT22, penyiram air otomatis, DFPlayer Mini, serta antarmuka web. Sistem juga diuji dalam hal akurasi tampilan data real-time dan pengiriman notifikasi otomatis melalui Telegram saat terjadi kondisi ekstrem. Evaluasi dilakukan pada berbagai variasi suhu dan kelembapan untuk menguji respons dan stabilitas sistem. Hasil pengujian menjadi dasar penilaian kelayakan serta bahan pertimbangan untuk pengembangan lebih lanjut.

4.1 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor dalam penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi kestabilan keluaran data dari masing-masing sensor. Proses ini untuk mengetahui apakah sensor mampu memberikan pembacaan yang stabil dan akurat tanpa mengalami fluktuasi nilai yang tidak wajar. Dengan memastikan bahwa sensor bekerja secara normal dan dalam batas

toleransi yang dapat diterima, maka keandalan sistem secara keseluruhan juga dapat ditingkatkan.

Tabel 1. Kalibrasi Sensor

No.	Sensor	Parameter	Kondisi	Tegangan	Hasil Pengujian
1	DS18B20	Suhu	<29°C	3.23 V	  Suhu: 27.06 °C
					  Suhu: 30.00 °C
2	DHT22	Kelembaban Ruangan	<70%	4.65 V	  Kelembaban: 64.40 %
					  Kelembaban: 72.70 %

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 1, diketahui bahwa sensor DS18B20 dan DHT22 menunjukkan kestabilan pada tegangan keluarannya dalam dua kondisi pengukuran yang berbeda. Sensor DS18B20 menghasilkan tegangan sebesar 3,23 V saat suhu berada di bawah 29°C dengan hasil pembacaan 27,06°C, dan sebesar 3,25 V saat suhu melebihi 29°C dengan pembacaan 30,00°C. Sementara itu, sensor DHT22 mencatat tegangan sebesar 4,65 V pada kelembaban di bawah 70% dengan nilai pembacaan 64,40%, dan sebesar 4,67 V saat kelembaban udara berada di atas 70% dengan hasil pembacaan 72,70%. Selisih tegangan pada masing-masing sensor dalam dua kondisi tersebut sangat kecil dan tetap berada dalam rentang kerja yang konsisten, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua sensor bekerja secara stabil tanpa menunjukkan fluktuasi tegangan yang mengganggu selama proses pengujian. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor telah memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam sistem pengendalian suhu dan kelembaban udara pada sarang burung walet yang dikembangkan dalam penelitian ini.

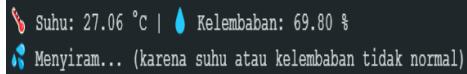
4.2 Pengujian Fungsional Sistem

a. Hasil Pengujian Penyiraman Otomatis

Data hasil pengujian penyiraman otomatis dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Penyiraman Otomatis

NO.	Kondisi Suhu	Kelembaban Ruangan	Status Pompa	Hasil Pengujian
1	<29°C	>70%	Mati	  Suhu: 23.62 °C Kelembaban: 84.30 %  Suhu & Kelembaban normal. Siap menyiram lagi.
2	>29°C	>70%	Nyala	  Suhu: 29.25 °C Kelembaban: 80.50 %  Menyiram... (karena suhu atau kelembaban tidak normal)

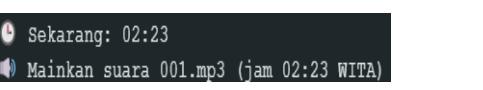
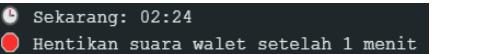
3	<29°C	<70%	Nyala	
---	-------	------	-------	---

Tabel tersebut menyajikan hasil pengujian terhadap fungsi pengendalian penyiram air otomatis yang dikendalikan berdasarkan parameter suhu dan kelembaban udara di dalam ruang sarang burung walet. Sistem dirancang untuk mengaktifkan penyiram air secara otomatis apabila suhu udara melebihi 29°C atau kelembaban udara turun di bawah 70%, karena kondisi tersebut dianggap kurang ideal bagi kelembaban ruangan yang diperlukan oleh burung walet. Sebaliknya, apabila suhu berada di bawah 29°C dan kelembaban berada di atas 70%, pompa tidak diaktifkan karena kondisi lingkungan dianggap cukup sejuk dan lembab. Berdasarkan hasil pengujian, pada kondisi suhu tinggi dengan kelembaban juga tinggi, pompa tetap diaktifkan sebagai upaya menurunkan suhu agar tetap dalam rentang ideal. Sedangkan pada kondisi suhu rendah dengan kelembaban yang juga rendah, sistem tetap memicu penyiraman untuk meningkatkan kelembaban ruangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem telah mampu merespons perubahan kondisi lingkungan dengan baik dan menjalankan fungsi penyiraman secara otomatis berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Informasi yang ditampilkan dalam tabel mencakup nilai suhu udara, kelembaban ruangan, status pompa, dan respons sistem, yang secara keseluruhan menunjukkan bahwa logika kontrol telah berfungsi dengan tepat.

