

Pengembangan Prototipe Alat Pengusir Tikus Berbasis *Internet of Things* dengan Integrasi Notifikasi API WhatsApp

**¹Febi Eka Febriansyah, ^{*2}Muhammad Sultan Raisyah, ³Muhammad Rizki Kurniawan,
⁴Dwi Sakethi, dan ⁵Bambang Hermanto**

^{1,2,3,4}Jurusan Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Jalan Soemantri Brojonegoro No.1 Gedung Meneng, Bandarlampung, Indonesia

e-mail: ¹febi.febriansyah@fmipa.unila.ac.id, ^{*2}soeltaan@gmail.com, ³kikia063@gmail.com,

⁴dwijim@fmipa.unila.ac.id, ⁵bambang.hermanto@fmipa.unila.ac.id

Abstract — The prototype device developed in this study is an advanced solution to the persistent problem of rat infestations in agricultural areas, particularly in rice fields, which are a key concern in Indonesia. The integration of IoT technology allows for real-time monitoring, making it possible to detect rat activity instantly and respond immediately without requiring constant manual intervention. The system's ability to send notifications via WhatsApp means that users can be alerted to rodent activity even when they are not physically present at the location, increasing the efficiency of pest control measures. The combination of motion detection, ultrasonic deterrence, and live video streaming creates a multi-layered approach to pest management. The ESP32-CAM, paired with the PIR sensor, ensures that the device can continuously monitor the area, while the ultrasonic sound disrupts and repels rats. The ability to remotely control the camera and adjust its angle via the servo motor allows users to tailor their surveillance according to specific needs, further enhancing the flexibility and utility of the device. This smart solution has the potential to be implemented in various agricultural settings, contributing to more sustainable farming practices and minimizing the need for harmful chemical pesticides.

Keywords: Internet of Things; Rat Repellent; ESP32-CAM; Ultrasonic Sound; Real-time Notification.

1. PENDAHULUAN

Tikus (*Rattus*) merupakan hama yang sangat merugikan di berbagai sektor, termasuk pertanian, infrastruktur, dan kesehatan. Dampak dari tikus mencakup kerusakan tanaman, kontaminasi bahan pangan, kerusakan properti, serta potensi penyebaran penyakit. Dalam sektor pertanian, hama tikus sangat merugikan produksi pangan, terutama pada tanaman padi (*Oryza sativa L.*). Di Indonesia, serangan tikus pada padi dapat mengakibatkan kerugian hingga 15-20% setiap tahun [1]. Padi adalah komoditas penting yang menjadi sumber utama beras dan makanan pokok bagi masyarakat Indonesia, serta berperan besar dalam ekonomi nasional [2].

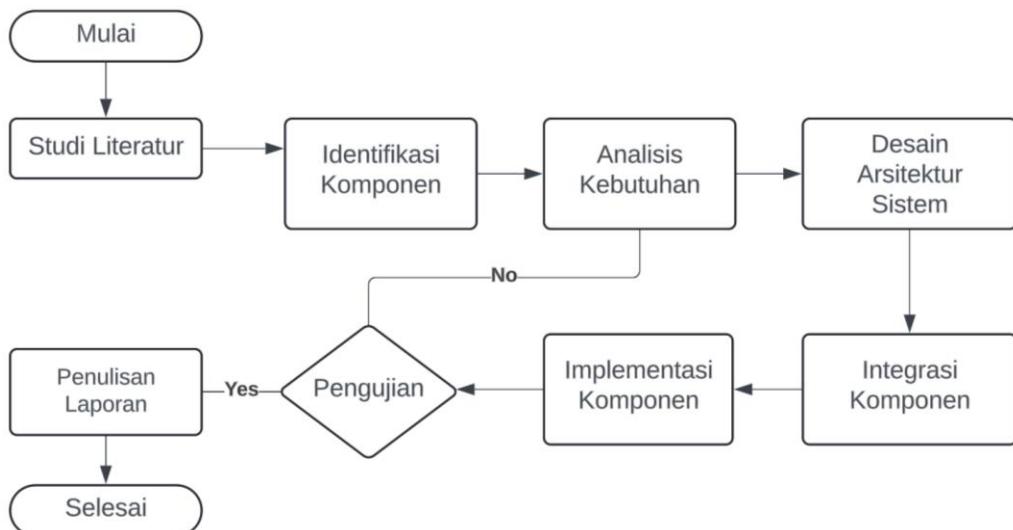
Berdasarkan data dari Dinas Ketahanan Pangan, Tanaman Pangan, dan Hortikultura Provinsi Lampung, pada tahun 2023, serangan hama tikus di Lampung meliputi area seluas 1.437,77 hektar. Pengendalian hama dilakukan dengan beberapa metode, termasuk penggunaan burung hantu pada lahan seluas 5 hektar. Meskipun metode ini efektif, penerapannya cukup rumit karena burung hantu harus dibudidayakan dan dilatih untuk berburu di lokasi tertentu. Selain itu, pestisida juga digunakan pada 1.789,515 hektar lahan, namun metode ini memiliki dampak negatif bagi manusia dan lingkungan [3]. Dengan demikian, diperlukan alternatif pengusir tikus yang lebih ramah lingkungan untuk lahan pertanian padi.

