

**PENGEMBANGAN PROTOTIPE ALAT PENGUSIR TIKUS
BERBASIS *INTERNET OF THINGS*
MENGUNAKAN ESP32-CAM**

(Skripsi)

Oleh

MUHAMMAD SULTAN RAISYAH

2057051019



**ILMU KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2024

**PENGEMBANGAN PROTOTIPE ALAT PENGUSIR TIKUS
BERBASIS *INTERNET OF THINGS*
MENGUNAKAN ESP32-CAM**

Oleh

MUHAMMAD SULTAN RAISYAH

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

Sarjana Komputer

Pada

Program Studi S1 Ilmu Komputer

Jurusan Ilmu Komputer



**ILMU KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2024

ABSTRAK

PENGEMBANGAN PROTOTIPE ALAT PENGUSIR TIKUS BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGUNAKAN ESP32-CAM

Oleh

MUHAMMAD SULTAN RAISYAH

Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototipe alat pengusir tikus berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32-CAM. Tikus sebagai hama merugikan sektor pertanian, terutama tanaman padi yang menjadi komoditas penting di Indonesia. Metode pengendalian hama yang ada, seperti penggunaan burung hantu dan pestisida, memiliki keterbatasan dan dampak negatif terhadap lingkungan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, suara ultrasonik berfrekuensi 50 kHz terbukti efektif mengusir tikus. Alat yang dikembangkan dalam penelitian ini menggabungkan ESP32-CAM, sensor PIR, dan *buzzer* untuk mendeteksi gerakan tikus dan menghasilkan suara ultrasonik secara otomatis. Kamera pada ESP32-CAM melakukan *live streaming* yang dapat diakses melalui website, sementara lampu flash aktif pada malam hari untuk mendukung pemantauan. Alat ini diharapkan dapat menjadi solusi ramah lingkungan untuk pengusiran tikus dan dasar untuk pengembangan lebih lanjut.

Kata Kunci: *Internet of Things*, Pengusir Tikus, Monitoring, ESP32-CAM, Suara Ultrasonik, Sensor PIR.

ABSTRAK

DEVELOPMENT OF AN INTERNET OF THINGS BASED RAT REPELLENT PROTOTYPE USING ESP32-CAM

Oleh

MUHAMMAD SULTAN RAISYAH

This research aims to develop a prototype rat repellent device based on the Internet of Things (IoT) using ESP32-CAM. Rats, as pests, cause significant damage to the agricultural sector, particularly to rice crops, which are an important commodity in Indonesia. Existing pest control methods, such as the use of owls and pesticides, have limitations and negative environmental impacts. Previous studies have shown that ultrasonic sound at a frequency of 50 kHz is effective in repelling rats. The device developed in this research integrates ESP32-CAM, a PIR sensor, and a buzzer to detect rat movement and automatically produce ultrasonic sound. The ESP32-CAM camera performs live streaming accessible via a website, while the flash light activates at night to support monitoring. Additionally, this device can be easily monitored and controlled remotely, offering flexibility for users. This device is expected to provide an environmentally friendly solution for rat repellent and serve as a foundation for further development.

Keywords: Internet of Things, Rat Repellent, Monitoring, ESP32-CAM, Ultrasonic Sound, PIR Sensor.

Judul Skripsi : **PENGEMBANGAN PROTOTIPE ALAT
PENGUSIR TIKUS BERBASIS *INTERNET*
OF THINGS MENGGUNAKAN ESP32-CAM**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Sultan Raisyah**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2057051019

Program Studi : S1 Ilmu Komputer

Jurusan : Ilmu Komputer

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Febi Eka Febriansyah, M.T.
NIP. 19800219 200604 1 001

2. Ketua Jurusan Ilmu Komputer

Dwi Sakethi, S.S., M.Kom.
NIP. 19680611 199802 1 001

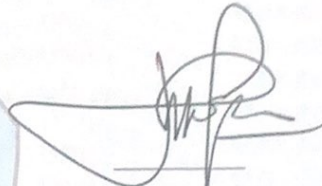
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Febi Eka Febriansyah, M.T.