b. Hasil Pengujian Suara burung Walet

Pengujian proses pemutaran suara burung walet dilakukan dengan memantau respon sistem terhadap waktu yang telah dijadwalkan. Setelah waktu sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan, secara otomatis mengaktifkan modul DFPlayer Mini, setelah durasi pemutaran mencapai waktu yang ditentukan (misalnya satu menit), sistem secara otomatis menghentikan suara dan mencatat proses tersebut. Apabila seluruh tahapan berjalan sesuai urutan, maka dapat disimpulkan bahwa fitur pemutaran suara telah bekerja dengan baik dan dapat dianalkan untuk menarik burung walet secara otomatis sesuai waktu yang ditentukan.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Suara Burung Walet

NO.	Status Suara	Status Koneksi	Hasil Pengujian
1	Mati	Sinkronisasi waktu	 
2	Nyala	Terhubung Ke NTP	
3	Mati	Standby	

Proses pemutaran diawali dengan sinkronisasi waktu melalui server NTP guna memastikan bahwa waktu lokal yang digunakan sistem telah sesuai dengan waktu sebenarnya. Setelah waktu sistem menunjukkan pukul 02.23, perintah pemutaran dikirimkan ke modul DFPlayer Mini, dan file suara yang tersimpan pada kartu memori diputar melalui speaker mini eksternal. Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil melakukan proses sinkronisasi waktu dan memulai pemutaran suara secara tepat sesuai jadwal. Status pemutaran dan waktu ditampilkan melalui serial monitor sebagai umpan balik terhadap perintah yang diberikan, dan setelah durasi pemutaran mencapai satu menit, sistem secara otomatis menghentikan suara sesuai dengan logika yang telah ditanamkan dalam program. Informasi yang ditampilkan dalam tabel mencakup status suara, status koneksi, serta uraian hasil pengujian secara rinci mulai dari

proses sinkronisasi waktu, pemutaran suara, hingga penghentian suara. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem telah mampu menjalankan fungsi pemutaran suara secara otomatis dan tepat berdasarkan parameter waktu yang ditentukan, serta dapat diandalkan dalam mendukung proses penarikan burung walet secara alami tanpa menganggu burung secara langsung, dan dilakukan secara terjadwal.

c. Hasil Pengujian Penyiraman Manual

Pengujian pematangan manual dilakukan dengan memberikan perintah manual on dari web dan mengamati respons sistem melalui tampilan serial monitor. Berdasarkan hasil pengujian, sistem memberikan respons berupa aktivasi pompa selama lima detik, kemudian secara otomatis mematikan pompa tanpa bergantung pada kondisi suhu atau kelembaban saat itu. Status pemompaan juga ditampilkan dengan jelas melalui pesan di serial monitor, yang menyatakan bahwa pompa dinyalakan secara manual melalui web, ditandai dengan indikator visual berwarna hijau.

Table 4. Data Hasil Pengujian Penyiraman Manual

NO.	Perintah Manual	Status Pompa	Hasil Pengujian
1	ON	Nyala	 Pompa manual ON dari web selama 5 detik

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi respons sistem terhadap perintah manual dari pengguna serta keandalan dalam mengeksekusi perintah secara tepat waktu dan terkontrol. Meskipun pada pengujian ini hanya dilakukan skenario perintah on, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem berhasil menjalankan logika penyiraman manual dengan baik dan memberikan umpan balik informasi yang jelas kepada pengguna. Dengan demikian, fitur ini dapat digunakan sebagai alternatif kontrol jika penyiraman otomatis tidak diaktifkan atau dibutuhkan tindakan cepat oleh pengguna secara manual.

d. Hasil Pengujian Suara Burung Walet Manual

Pengujian dilakukan dengan mengirimkan perintah on dan off secara manual dari halaman web, kemudian mengamati respons sistem melalui tampilan serial monitor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem merespons perintah dengan baik, di mana saat perintah on dikirimkan, modul DFPlayer Mini langsung memutar suara burung walet, dan status suara ditampilkan sebagai nyala disertai dengan keterangan bahwa perintah suara dikirimkan secara manual dari web. Begitu pula saat perintah off dikirimkan, sistem menghentikan pemutaran suara, status berubah menjadi mati, dan ditampilkan keterangan bahwa pemutaran suara dihentikan melalui perintah manual dari web. Pengujian ini menunjukkan bahwa fitur kontrol manual suara telah berfungsi dengan baik dan dapat digunakan oleh pengguna sebagai alternatif untuk memutar suara burung walet kapan pun dibutuhkan tanpa menunggu jadwal otomatis. Hasil Pengujian suara burung walet manual pada tabel 5.