Suara ultrasonik dengan frekuensi 22 kHz dapat memicu respons kecemasan dan defensif, yang membuat tikus merasa terganggu atau terancam [4]. Alat otomatis untuk mengusir tikus menggunakan Arduino Uno, sensor PIR, dan *buzzer* yang menghasilkan suara ultrasonik saat mendekripsi gerakan telah dikembangkan dan terbukti efektif pada frekuensi 50 kHz [5]. Alat serupa dengan fitur *live streaming* melalui aplikasi Blynk menggunakan ESP32-CAM juga telah dibuat, meskipun belum dilengkapi sumber pencahayaan untuk pemantauan malam. Penggunaan *website* untuk pemantauan melalui ESP32-CAM memberikan fleksibilitas akses yang lebih baik dibandingkan aplikasi Blynk [6].

Penelitian ini menawarkan solusi inovatif untuk mengusir tikus melalui pengembangan prototipe alat pengusir tikus berbasis *Internet of Things* yang dilengkapi sistem notifikasi *real-time*. Alat ini dikembangkan sebagai prototipe yang dapat menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut. Dengan menggunakan ESP32-CAM, sensor PIR, dan *buzzer*, alat ini mampu mendeteksi kehadiran tikus dan mengambil tindakan preventif secara otomatis. Sensor PIR berfungsi mendeteksi gerakan saat tikus memasuki area yang dijaga; begitu terdeteksi, *buzzer* akan menghasilkan suara ultrasonik untuk mengusir tikus. Selain itu, ESP32-CAM, dilengkapi kamera OV2640 dan lampu *flash*, akan aktif untuk melakukan *live streaming* yang dapat diakses melalui *website*. Lampu *flash* berfungsi sebagai pencahayaan malam hari, yang diatur berdasarkan waktu siang dan malam melalui *Network Time Protocol*. Saat lampu *flash* ini menyala secara tiba-tiba, diharapkan dapat meningkatkan efektifitas pengusiran tikus [7]. Ditambah lagi, dengan integrasi API WhatsApp, alat ini dapat mengirim notifikasi langsung kepada pengguna. Pengguna juga dapat mengontrol posisi kamera melalui motor servo berbasis *website*, memungkinkan pemantauan yang fleksibel. Alat ini diharapkan dapat menjadi solusi efektif untuk mengusir hama tikus sekaligus menjadi referensi pengembangan lebih lanjut.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Component-Based Development* (CBD). Metode CBD adalah pendekatan pengembangan sistem yang memanfaatkan komponen siap pakai sesuai kebutuhan proyek [8]. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian.

2.1. Studi Literatur

Pada tahap ini, studi literatur dilakukan untuk mempelajari konsep, materi, dan dasar ilmu dari teknologi yang berkaitan dengan penelitian. Tahap ini juga mencakup kajian penelitian-penelitian sebelumnya untuk memahami solusi yang telah ada serta bagaimana teknologi bisa diterapkan dengan baik dalam penelitian ini.

2.2. Identifikasi Komponen

Pada tahap ini, komponen utama sistem telah diidentifikasi, ESP32-CAM digunakan untuk monitoring *real-time* melalui *live streaming*, sedangkan sensor PIR mendeteksi gerakan agar sistem beroperasi otomatis [9]. *Buzzer* menghasilkan suara ultrasonik pada 50 kHz untuk mengusir tikus [5]. Semua komponen yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu MacBook Air M1 2020, ESP32, ESP32-CAM, *buzzer*, modul LCD, potensio, sensor PIR, motor servo, *breadboard*, kabel *jumper*, dan kabel power Raspberry Pi.

2.3. Analisis Kebutuhan

Pada tahap analisis kebutuhan, dilakukan identifikasi terhadap kebutuhan fungsional dan nonfungsional sistem pengusir tikus berbasis *Internet of Things* (IoT). Kebutuhan fungsional meliputi deteksi gerakan oleh sensor PIR, aktivasi *buzzer* ultrasonik pada 2000 Hz saat gerakan terdeteksi, *live streaming* kamera OV2640 melalui

ESP32-CAM, dan otomatisasi pencahayaan *flash* berdasarkan waktu dari modul NTP. Sistem juga memiliki fitur pengiriman notifikasi melalui API WhatsApp yang berisi tautan ke *website* alat, di mana pengguna dapat melihat *live streaming* dan mengontrol gerakan kamera dengan motor servo.

Sementara itu, kebutuhan nonfungsional menekankan pada keandalan deteksi gerakan oleh sensor PIR, kualitas dan konsistensi frekuensi ultrasonik dari *buzzer*, serta stabilitas *live streaming* kamera. Sinkronisasi waktu yang akurat dari modul NTP juga diperlukan untuk otomatisasi lampu *flash*, dan alat uji frekuensi diharapkan dapat menampilkan pengukuran frekuensi secara akurat pada modul LCD. Dengan memenuhi semua kebutuhan ini, sistem diharapkan dapat memberikan performa optimal untuk pengusiran tikus dan kemudahan pemantauan *real-time* berbasis IoT.