Penguji I
Sekretaris : Dwi Sakethi, S.Si., M.Kom.



Penguji II
Bukan Pembimbing : Bambang Hermanto, S.Kom., M.Cs.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M. Si

NIP. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 22 Oktober 2024

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Sultan Raisyah

NPM : 2057051019

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "**Pengembangan Prototipe Alat Pengusir Tikus Berbasis *Internet Of Things* Menggunakan ESP32-CAM**" merupakan karya saya sendiri dan bukan karya orang lain. Semua tulisan yang tertuang di skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi saya merupakan hasil penjiplakan atau dibuat orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar yang telah saya terima.

Bandar Lampung, 25 November 2024



Muhammad Sultan Raisyah
NPM. 2057051019

RIWAYAT HIDUP



Lahir di Jakarta pada tanggal 31 Mei 2002. Anak pertama dari dua bersaudara, dari Bapak Mohamad Mulia Sofyansyah dan Ibu Kiki Siti Zuraida. menyelesaikan pendidikan di SDIT Citra Azzahra pada tahun 2014, kemudian menyelesaikan pendidikan menengah pertama di MTSN 32 Jakarta pada tahun 2017, dan lulus dari pendidikan menengah atas di SMAN 90 Jakarta pada tahun 2020.

Pada tahun 2020, terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SMMPTN Barat. Kegiatan-kegiatan yang dilakukan selama menjadi mahasiswa yaitu sebagai berikut.

1. Meraih Juara 2 pada Politic Cup 2021 Divisi Valorant, yang diadakan oleh Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Brawijaya.
2. Melaksanakan Magang Merdeka Belajar – Kampus Merdeka (MBKM) pada bulan Februari – Juni periode 2022/2023 di Departemen IT Development-IT Support PetroChina International Jabung Ltd.
3. Melaksanakan Kuliah Kerja Nyata Kota Bandar Lampung Pada tahun 2022/2023.

MOTO

“You have no enemies. No one is your enemy. There is no one you should hurt.”

(Thorfinn)

“Revenge doesn't bring peace. It only breeds more hatred.”

(Guts)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahillobbilalamin

Puji dan syukur tercurahkan kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan Kepada Nabi Muhammad *Sholallahu Alaihi Wasallam*.

Kupersembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tua, Adik, dan Nenek, Serta Keluarga Besar

Yang senantiasa memberikan yang terbaik, dan melantunkan do'a yang selalu Menyertaiku. Kuucapkan pula terimakasih sebesar-besarnya karena telah mendidik dan membesarkanku dengan cara yang dipenuhi kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan yang belum bisa terbalaskan.

Seluruh Keluarga Besar Ilmu Komputer 2020

Yang selalu memberikan semangat dan dukungan.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Ilmu Komputer

Tempat menimba ilmu, untuk menjadi bekal hidup dunia dan akhirat

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas berkah, rahmat dan hidayatnya, serta petunjuk dan pedoman dari Rasulullah Nabi Muhammad *Sholallahu Alaihi Wasallam* penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengembangan Prototipe Alat Pengusir Tikus Berbasis *Internet Of Things* Menggunakan ESP32-CAM” dengan baik dan lancar.

Terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu dan berperan besar dalam menyusun skripsi ini, antara lain:

1. Kepada semua pihak yang telah membantu dan berperan besar dalam menyusun skripsi ini, antara lain.
2. Kedua orang tua dan adik tercinta, yang telah memberikan dukungan, doa, semangat, motivasi, serta kasih sayang yang begitu luar biasa. Semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala senantiasa melimpahkan kebahagiaan dan keberkahan dalam hidup kalian, di dunia dan di akhirat.
3. Ibu Yunda Heningtyas, M.Kom. sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan dan dukungan akademik penulis.
4. Bapak Febi Eka Febriansyah, M.T. sebagai Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan arahan, ide, motivasi, kritik serta saran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Bapak Dwi Sakethi, S.Si., M.Kom. selaku ketua Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung dan Dosen Pembahas Pertama yang telah memberikan masukan yang bermanfaat dalam perbaikan skripsi ini.