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Suara Burung Walet Manual

Status Suara	Hasil Pengujian
Nyala	 Suara manual ON dari web
Mati	 Suara manual OFF dari web

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat merespons perintah dengan baik, di mana perintah on berhasil memicu modul DFPlayer Mini untuk memutar file suara walet yang tersimpan pada kartu memori, sedangkan perintah off menghentikan pemutaran suara tanpa

kendala. Status dari pemutaran suara ditampilkan secara real-time melalui serial monitor sebagai umpan balik, sehingga pengguna dapat memastikan bahwa perintah telah dijalankan dengan benar. Berdasarkan hasil tersebut, fitur pemutaran suara manual ini dapat digunakan sebagai alternatif kontrol apabila pemutaran otomatis tidak aktif, atau ketika pengguna memerlukan aktivasi suara secara langsung sesuai kebutuhan.

e. Hasil Pengujian Koneksi Server

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Status Koneksi Server

NO.	Sofware	Status Koneksi	Hasil Pengujian
1	Telegram	Tersambung	 Terhubung ke Telegram
2	Website	Tersambung	 WebServer Siap Menerima Data

Pengujian ini juga mencakup komunikasi antara mikrokontroler ESP32 dengan dua platform eksternal, yaitu layanan Telegram untuk pengiriman notifikasi dan antarmuka web untuk penyimpanan serta visualisasi data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu terhubung dengan Telegram secara sukses, ditandai dengan munculnya pesan bahwa bot Telegram aktif dan siap menerima perintah. Sementara itu, koneksi ke web server juga berhasil, dengan indikator bahwa server lokal dalam keadaan aktif dan data dapat dikirim serta ditampilkan secara real-time. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem memiliki kemampuan koneksi yang stabil terhadap kedua media eksternal yang digunakan, sehingga mendukung pengiriman informasi dan pemantauan kondisi lingkungan sarang burung walet secara jarak jauh dan tepat waktu.

f. Hasil Pengujian Pengiriman Data ke Server

Pengujian dilakukan untuk menilai kemampuan sistem dalam mengirimkan data pembacaan sensor ke server lokal secara rutin dan sesuai dengan struktur komunikasi yang telah dirancang. Setiap kali pengiriman berhasil, server memberikan balasan berupa pesan status yang menunjukkan bahwa data telah diterima dan disimpan ke dalam basis data MySQL.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Pengiriman Data ke Server

NO.	Status Data	Hasil Pengujian
1	Berhasil	 Kirim ke server (interval): http://192.168.100.16/iot_walet/simpan_data.php?suhu=22.69&kelembaban=60.50&status=Sudah%20Siram

ESP32 secara berkala mengirimkan data dengan nilai sensor yang bervariasi, baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi perubahan status pompa. Respons sistem diamati melalui serial monitor dan antarmuka web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengiriman data berjalan tanpa hambatan selama jaringan Wi-Fi dalam keadaan stabil. Data yang diterima server dapat ditampilkan secara real-time pada dashboard monitoring dan dicatat dalam tabel riwayat. Respons yang konsisten dari server menunjukkan bahwa komunikasi dua arah antara mikrokontroler dan server berfungsi dengan baik. Dengan demikian, sistem ini terbukti mampu menjalankan proses pengiriman data secara berkesinambungan dan dapat diandalkan dalam mendukung kebutuhan pemantauan kondisi lingkungan sarang burung walet secara otomatis.

g. Pengujian Telegram

Pengujian fitur notifikasi melalui aplikasi Telegram dilakukan untuk menilai kemampuan sistem dalam mengirimkan informasi penting secara langsung kepada pengguna terkait kondisi lingkungan sarang burung walet. Notifikasi ini berfungsi sebagai peringatan ketika suhu atau kelembaban udara berada di luar batas yang telah ditentukan, serta sebagai konfirmasi

ketika sistem melakukan aksi otomatis tertentu, seperti penyiraman atau pemutaran suara walet.

1) Hasil Pengujian Notifikasi Penyiraman Otomatis

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi respon sistem dalam mendeteksi kondisi lingkungan berdasarkan parameter suhu dan kelembaban udara di dalam sarang burung walet. Sistem dirancang agar penyiram air aktif secara otomatis apabila suhu melebihi 29°C atau kelembaban udara turun di bawah 70%, sesuai dengan batas ambang yang telah ditentukan. Data suhu diperoleh dari sensor DS18B20, sedangkan kelembaban diukur menggunakan sensor DHT22. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Notifikasi Penyiraman Otomatis