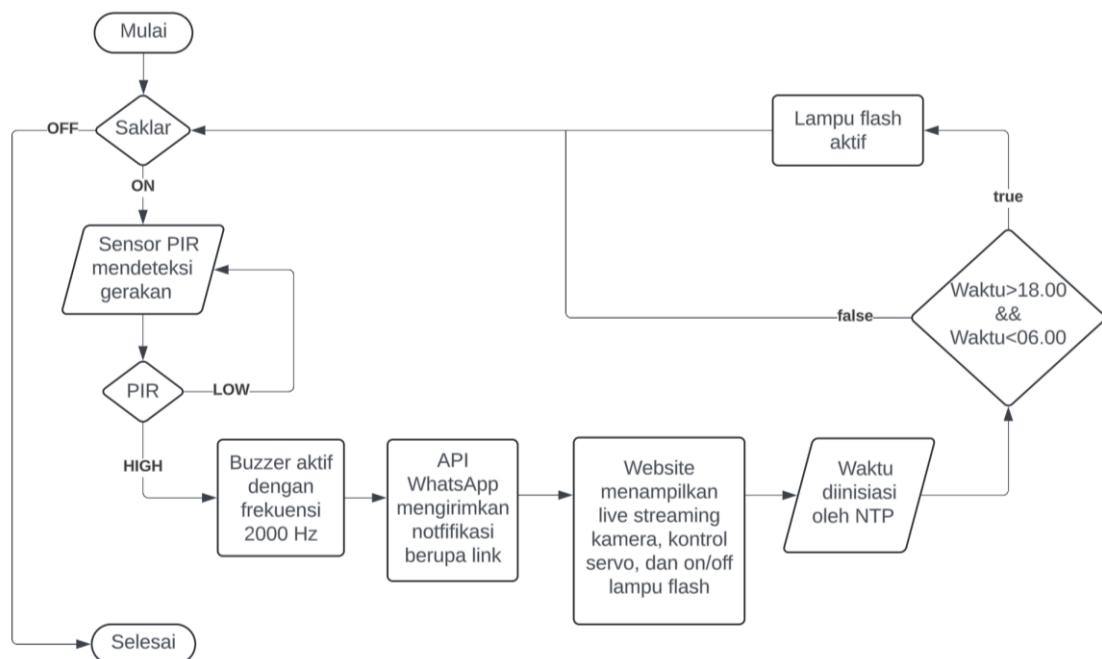
2.4. Desain Arsitektur Sistem

Pada tahap ini, perancangan prototipe alat pengusir tikus dilakukan menggunakan *software* Fritzing untuk memvisualisasikan skema rangkaian. Perancangan dimulai dengan mengintegrasikan ESP32 dengan ESP32-CAM sebagai komponen utama untuk pemantauan dan kontrol jarak jauh. Selanjutnya, ESP32 dipasangkan dengan sensor PIR untuk mendeteksi gerakan tikus, serta dengan *buzzer* untuk menghasilkan suara ultrasonik sebagai alat pengusir. ESP32-CAM juga dihubungkan dengan motor servo untuk memungkinkan pergerakan kamera agar area pemantauan lebih luas. Untuk alat uji frekuensi, komponen terdiri dari ESP32 yang terhubung dengan potensio sebagai pengatur frekuensi, *buzzer* sebagai sumber suara ultrasonik, dan modul LCD untuk menampilkan frekuensi yang sedang diuji.

2.5. Integrasi Sistem

2.5.1 Perancangan Keseluruhan Prototipe Alat Pengusir Tikus

Tahap perancangan keseluruhan prototipe alat pengusir tikus bertujuan untuk memastikan setiap komponen berinteraksi dan berfungsi dengan baik. Untuk *flowchart* keseluruhan sistem, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Flowchart* prototipe alat pengusir tikus.

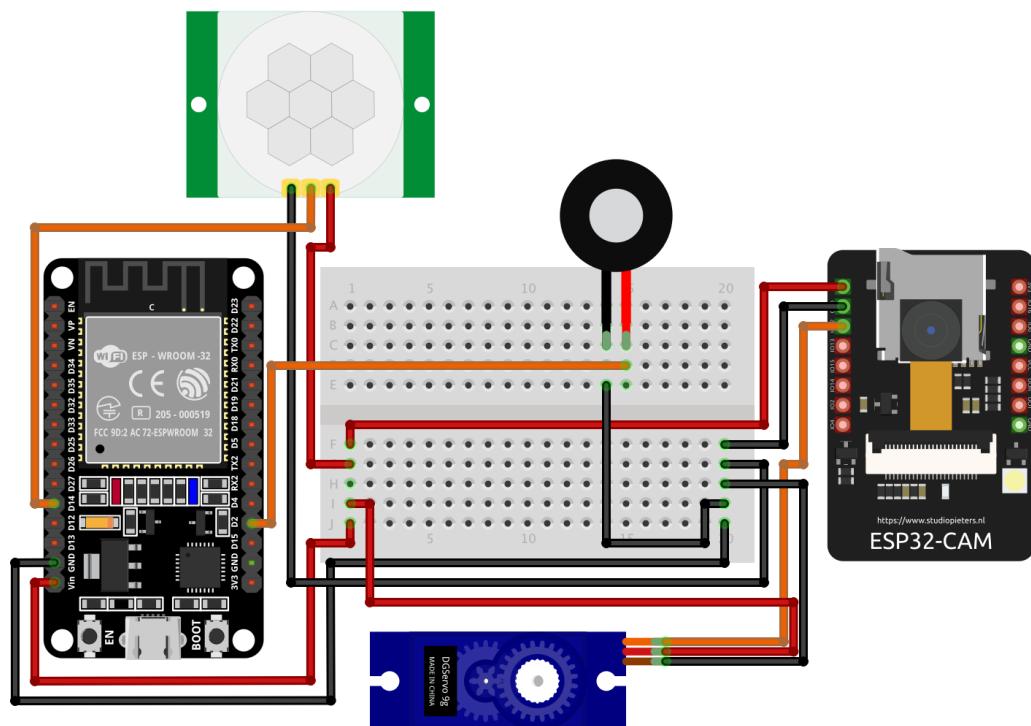
Perancangan prototipe alat pengusir tikus menggunakan *microcontroller* ESP32 dan ESP32-CAM. Saat aktif, kedua *board* terhubung satu sama lain melalui kabel *jumper* sebagai media komunikasi dan tersambung ke WiFi, memungkinkan alat untuk mengirim data, mengakses internet, serta menerima instruksi secara *real-time* [10]. Selain WiFi, sensor PIR pada ESP32 juga aktif untuk mendeteksi gerakan, memberikan sinyal "HIGH" atau "LOW". Ketika sinyal "HIGH" diterima menunjukkan sensor mendeteksi gerakan, dan sistem akan melanjutkan proses. Jika sinyal "LOW" diterima, maka