6. Bapak Bambang Hermanto, S.Kom., M.Cs. sebagai Dosen Pembahas Kedua yang telah memberikan masukan yang bermanfaat dalam perbaikan skripsi ini dan mendukung peningkatan akademik penulis.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
8. Ibu Anie Rose Irawati S.T., M.Cs. selaku Sekretaris Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung.
9. Ibu Ade Nora Maela yang telah membantu segala urusan administrasi penulis di Jurusan Ilmu Komputer.
10. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan pengalaman dalam hidup untuk menjadi lebih baik.
11. Nabila yang selalu hadir sebagai sahabat dengan hal-hal positif yang membuat penulis belajar dan tumbuh dari 0 hingga sampai di titik ini. Selepas dari semua yang terjadi, dukungan, kebaikan, dan kehadirannya sungguh berarti bagi perjalanan hidup penulis.
12. Teman-teman “Himacord” (Ahmad, Faiz, Rizki, Syahril, Fachru, Fadhil, Fakhri, Joy, Thoriq, Riyo, Sultan, Zaka, Zaki) yang setia menjadi teman bermain dan berbagi cerita. Bersama kalian, tak hanya tawa yang tercipta, tetapi juga semangat dan cita yang kita bangun bersama, mengukir harapan dan rencana untuk masa depan selepas bangku kuliah.

Bandar Lampung, 25 November 2024

Muhammad Sultan Raisyah
NPM. 2057051019

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
II. LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
2.2 Tikus	6
2.3 Suara Ultrasonik.....	7
2.4 <i>Internet of Things</i>	8
2.5 ESP32.....	8
2.6 ESP32-CAM.....	9
2.7 Sensor PIR.....	10
2.8 <i>Buzzer</i>.....	10
2.9 Liquid Crystal Display (LCD).....	11

2.10	Network Time Protocol.....	11
2.11	Arduino IDE.....	12
2.12	Black Box Testing.....	12
2.13	Metode Component-Based Development	12
III.	METODE PENELITIAN	13
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	13
3.2	Perangkat Penelitian	13
3.2.1	Perangkat Keras.....	13
3.2.2	Perangkat Lunak	14
3.2.3	Alat dan Bahan Pendukung	14
3.3	Tahapan Penelitian.....	14
3.3.1	Studi Literatur.....	15
3.3.2	Identifikasi Komponen	15
3.3.3	Analisis Kebutuhan	15
3.3.4	Desain Arsitektur Sistem.....	18
3.3.5	Integrasi Komponen.....	23
3.3.6	Implementasi Komponen.....	27
3.3.7	Pengujian	28
3.4	Penulisan Laporan.....	29
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1	Iterasi 1	30
4.1.1	Implementasi Komponen pada Prototipe Alat Pengusir Tikus	30
4.1.2	Implementasi Komponen pada Alat Uji Frekuensi	41
4.1.3	Pengujian	44
V.	SIMPULAN DAN SARAN	49
5.1	Simpulan.....	49
5.2	Saran.....	50
	DAFTAR PUSTAKA	52