NO.	Kondisi Suhu	Kelembaban Ruangan	Status Pompa	Hasil Pengujian
1	<29°C	>70%	Mati	 *Suhu & Kelembaban Normal* Suhu: 27.8°C Kelembaban: 96.8% 02:53
2	>29°C	>70%	Nyala	 *Penyiraman Otomatis Aktif!* Suhu tinggi Suhu: 29.1°C Kelembaban: 92.7% 02:54
3	<29°C	<70%	Nyala	 *Penyiraman Otomatis Aktif!* Kelembaban rendah Suhu: 28.1°C Kelembaban: 68.6% 02:53

Tabel 8 terdapat tiga skenario pengujian yang dilakukan. Pada pengujian pertama, suhu berada di bawah 29°C dan kelembaban udara melebihi 70%, sehingga sistem tidak mengaktifkan pompa karena kondisi dianggap masih dalam rentang ideal. Pada pengujian kedua, suhu tercatat melebihi 29°C meskipun kelembaban masih tinggi. Dalam kondisi tersebut, sistem mengaktifkan pompa karena suhu telah melewati ambang batas yang ditentukan. Pengujian ketiga menunjukkan suhu di bawah 29°C, namun kelembaban udara turun di bawah 70%, yang juga memicu pompa untuk menyala. Hal ini menunjukkan bahwa sistem akan menyalakan pompa apabila salah satu dari dua parameter berada di luar batas normal.

2) Hasil Pengujian Notifikasi Suara Burung Walet Otomatis

Pengujian bertujuan untuk menilai apakah sistem mampu memberikan notifikasi secara otomatis kepada pengguna melalui aplikasi Telegram saat fitur pemutaran suara burung walet dijalankan pada waktu yang telah ditentukan. Sistem dijadwalkan untuk memutar suara burung walet setiap hari pada pukul 02.23 WITA selama satu menit menggunakan modul DFPlayer Mini, yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Pemutaran suara bertujuan untuk menarik burung walet agar masuk ke dalam bangunan secara alami dan terjadwal. Tabel 9 hasil pengujian Notifikasi Suara Burung Walet Otomatis.

Tabel 9. Hasil Pengujian Notifikasi Suara Burung Walet Otomatis

NO.	Status Suara	Hasil Pengujian
1	Nyala	 *Pemutaran Suara Burung Walet Dimulai* Jam: 02:23 WITA 02:23
2	Mati	 *Pemutaran Suara Burung Walet Berakhir* Durasi: 1 menit 02:24

Hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 9 sistem berhasil mengirimkan dua jenis notifikasi kepada pengguna. Notifikasi pertama dikirim saat waktu menunjukkan pukul 02.23, berisi informasi bahwa pemutaran suara burung walet telah dimulai. Notifikasi kedua dikirim setelah satu menit, yang menginformasikan bahwa pemutaran suara telah dihentikan secara otomatis. Pesan notifikasi disampaikan dengan jelas dan sesuai dengan waktu aktual, serta dapat diterima oleh pengguna.

h. Pengujian Website

Pengujian pada sistem website dilakukan untuk menilai sejauh mana antarmuka berbasis web yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 mampu menjalankan fungsinya dalam mendukung proses pemantauan dan pengendalian kondisi lingkungan pada sarang burung walet. Website ini dikembangkan sebagai pusat informasi yang menampilkan data sensor suhu dan kelembaban secara real-time, serta menyediakan fitur kontrol manual penyiram air yang dapat diakses pengguna dari jarak jauh.

Dalam proses pengujian, aspek yang diuji mencakup keakuratan tampilan data sensor, kecepatan pembaruan informasi, serta respons sistem terhadap perintah pengguna. Data yang dikirimkan dari ESP32 ke server dikemas dalam parameter URL dan disimpan ke dalam basis data MySQL melalui skrip PHP, lalu ditampilkan kembali di halaman utama website dalam bentuk angka, grafik, serta tabel riwayat. Selain menampilkan data, halaman web juga menyediakan tombol "nyalakan pompa" untuk mengaktifkan penyiram air secara manual sebagai alternatif dari sistem otomatis.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh data suhu dan kelembaban berhasil ditampilkan dengan akurat dan konsisten, mengikuti waktu pengambilan data secara berkala dari mikrokontroler. Respons sistem terhadap perintah manual dari pengguna juga berjalan dengan baik, di mana penyiram air langsung aktif saat perintah diberikan, lalu berhenti setelah durasi penyiraman terpenuhi. Tidak ditemukan kesalahan tampilan atau keterlambatan dalam komunikasi data antara ESP32 dan server.

1) Hasil Pengujian Penyiraman Otomatis melalui Website

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa status penyiram air yang dikendalikan secara otomatis berdasarkan suhu dan kelembaban udara dapat ditampilkan secara akurat pada antarmuka website. Sistem dirancang untuk menyalakan pompa apabila suhu udara melebihi 29°C atau kelembaban udara turun di bawah 70%, sebagai bentuk pengendalian lingkungan di dalam sarang burung walet. Nilai sensor dikirimkan secara berkala ke server, dan informasi suhu, kelembaban, serta status pompa ditampilkan langsung di halaman web, baik dalam bentuk data terkini maupun tabel riwayat.