tidak ada gerakan terdeteksi dan sistem akan kembali ke awal [11]. Saat sensor PIR mendeteksi gerakan, *buzzer* akan aktif menghasilkan suara ultrasonik. Frekuensi ultrasonik yang efektif mengusir tikus berkisar antara 20-50 kHz. Pada tahap awal, *buzzer* diatur pada 2000 Hz agar bisa didengar manusia, memudahkan verifikasi suara [12]. Frekuensi sebenarnya diuji lebih lanjut dengan alat uji frekuensi *buzzer* untuk menentukan frekuensi yang paling efektif mengusir tikus.

Sinyal dari sensor PIR juga dikirim ke ESP32-CAM. Selain *buzzer*, kamera OV2640 dan lampu *flash* pada ESP32-CAM akan aktif. Kamera OV2640 melakukan *live streaming* untuk memantau area yang dijaga, sedangkan lampu *flash*, yang dikendalikan oleh modul *Network Time Protocol* (NTP), berfungsi sebagai pencahayaan untuk meningkatkan efektivitas pengusiran [7].

Modul NTP mengambil data waktu yang diperbarui dari *server* dengan *offset* Waktu Indonesia Barat (WIB). Protokol *User Datagram Protocol* (UDP) digunakan untuk mengirim dan menerima data singkat yang dibutuhkan dalam komunikasi NTP. Jika NTP menunjukkan waktu malam (18.00 hingga 06.00), lampu *flash* akan menyala sebagai sumber pencahayaan. Sebaliknya, jika waktu menunjukkan siang (06.00 hingga 18.00), lampu *flash* tetap mati.

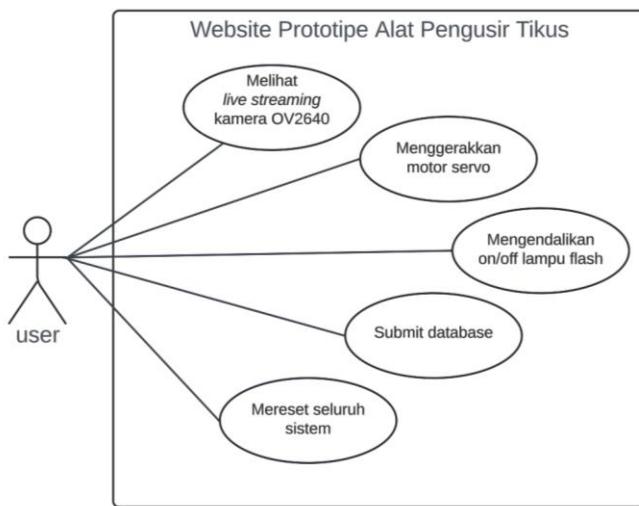
Sistem ini menggunakan API WhatsApp dalam pengiriman notifikasi, yang dimana sistem akan mengirimkan notifikasi berupa *link website* ketika alat pengusir tikus mendeteksi gerakan atau memberi masukan “HIGH”, dan jika memberikan masukan “LOW” maka tidak akan mengirimkan notifikasi dan sistem akan dimulai dari awal lagi. Setelah sistem mengirimkan notifikasi berupa *link website*, maka pengguna dapat membuka link *website* yang diberikan untuk melihat *live streaming* dari kamera OV2640 pada ESP32-CAM, dan juga dapat mengontrol pergerakan motor servo yang diletakan pada ESP32-CAM untuk menggerakkan kamera kanan atau kiri. Rangkaian prototipe alat pengusir tikus dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian keseluruhan prototipe alat pengusir tikus.