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Perangkat Keras.....	13
Tabel 2. Kebutuhan Fungsional.....	16
Tabel 3. Kebutuhan Non Fungsional.....	17
Tabel 4. Penggunaan Pin ESP32 dengan ESP32-CAM	18
Tabel 5. Penggunaan Pin Sensor PIR.....	19
Tabel 6. Penggunaan Pin <i>Buzzer</i>	20
Tabel 7. Penggunaan Pin ESP32 dengan <i>Buzzer</i> dan Potensio	21
Tabel 8. Penggunaan Pin ESP32 dengan LCD.....	22
Tabel 9. Masukan dan Keluaran Logika Keseluruhan Sistem	23
Tabel 10. Pengujian Seluruh Komponen.....	28
Tabel 11. Hasil Pengujian Iterasi 1.....	44
Tabel 12. Pengujian Respons Tikus terhadap Suara Ultrasonik.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Tikus	6
Gambar 2. ESP32	8
Gambar 3. ESP32-CAM	9
Gambar 4. Sensor PIR	10
Gambar 5. <i>Buzzer</i>	10
Gambar 6. Liquid Crystal Display (LCD)	11
Gambar 7. Tahapan Penelitian.....	14
Gambar 8. Rangkaian ESP32-CAM dengan ESP32	18
Gambar 9. Rangkaian ESP32 dengan Sensor PIR.....	19
Gambar 10. Rangkaian ESP32 dengan <i>Buzzer</i>	20
Gambar 11. Rangkaian ESP32 dengan <i>Buzzer</i> dan Potensio	21
Gambar 12. Rangkaian ESP32 dengan LCD.....	22
Gambar 13. Rangkaian Logika Prototipe Alat Pengusir Tikus	23
Gambar 14. <i>Flowchart</i> Prototipe Alat Pengusir Tikus	24
Gambar 15. Rangkaian Keseluruhan Prototipe Alat Pengusir Tikus	26
Gambar 16. <i>Flowchart</i> Alat Uji Frekuensi.....	26
Gambar 17. Rangkaian Keseluruhan Alat Uji Frekuensi	27
Gambar 18. Menghubungkan ESP32 dengan ESP32-CAM	31
Gambar 19. Integrasi Semua Komponen Prototipe Alat Pengusir Tikus.....	36
Gambar 20. Integrasi Semua Komponen Alat Uji Frekuensi.....	41
Gambar 21. Pengujian Respons Tikus terhadap Suara Ultrasonik.....	47
Gambar 22. Alat Uji Frekuensi pada Tahap Pengujian	47
Gambar 23. Kondisi Tikus Mencit Selama Lima Hari.....	48

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tikus (*Rattus*) adalah salah satu hama yang paling merugikan berbagai sektor, termasuk pertanian, infrastruktur, dan kesehatan. Kerugian yang disebabkan oleh tikus dapat berupa kerusakan pada tanaman, pencemaran makanan, kerusakan properti, serta penyebaran penyakit. Dalam sektor pertanian, tikus sangat merugikan tanaman pangan, termasuk padi (*Oryza sativa L.*). Di Indonesia, serangan hama tikus pada tanaman padi dapat menyebabkan kerugian hingga 15-20% per tahun (Sipayung dkk., 2018). Padi merupakan salah satu komoditas paling penting sebagai penghasil beras dan sumber makanan pokok masyarakat Indonesia, serta memainkan peran sentral dalam perekonomian negara (Kusumaningrum, 2019).

Menurut Dinas Ketahanan Pangan, Tanaman Pangan, dan Hortikultura Provinsi Lampung, serangan hama tikus di Provinsi Lampung pada tahun 2023, mencakup luas lahan sebesar 1.437,77 hektar. Upaya pengendalian hama tikus di provinsi ini melibatkan berbagai metode, salah satunya adalah metode pengendalian hama hayati dengan menggunakan burung hantu yang telah diaplikasikan pada 5 hektar lahan. Meskipun efektif, metode ini cukup sulit karena membutuhkan pembudidayaan dan pelatihan burung hantu untuk berburu di daerah tertentu. Selain itu, penggunaan pestisida juga telah diterapkan pada 1.789,515 hektar dan efektif untuk mengusir tikus, namun penggunaannya memiliki dampak negatif bagi manusia dan lingkungan sekitar (Widiarta, 2021). Oleh karena itu, dibutuhkan solusi yang lebih ramah lingkungan untuk mengusir hama tikus di lahan pertanian padi.

Penelitian mengenai pengusiran hama tikus telah dilakukan oleh Iqbal & Rahayu (2022) berhasil mengembangkan alat otomatis menggunakan Arduino Uno, sensor PIR, dan *buzzer*. Cara kerja alatnya adalah ketika sensor PIR mendeteksi gerakan maka *buzzer* akan menghasilkan suara ultrasonik. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi sensor PIR dan suara ultrasonik dengan frekuensi 50 kHz terbukti efektif dalam mengusir tikus. Di penelitian lain, Tijaniyah & Arzenda (2022) berhasil mengembangkan alat yang serupa tetapi dengan tambahan fitur *live streaming* melalui aplikasi Blynk menggunakan ESP32-CAM. Namun dalam penelitian ini, alatnya belum dilengkapi dengan sumber pencahayaan yang dapat membatasi efektifitas pemantauan ketika malam hari. Selain itu, penggunaan website sebagai *platform* untuk pemantauan melalui ESP32-CAM dapat meningkatkan fleksibilitas akses dari berbagai perangkat dibandingkan dengan menggunakan aplikasi Blynk.