Tabel 10. Hasil Pengujian Penyiraman Otomatis Melalui Website

Kondisi Suhu	Kondisi Kelembaban Ruangan		Status Pompa	HASIL PENGUJIAN		
	<29°C	<70%		23.62	69.4	POMPA ON
>29°C	>70%	Nyala	29.25	80.5	POMPA ON	
<29°C	>70%	Mati	28.87	79.7	POMPA OFF	

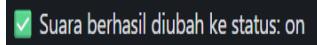
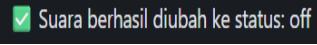
Tabel 10 memperlihatkan hasil pengujian status pompa berdasarkan kombinasi nilai suhu dan kelembaban udara yang berbeda. Pada pengujian pertama, suhu berada di bawah 29°C dan kelembaban juga rendah (di bawah 70%), sehingga sistem mengaktifkan pompa

untuk meningkatkan kelembaban ruangan. Pengujian kedua menunjukkan bahwa suhu melebihi 29°C dengan kelembaban tetap tinggi, dan dalam kondisi ini sistem juga mengaktifkan pompa untuk menurunkan suhu udara. Sementara itu, pada pengujian ketiga, suhu masih rendah dan kelembaban cukup tinggi, sehingga sistem tidak mengaktifkan pompa karena kondisi lingkungan dianggap stabil dan tidak membutuhkan penyiraman.

2) Hasil Pengujian Suara Burung Walet Manual melalui Website

Pengujian suara burung walet manual melalui website dilakukan untuk mengevaluasi fungsi pemutaran suara burung walet yang dikendalikan secara manual melalui antarmuka web. Fitur ini disediakan sebagai alternatif dari pemutaran suara otomatis yang berjalan berdasarkan waktu, dan memungkinkan pengguna untuk mengaktifkan atau menghentikan suara kapan saja secara jarak jauh. Pemutaran suara dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan modul DFPlayer Mini, sedangkan perintah pemutaran dikirim melalui tombol yang tersedia pada halaman website.

Tabel 11. Hasil Pengujian Suara Burung Walet Manual Melalui Website

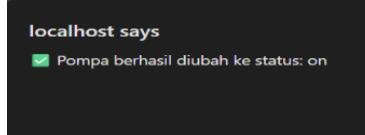
NO.	Status Suara	Hasil Pengujian
1	Nyala	
2	Mati	

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 11 pengguna memberikan perintah nyalakan suara dan matikan suara dari tampilan web, dan sistem merespons setiap perintah dengan menjalankan fungsi pemutaran atau penghentian suara secara langsung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa saat tombol nyalakan suara diklik, DFPlayer Mini mulai memutar suara burung walet melalui speaker eksternal. Kemudian, saat tombol matikan suara diaktifkan, suara langsung dihentikan tanpa jeda atau gangguan. Setiap perubahan status pemutaran juga ditampilkan secara real-time pada serial monitor, sebagai konfirmasi bahwa perintah telah diterima dan dijalankan.

3) Hasil Pengujian Penyiraman Manual melalui Website

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi fungsi kendali manual penyiraman air yang diakses melalui antarmuka website. Fitur ini dirancang sebagai alternatif dari sistem penyiraman otomatis, dan memungkinkan pengguna mengaktifkan penyiram air secara langsung dengan menekan tombol yang tersedia di halaman web. Perintah yang dikirimkan dari website diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan diteruskan ke modul relay untuk menghidupkan penyiram air.

Tabel 3. Hasil Pengujian Penyiraman Manual melalui Website

NO.	Status Pompa	Hasil Pengujian
1	Nyala	

Selama pengujian, tombol Nyalakan Pompa ditekan melalui website, dan sistem memberikan respons berupa aktivasi penyiram air selama lima detik. Setelah waktu tersebut

tercapai, pompa dimatikan secara otomatis tanpa memerlukan interaksi tambahan dari pengguna. Status pompa ditampilkan secara real-time pada serial monitor dan dapat dikonfirmasi oleh suara serta getaran fisik dari pompa yang aktif. Sistem tidak memerlukan kondisi suhu atau kelembaban tertentu untuk menjalankan fungsi ini, karena logika kendali sepenuhnya berdasarkan perintah manual dari pengguna.