2.5.2 Perancangan Website Prototipe Alat Pengusir Tikus

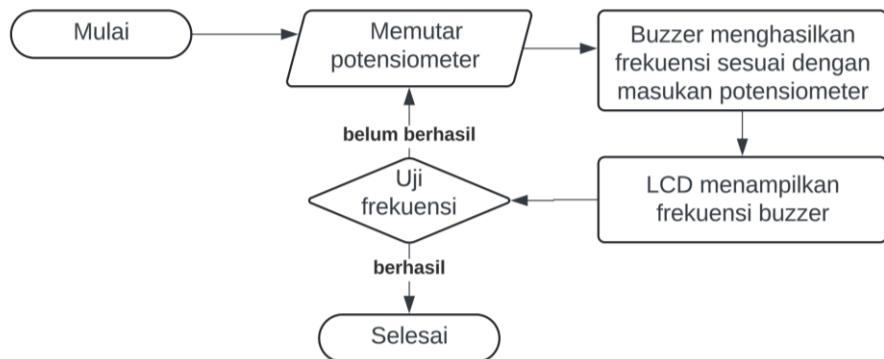
Tahap perancangan website menggunakan *Unified Modeling Language* (UML) dengan menggunakan *use case diagram*. *Use case* dari sistem prototipe alat pengusir tikus dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Use case website prototipe alat pengusir tikus.

2.5.3 Perancangan Keseluruhan Alat Uji Frekuensi

Tahap perancangan keseluruhan alat uji frekuensi bertujuan untuk membuat desain rancangan alat uji frekuensi yang mengintegrasikan ESP32, *buzzer*, potensio, dan modul LCD. Alat ini digunakan untuk menguji dan menentukan frekuensi *buzzer* yang efektif untuk mengusir suara tikus. *Flowchart* sistem alat uji frekuensi dapat diliat pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchart alat uji frekuensi.

Alat ini bekerja dengan cara mengatur frekuensi *buzzer* menggunakan potensio yang dapat diputar untuk memilih nilai frekuensi yang diinginkan. Saat potensio diputar, nilai frekuensi yang dihasilkan oleh *buzzer* akan berubah sesuai dengan posisi potensio. Frekuensi yang dihasilkan yaitu 20 kHz hingga 60 kHz, lalu frekuensinya akan ditampilkan secara *real-time* pada modul LCD. Dengan ini, alat ini dapat me-monitor dan menyesuaikan frekuensi *buzzer* yang efektif untuk mengusir tikus.

2.6. Implementasi Komponen

Pada tahap ini, dilakukan penghubungan ESP32 dan ESP32-CAM, konfigurasi WiFi dan kamera OV2640 pada ESP32-CAM, serta deteksi gerakan oleh sensor PIR yang mengaktifkan *buzzer*. Lampu *flash* pada ESP32-CAM diotomatisasi untuk pencahayaan sesuai kondisi waktu. Selain itu, komponen alat uji frekuensi juga diimplementasikan untuk melakukan pengujian respons tikus terhadap suara ultrasonik.

2.7. Pengujian

2.7.1 Pengujian Seluruh Komponen

Tahap pengujian sistem ini menggunakan metode *Black Box Testing*. Tabel 1 berikut adalah tabel pengujian sistem menggunakan metode *Black Box Testing*.

Tabel 1. Pengujian *black-box testing* seluruh komponen.

No.	Kasus Uji	Detail Pengujian	Hasil yang Diharapkan
1.	Sensor PIR	Mendeteksi gerakan tikus.	Sensor dapat mendeteksi gerakan.
2.	<i>Buzzer</i>	Menghasilkan suara ultrasonik dengan frekuensi 2000 Hz.	Alat dapat menghasilkan suara ultrasonik dengan frekuensi 2000 Hz.
3.	<i>Network Time Protocol</i> (NTP)	Mengakses waktu secara <i>real-time</i> .	Protokol dapat mengakses waktu secara <i>real-time</i> .
4.	Kamera OV2640 pada ESP32-CAM	Aktif untuk <i>live streaming</i> .	Kamera pada ESP32-CAM aktif untuk <i>live streaming</i> .
5.	Lampu <i>flash</i> pada ESP32-CAM	Menyala ketika pada malam hari (18.00 – 06.00) dan mati pada siang hari (06.00 – 17.59). Lampu <i>flash</i> bisa dikendalikan melalui <i>website</i> .	Lampu <i>flash</i> dapat menyala hanya ketika pada malam hari (18.00 - 06.00) dan mati pada siang hari (06.00 - 17.59). Lampu <i>flash</i> bisa dikendalikan melalui <i>website</i> .
6.	API WhatsApp	Mengirimkan notifikasi ke WhatsApp	Sistem dapat mengirimkan notifikasi ke WhatsApp
7.	<i>Website</i>	Mengakses <i>website</i> .	<i>Website</i> dapat diakses.
8.	Motor Servo	Menggerakkan motor servo melalui <i>website</i> .	Motor servo dapat dikontrol melalui <i>website</i> .
9.	Alat Uji Frekuensi	Mengukur dan menampilkan frekuensi <i>buzzer</i> pada modul LCD.	Alat uji frekuensi dapat mengukur dan menampilkan frekuensi <i>buzzer</i> pada modul LCD.

2.7.2 Pengujian Respons Tikus terhadap Suara Ultrasonik

Suara ultrasonik dengan frekuensi 22 kHz dapat membuat tikus merasa terganggu atau terusir, begitu juga dengan frekuensi di atas 22 kHz [4][5]. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa suara ultrasonik dapat mengusir tikus dan untuk menentukan frekuensi suara ultrasonik yang paling efektif dalam mengusir tikus. Berikut adalah langkah-langkah dari pengujian respons tikus terhadap suara ultrasonik:

- Siapkan kardus sebagai area uji dalam lingkungan tenang, letakkan makanan dan air di satu sisi sebagai sumber makan tikus mencit.
- Masukkan tikus mencit ke dalam kardus dan biarkan beradaptasi agar terbiasa dengan area uji.
- Tempatkan *buzzer* di salah satu sisi kardus untuk menghasilkan suara ultrasonik pada frekuensi tertentu.
- Amati dan catat reaksi tikus mencit terhadap setiap frekuensi suara dengan jeda dua menit untuk menghindari stres.
- Ulangi pengujian pada frekuensi 20 kHz, 30 kHz, 40 kHz, 50 kHz, dan 60 kHz untuk menentukan frekuensi yang paling efektif mengusir tikus.

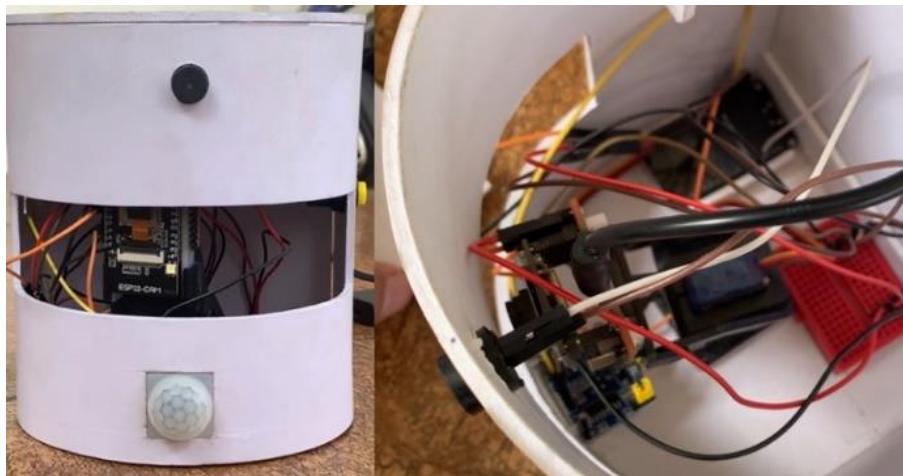
2.8. Penulisan Laporan

Tahap penulisan laporan bertujuan untuk mendokumentasikan setiap tahap pembangunan sistem, dari awal hingga akhir, yang kemudian akan digunakan sebagai dasar untuk menyusun kesimpulan. Laporan ini memuat penjelasan rinci mengenai keseluruhan proses pengembangan prototipe alat pengusir tikus berbasis *Internet of Things* dengan menggunakan ESP32-CAM.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Komponen pada Prototipe Alat Pengusir Tikus

Pada tahap ini, prototipe alat pengusir tikus dan alat uji frekuensi dibuat berdasarkan perancangan rangkaian menggunakan *software* Fritzing yang kemudian diimplementasikan. Implementasi dilakukan dengan menggunakan *software* Arduino IDE sebagai *text editor*, dengan bahasa pemrograman C++ untuk menulis dan mengunggah kode ke *microcontroller*. Seluruh komponen yang sudah dirakit dapat dilihat pada Gambar 6. WiFi Manager juga digunakan untuk menghubungkan prototipe alat pengusir tikus ke internet. Tampilan WiFi Manager dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Prototipe alat pengusir tikus.

WiFiManager

APT

Configure WiFi

Info

Exit

Update

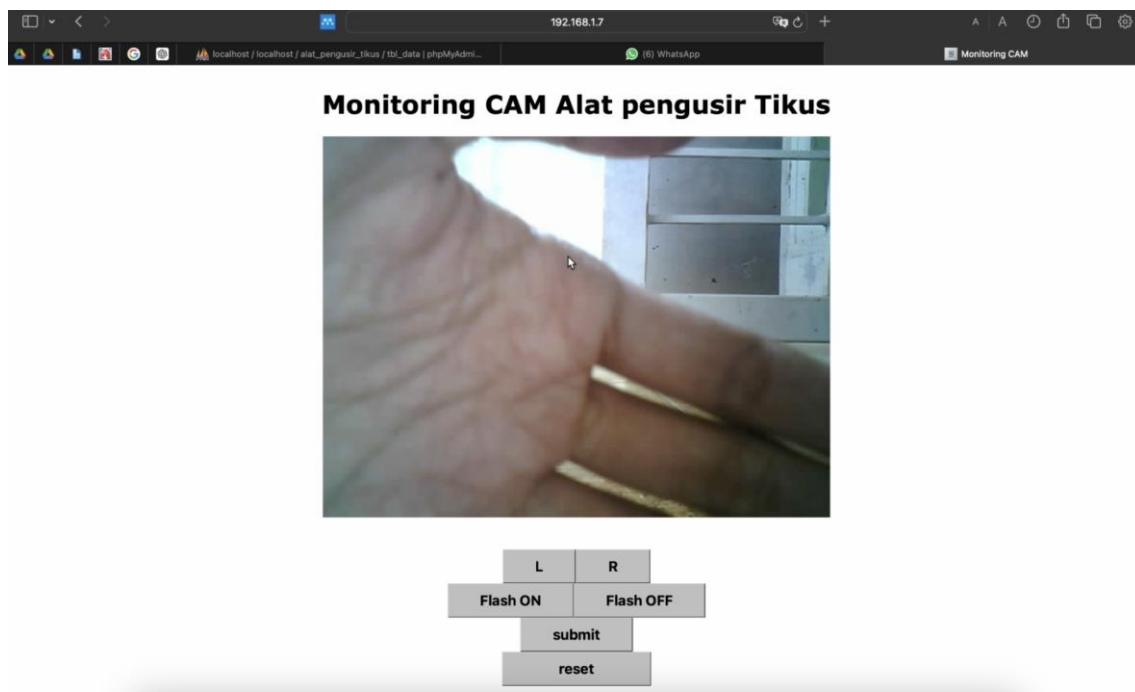
Gambar 7. Tampilan WiFi Manager prototipe alat pengusir tikus.