4.3 Implementasi Alat

Pelaksanaan implementasi alat dalam penelitian ini bertujuan untuk merealisasikan rancangan sistem berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dirancang sebelumnya, sebagai solusi untuk mendukung otomatisasi dalam pengendalian suhu dan kelembaban pada sarang burung walet. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. Sensor yang dimanfaatkan antara lain sensor mengukur suhu udara serta sensor untuk mendeteksi kelembapan. Berdasarkan data yang diperoleh dari sensor-sensor tersebut, sistem akan menjalankan fungsi secara otomatis seperti akan mengaktifkan aktuator seperti penyiram air melalui modul relay untuk meningkatkan kelembaban, serta menjalankan pemutar suara burung walet melalui modul DFPlayer Mini sesuai jadwal yang telah ditentukan.



Gambar 1. Proses Penyiraman Otomatis Sarang Burung Walet

Gambar 2 menunjukkan mekanisme penyiraman otomatis pada rumah burung walet yang dikendalikan oleh sistem berbasis sensor suhu DS18B20 dan kelembapan DHT22. Jika suhu melebihi 29°C atau kelembapan turun di bawah 70%, sistem mengaktifkan pompa air mini DC 5V melalui modul relay untuk menyemprotkan air dan menstabilkan kondisi lingkungan. Penyiraman berlangsung sesuai durasi yang diprogram, lalu pompa otomatis berhenti. Pengujian dalam lingkungan terkontrol membuktikan sistem berfungsi responsif terhadap perubahan suhu dan kelembapan, serta menjalankan siklus penyiraman otomatis sesuai parameter yang ditetapkan.



Gambar 3. Proses Pengujian Suara Burung Walet

Gambar 3 menunjukkan implementasi pemutar suara burung walet yang dipasang pada bagian luar prototipe sarang. Pada bagian atas terdapat satu buah speaker mini yang berfungsi untuk mengeluarkan suara panggil burung walet. Komponen ini terhubung dengan modul DFPlayer Mini, di bawah speaker, tampak dua sensor utama yang digunakan pada sistem, yaitu sensor suhu DS18B20 dan sensor kelembaban DHT22. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu memutar suara secara otomatis sesuai jadwal dan menghasilkan suara dengan kualitas yang cukup baik untuk ruang prototipe. Hal ini menunjukkan bahwa

rangkaian pemutar suara berfungsi dengan stabil dan sesuai dengan logika waktu yang telah ditetapkan dalam program.

4.4 Implementasi Website

Implementasi website pada sistem ini berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk mempermudah proses pemantauan dan pengendalian suhu serta kelembaban pada prototipe sarang burung walet. Antarmuka ini dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman PHP dan HTML yang terhubung secara langsung dengan mikrokontroler ESP32 melalui koneksi jaringan Wi-Fi lokal. Data yang ditampilkan pada halaman website diperoleh dari pembacaan sensor suhu DS18B20 dan sensor kelembaban DHT22 yang telah dikirim secara berkala oleh mikrokontroler. Selain menampilkan informasi suhu dan kelembaban secara real-time, website ini juga menyediakan fitur kontrol manual yang memungkinkan pengguna untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa penyiram air dan pemutar suara burung walet dari jarak jauh. Dengan demikian, pengguna tidak perlu berada di lokasi fisik prototipe untuk melakukan pengawasan atau pengendalian perangkat. Implementasi website ini mendukung efisiensi dalam pengelolaan sistem dan memberikan kemudahan dalam pengoperasian alat secara keseluruhan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa website mampu menampilkan data sensor secara akurat dan menjalankan perintah kontrol manual dengan baik, sehingga dapat berfungsi sebagai pendukung utama dalam pemantauan kondisi lingkungan sarang burung walet.



Gambar 2 Dashboard Website Monitoring Sarang Burung Walet

Gambar 4 menampilkan dashboard antarmuka web dari sistem pemantauan suhu dan kelembapan udara pada prototipe rumah burung walet berbasis IoT. Dashboard ini menampilkan data real-time yang dikirimkan oleh mikrokontroler ESP32, termasuk informasi suhu (dari sensor DS18B20) dan kelembaban (dari sensor DHT22). Nilai ditampilkan dalam format yang jelas untuk memudahkan pemantauan cepat dan akurat.

Selain fungsi pemantauan, dashboard menyediakan fitur kontrol manual berupa tombol untuk menyalakan pompa penyiram dan mengatur suara walet secara langsung, di luar jadwal otomatis. Antarmuka dirancang sederhana dan informatif, memungkinkan pengguna melakukan pemantauan dan pengendalian jarak jauh secara efisien dan terintegrasi.