Setelah alat terhubung ke internet, sensor PIR akan mulai mendeteksi adanya gerakan. Jika sensor PIR mendeteksi adanya gerakan maka *buzzer* akan aktif menghasilkan suara ultrasonik 2000 Hz. Lampu *flash* juga akan menyala pada malam hari dan mati ketika siang hari, yang diatur berdasarkan *Network Time Protocol*. Sistem juga akan mengirimkan notifikasi lewat pesan WhatsApp apabila sensor PIR mendeteksi adanya gerakan. Notifikasi WhatsApp dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Notifikasi WhatsApp prototipe alat pengusir tikus.

Notifikasi WhatsApp mengirimkan pesan peringatan bahwa terdeteksi adanya gerakan dan *link* untuk mengakses *website* prototipe alat pengusir tikus. Pada *website*, *user* dapat *me-monitoring* area yang dijaga melalui *live streaming* kamera OV2640 pada ESP32-CAM. *User* juga bisa menggerakkan kamera ke kanan dan ke kiri serta mengendalikan lampu *flash* melalui tombol "Flash ON" dan "Flash OFF". Terdapat juga tombol "Reset" yang berfungsi untuk *me-reset* seluruh sistem untuk mulai dari awal lagi. Selain itu, terdapat juga tombol "Submit" yang berfungsi untuk mengirim data adanya tikus terdeteksi ke *database* secara manual. Tampilan *website* prototipe alat pengusir tikus dapat dilihat pada Gambar 9.

Gambar 9. *Website* prototipe alat pengusir tikus.

3.2 Hasil Pengujian Seluruh Komponen

Pengujian dilakukan oleh penulis sesuai dengan langkah-langkah yang sudah ditentukan. Tabel 2 berikut adalah beberapa kasus ujinya.

Tabel 2. Hasil pengujian seluruh komponen.

No.	Kasus Uji	Hasil yang Diharapkan	Hasil	Status	Tanggal Uji
1.	Sensor PIR	Sensor dapat mendeteksi gerakan.	Sensor berhasil mendeteksi gerakan.	Berhasil	17/7/2024
2.	Buzzer	Alat dapat menghasilkan suara ultrasonik dengan frekuensi 2000 Hz.	Suara ultrasonik dengan frekuensi 2000 Hz berhasil dihasilkan oleh <i>buzzer</i> .	Berhasil	17/7/2024
3.	<i>Network Time Protocol</i> (NTP)	Protokol dapat mengakses waktu secara <i>real-time</i> .	Waktu berhasil diakses secara <i>real-time</i> menggunakan NTP.	Berhasil	17/7/2024
4.	Kamera OV2640	Kamera pada ESP32-CAM aktif untuk <i>live streaming</i> .	Kamera OV2640 pada ESP32-CAM berhasil diaktifkan untuk <i>live streaming</i> .	Berhasil	17/7/2024
5.	Lampu <i>flash</i>	Lampu <i>flash</i> dapat menyala hanya ketika pada malam hari (18.00 – 06.00) dan mati pada siang hari (06.00 – 17.59). Lampu <i>flash</i> bisa dikendalikan melalui <i>website</i> .	Lampu <i>flash</i> berhasil menyala saat pada malam hari (18.00 – 06.00) dan mati pada siang hari (06.00 – 17.59). Lampu <i>flash</i> bisa dikendalikan melalui <i>website</i> .	Berhasil	17/7/2024
6.	API WhatsApp	Sistem dapat mengirimkan notifikasi ke WhatsApp.	Sistem berhasil mengirimkan notifikasi ke WhatsApp.	Berhasil	20/7/2024
7.	<i>Website</i>	<i>Website</i> dapat diakses.	<i>Website</i> berhasil diakses.	Berhasil	20/7/2024
8.	Motor Servo	Motor servo dapat dikontrol melalui <i>website</i> .	Motor servo berhasil dikontrol melalui <i>website</i> .	Berhasil	20/7/2024

3.3 Hasil Pengujian Seluruh Komponen

Pengujian dilakukan oleh penulis sesuai dengan langkah-langkah yang sudah ditentukan. Tabel 3 berikut adalah beberapa kasus ujinya.

Tabel 3. Hasil pengujian seluruh komponen.