Riwayat Sensor - 06-07-2025			
Waktu	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Status Pompa
2025-07-06 23:22:39	28.81	94.5	POMPA OFF
2025-07-06 23:22:23	29	94.4	SUDAH SIRAM
2025-07-06 23:21:12	29.44	93.8	POMPA ON

Gambar 3. Tampilan Riwayat Sensor pada Dashboard Sarang Burung Walet

Gambar 5 menunjukkan fitur riwayat pembacaan sensor pada sistem monitoring suhu dan kelembapan berbasis web untuk rumah burung walet. Fitur ini memungkinkan pengguna meninjau data historis suhu, kelembapan, dan status pompa berdasarkan tanggal tertentu. Sistem mencatat setiap pembacaan secara otomatis, termasuk perubahan status seperti “POMPA ON” hingga “SUDAH SIRAM”, yang menunjukkan bahwa logika kendali bekerja sesuai rancangan. Fitur ini membantu pengguna memahami pola perubahan lingkungan, memastikan respons otomatis sistem berjalan dengan baik, serta mendukung dokumentasi dan analisis apabila terjadi anomali pada kondisi sarang walet.

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem otomatis berbasis Internet of Things (IoT) untuk pengendalian suhu dan kelembapan udara pada rumah burung walet. Sistem ini terdiri dari sensor suhu DS18B20 dan sensor kelembapan DHT22 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32, serta dilengkapi penyiraman air otomatis, modul DFPlayer Mini untuk pemutar suara burung walet, dan antarmuka web untuk pemantauan jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara otomatis dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan berdasarkan parameter ambang batas yang telah ditentukan, yaitu suhu maksimum 29°C dan kelembapan minimum 70%. Sistem dapat menjalankan penyiraman dan pemutaran suara sesuai logika yang telah diprogram serta mengirimkan notifikasi kondisi melalui Telegram secara tepat waktu. Temuan ini mendukung hipotesis bahwa sistem berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan rumah walet serta meningkatkan kenyamanan lingkungan yang berkontribusi terhadap peningkatan produksi sarang burung walet. Implikasi dari penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT dapat menjadi solusi tepat untuk mengatasi keterbatasan metode konvensional dalam pengelolaan rumah walet, sekaligus memberikan kemudahan dalam pemantauan dan pengendalian lingkungan secara real-time dari jarak jauh.

Pengembangan sistem ke depan, terdapat beberapa potensi integrasi teknologi lanjut yang dapat meningkatkan efisiensi, kemandirian energi, dan kecerdasan analitik sistem. Pertama, integrasi dengan sumber energi alternatif seperti panel surya perlu dipertimbangkan, terutama mengingat lokasi rumah burung walet yang sering berada di daerah terpencil dengan akses listrik terbatas. Pemanfaatan panel surya tidak hanya mendukung keberlanjutan energi, tetapi juga memungkinkan sistem IoT tetap berfungsi optimal selama 24 jam tanpa ketergantungan penuh pada jaringan listrik konvensional. Kedua, sistem dapat ditingkatkan dengan penerapan kecerdasan buatan (AI) untuk analisis data historis yang telah terekam oleh sistem. Dengan mengintegrasikan model pembelajaran mesin (machine learning), sistem akan mampu mengidentifikasi pola perubahan suhu dan kelembapan secara dinamis, memprediksi kondisi lingkungan ke depan, dan mengoptimalkan tindakan otomatis (seperti penyiraman atau pemutaran suara) secara adaptif. Misalnya, sistem dapat belajar dari data historis untuk menyesuaikan jadwal pemutaran suara berdasarkan waktu aktivitas burung walet yang paling aktif atau meramalkan kebutuhan penyiraman berdasarkan tren iklim mingguan. Penggabungan dua pendekatan ini energi terbarukan dan kecerdasan buatan (AI) akan menjadikan sistem lebih mandiri, adaptif, dan efisien, serta membuka peluang penelitian lanjut dalam konteks rumah burung walet berbasis smart environment.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti ketergantungan pada koneksi internet yang stabil dan konsumsi daya perangkat yang cukup tinggi, terutama di daerah terpencil. Untuk pengembangan di masa depan, disarankan agar sistem dilengkapi dengan sumber energi alternatif seperti panel surya, serta dilakukan peningkatan efisiensi perangkat agar sistem tetap dapat berfungsi optimal dalam berbagai kondisi.