No.	Frekuensi	Interval Waktu	Respons Tikus yang Diharapkan	Hasil Uji	Status	Tanggal Uji
1.	20 kHz	180 detik	Tikus bergerak menjauhi sumber suara ultrasonik.	Tikus tidak memberi respons apapun, diam di tempat, dan tidak bergerak menjauhi sumber suara ultrasonik.	Tidak Berhasil	21/8/2024
2.	30 kHz	180 detik	Tikus bergerak menjauhi sumber suara ultrasonik.	Tikus tidak memberi respons apapun, diam di tempat, dan tidak bergerak menjauhi sumber suara ultrasonik.	Tidak Berhasil	21/8/2024
3.	40 kHz	180 detik	Tikus bergerak menjauhi sumber suara ultrasonik.	Tikus bergerak tetapi tidak menjauhi sumber suara ultrasonik.	Tidak Berhasil	21/8/2024
4.	50 kHz	180 detik	Tikus bergerak menjauhi sumber suara ultrasonik.	Tikus tidak memberi respons apapun, diam di tempat, dan tidak bergerak menjauhi sumber suara ultrasonik.	Tidak Berhasil	21/8/2024
5.	60 kHz	180 detik	Tikus bergerak menjauhi sumber suara ultrasonik.	Tikus tidak memberi respons apapun, diam di tempat, dan tidak bergerak menjauhi sumber suara ultrasonik.	Tidak Berhasil	21/8/2024

4. KESIMPULAN

Prototipe alat pengusir tikus berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan ESP32-CAM dan integrasi API WhatsApp telah terbukti efektif dalam mendeteksi keberadaan tikus serta menyediakan notifikasi dan pemantauan secara *real-time*. Perangkat ini menggabungkan sensor PIR, *buzzer*, kamera OV2640, lampu *flash*, motor servo, dan NTP untuk mendukung otomatisasi fungsinya. Sensor PIR mendeteksi gerakan, *buzzer* menghasilkan suara ultrasonik, kamera menyediakan *live streaming* melalui *website*, dan notifikasi dikirim melalui WhatsApp. Meskipun hasil pengujian menunjukkan tikus kurang responsif terhadap suara ultrasonik, penelitian ini menjadi landasan untuk pengembangan lebih lanjut. Sebagai langkah peningkatan, *buzzer* 5V disarankan diganti dengan transduser ultrasonik PTC-4000 yang mampu menghasilkan gelombang ultrasonik hingga 40 kHz dengan jangkauan hingga 75 meter. Selain itu, penggunaan osiloskop direkomendasikan untuk memastikan frekuensi ultrasonik yang dihasilkan sesuai, sehingga dapat meningkatkan efektivitas alat dalam mengusir tikus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. R. Sipayung, S. F. Sitepu, & F. Zahara, "Evaluasi Serangan Tikus Sawah (*Rattus argentiventer* Robb & Kloss) Setelah Pelepasan Burung Hantu (*Tyto alba*) di Kabupaten Deli Serdang," *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*, vol. 6, no. 2, pp. 345–355, 2018, <https://doi.org/10.32734/joa.v6i2.2612>.
- [2] S. I. Kusumaningrum, "Pemanfaatan Sektor Pertanian sebagai Penunjang Pertumbuhan Perekonomian Indonesia," *Jurnal Transaksi*, vol. 11, no. 1, 2019.
- [3] I. N. Widiarta, "Information Technology Based Decision Support System for Integrated Pest Management on Rice," *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, vol. 40, no. 1, p. 9, 2021, doi: 10.21082/jp3.v40n1.2021.p9-20.
- [4] S. M. Brudzynski, "Communication of Adult Rats by Ultrasonic Vocalization: Biological, Sociobiological, and Neuroscience Approaches," *ILAR Journal*, vol. 50, no. 1, pp. 43-54, 2009, <https://doi.org/10.1093/ilar.50.1.43>.
- [5] S. Baco, A. L. Perdana, ST. N. Jasmin & T. Aldiansyah, "Prototype Pengusir Tikus Pada Toko Dengan Alat Penyemprot Otomatis Berbasis Arduino," *Jurnal Teknologi dan Komputer*, vol. 3, no. 2, 2023,

<https://doi.org/10.56923/jtek.v3i02.145>.

- [6] T. Tijaniyah & S. A. Arzenda, "Rancang Bangun Prototype Alat Pengusir Tikus Dengan Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik Berbasis Internet of Things". *Jurnal JEETech*, vol. 3, no. 2, 57–63, 2022/
- [7] S. Niklaus, S. Albertini, T. K. Schnitzer, & N. Denk, "Challenging a myth and misconception: Red-light vision in rats," *Animals*, vol. 10, no. 3, p. 422, 2020, doi: 10.3390/ani10030422.
- [8] R. S. Pressman, Software Engineering: A Practitioner's Approach, 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2010. [Online]. Available: www.mhhe.com/pressman.
- [9] V. Pravalika & R. Prasad, "Internet of Things Based Home Monitoring and Device Control Using ESP32", *Int. J. Recent Technol. Eng. (IJRTE)*, vol. 8, no. 1S4, pp. 2277–3878, 2019.
- [10] S. Villamil, C. Hernández, & G. Tarazona, "An Overview of Internet of Things," *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 18, no. 5, pp. 2320–2327, 2020, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i5.15911.
- [11] S. A. Akinwumi, A. C. Ezenwosu, T. V. Omotosho, O. O. Adewoyin, T. A. Adagunodo, & K. D. Oyeyemi, "Arduino Based Security System using Passive Infrared (PIR) Motion Sensor," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 655, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/655/1/012039.
- [12] H. T. Ciptaningtyas, R. R. Hariadi, & K. Nathaniel, "Sistem Monitoring Pencegahan Layu Fusarium pada Tanaman Allium Ascalonicum L. Berbasis IoT Menggunakan Fuzzy Logic," *Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 12, no. 3, 2023, <http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v12i3.144881>.