Daftar Pustaka

- [1] A. P. O. Amane, S. Sos, R. W. Febriana, S. Kom, M. Kom, I. M. Artiyasa, and S. Hut, *Pemanfaatan dan penerapan Internet of Things (IoT) di berbagai bidang*, PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.
- [2] N. Amin, "Studi Biologis dan Potensi Budidaya Burung Walet Sarang Putih (*Collocalia fuciphaga*) = Biological Study and Cultivation Potential of White Nest Swiftlet (*Collocalia fuciphaga*)," Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin, 2021.
- [3] P. Bagus and W. Saputra, "Sistem penyiraman otomatis berbasis IoT menggunakan ESP32 dan Google Assistant Program Studi D4 Teknik Otomasi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali," unpublished.
- [4] M. Firly, D. Wahjudi, and P. Yulianto, "Perancangan Sistem Penyiraman Dan Pemupukan Otomatis (Smart Garden) Berbasis IoT (Internet of Things) Menggunakan NodeMCU ESP8266," *Teodolita: Media Komunikasi Ilmiah di Bidang Teknik*, vol. 23, no. 1, pp. 115–129, 2022.
- [5] B. Heriyanto, H. Rusliani, and H. Harestoma, "Analisis Pengelolaan Usaha Dalam Meningkatkan Pendapatan Sarang Burung Walet Di Desa Sungai Aur Kecamatan Kumpeh Ilir Kabupaten Muaro Jambi Provinsi Jambi," *J. Penelit. Ekon. Manaj. dan Bisnis*, vol. 3, no. 2, pp. 227–242, 2024. USC Viterbi School of Engineering, "SIPI Image Database." <http://sipi.usc.edu/database/> (accessed Mar. 27, 2019).
- [6] L. Ikmilta, "Produktivitas Usaha Budidaya Walet dalam Meningkatkan Pendapatan Usaha di Desa Simalinyang Kecamatan Kampar Kiri Tengah Kabupaten Kampar Ditinjau Menurut Ekonomi Islam," Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2019.
- [7] I. Irwan, "Dampak Lingkungan dalam Pengelolaan Sarang Burung Walet di Kota Parepare," Doctoral dissertation, IAIN Parepare, 2021.
- [8] A. Iskandar and S. Yakub, "Implementasi IoT Pada Sistem Monitoring dan Kendali Otomatis Suhu Dan Kelembaban Ruangan Sarang Burung Walet Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal CyberTech*, pp. 1–8, 2020. [Online]. Available: <https://ojs.trigunadharma.ac.id/>
- [9] F. Koresi, Y. Hara, T. P. Daru, and D. F. Ardhani, "Pengaruh Suhu dan Kelembaban terhadap Produksi Sarang Burung Walet di Kampung Engkuni Pasek Kabupaten Kutai Barat (The Effect Of Temperature And Humidity On Swallow's Nest Production In Engkuni Pasek Village, West Kutai Regency)," vol. 4, no. 2, 2021.
- [10] M. F. Muhana and E. Fuad, "Keamanan dan Implementasi IoT dalam Lingkungan Industri," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 4, pp. 7848–7855, 2024.
- [11] M. Z. Mutaqin, M. E. Favian, and A. Kurniawan, "Sistem smart home pemantauan dan pengendalian suhu ruangan menggunakan Arduino ESP32 berbasis green energy," *JUPITER: Journal of Computer & Information Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 101–113, 2024.
- [12] A. D. Naufal, "Struktur Pasar dan Daya Saing Sarang Burung Walet Indonesia di Pasar Internasional," Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, [n.d.].
- [13] D. I. Nurwati and N. E. Purwati, "Analisis Pendapatan Usaha Sarang Burung Walet Desa Tanah Poleang Kecamatan Poleang Utara Kabupaten Bombana," *Business UHO: Jurnal Administrasi Bisnis*, vol. 9, no. 01, pp. 326–344, 2024.
- [14] V. Pardosi, T. K. Wijaya, F. Hasibuan, M. Algusri, and M. Irsyam, "Model Optimalisasi untuk Prototype Robot Tangki IoT Dalam Deteksi Gas dan Suhu," *TOHAR MEDIA*, 2024.
- [15] A. P. Pratama, "Efektivitas Program Gerakan Indonesia Sadar Administrasi (Gisa) Dalam Kepemilikan Dokumen Kependudukan Di Kota Dumai," Doctoral dissertation, Institut Pemerintahan Dalam Negeri, 2022.
- [16] M. R. Prayoga, Sistem Otomatis Suara Dan Intensitas Cahaya Pada Rumah Walet Berbasis NodeMCU, Doctoral dissertation, STMIK Widya Cipta Dharma, 2023.
- [17] D. H. Santoso, J. D. Prasetya, and D. Rahman, "Analisis daya dukung lingkungan hidup berbasis jasa ekosistem penyediaan air bersih di Pulau Karimunjawa," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 18, no. 2, pp. 290–296, 2020.
- [18] C. A. Siagian, A. D. A. Nur Utomo, and I. Kresna A, "Sistem Pemantauan Suhu, Kelembapan, Cahaya, dan pH Air pada Rumah Walet Berbasis Internet of Things," *Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE)*, vol. 6, no. 1, pp. 1–12, 2024, doi: 10.20895/jtece.v6i1.988.
- [19] R. Widayastuti, R. T. Sunu, and E. Gunawan, "Strategi Peningkatan Daya Saing, Hilirisasi Produk dan Peluang Ekspor Sarang Burung Walet Di Indonesia," *Jurnal Perencanaan Pembangunan Pertanian*, vol. 1, no. 1, pp. 49–63, 2024.
- [20] A. M. Yahya, *Budidaya walet milenial*. Yogyakarta: Deepublish, 2020.