Penelitian ini memberikan solusi inovatif untuk mengusir tikus yaitu dengan membuat prototipe alat pengusir tikus berbasis *Internet of Things*. Alat ini dikembangkan dalam bentuk prototipe yang dapat menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut di masa mendatang. Dengan menggunakan ESP32-CAM, sensor PIR, dan *buzzer*, alat ini dapat mendeteksi kehadiran tikus dan mengambil tindakan preventif secara otomatis. Sensor PIR berfungsi untuk mendeteksi gerakan saat tikus memasuki area yang dijaga. Begitu sensor PIR mendeteksi keberadaan tikus, *buzzer* akan aktif untuk menghasilkan suara ultrasonik untuk mengusir tikus. Selain itu, ketika sensor PIR mendeteksi gerakan, kamera OV2640 dan lampu *flash* pada ESP32-CAM juga akan aktif. Kamera OV2640 akan aktif untuk melakukan *live streaming* yang dapat diakses melalui website. Lampu *flash* berfungsi sebagai sumber pencahayaan yang hanya aktif ketika malam hari, hal ini ditentukan oleh modul Network Time Protocol yang memanfaatkan jam secara *real-time* untuk mendeteksi perbedaan waktu siang dan malam. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan alat ini dapat membantu mengusir hama tikus serta menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut di masa mendatang. Oleh karena itu, terbentuklah penelitian dengan judul **“PENGEMBANGAN PROTOTIPE ALAT PENGUSIR TIKUS BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGGUNAKAN ESP32-CAM”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan masalah penelitian yaitu bagaimana cara mengembangkan prototipe alat pengusir tikus berbasis *Internet of Things* menggunakan ESP32-CAM.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat ini dikembangkan dalam bentuk prototipe berbasis *Internet of Things*.
2. Penggunaan ESP32 dan ESP32-CAM sebagai mikrokontroler.
3. Penggunaan Kamera OV2640 pada ESP32-CAM untuk *live streaming*.
4. Deteksi gerakan menggunakan sensor PIR.
5. Pengusiran tikus dengan suara ultrasonik yang dihasilkan *buzzer*.
6. Akses waktu secara *real-time* menggunakan Network Time Protocol untuk membedakan siang dan malam.
7. Sumber pencahayaan pada malam hari yang berasal dari lampu *flash* pada ESP32-CAM.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan prototipe alat pengusir tikus berbasis *Internet of Things* menggunakan ESP32-CAM, yang akan menjadi referensi untuk pengembangan lebih lanjut di masa depan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan solusi inovatif dalam mengusir hama tikus dengan mengembangkan prototipe alat pengusir berbasis *Internet of Things* (IoT).
2. Memberikan dasar pengembangan di masa mendatang dalam pengendalian hama tikus berbasis IoT. Dengan menggunakan komponen yang lebih sesuai untuk implementasi yang sebenarnya, sehingga meningkatkan efektivitas dalam pengendalian hama tikus.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait pengusiran tikus telah dilakukan oleh Iqbal & Rahayu (2022) yang berjudul “Alat Pengusir Hama Tikus Sawah Berbasis Arduino Uno dan Suara Ultrasonik”, berhasil membuat alat pengusir tikus otomatis menggunakan Arduino Uno dan suara ultrasonik untuk melindungi tanaman padi dari hama tikus. Alat ini menggunakan komponen seperti Arduino Uno, sensor PIR, dan *buzzer*. Cara kerja alatnya adalah ketika sensor PIR mendeteksi gerakan maka *buzzer* akan menghasilkan suara ultrasonik sebesar 30 kHz.

Herlambang (2020) melakukan penelitian yang berjudul “Alat Pengusir Hama Tikus menggunakan Sensor PIR Berbasis Arduino Uno” dengan membuat alat pengusir tikus menggunakan Arduino Uno, sensor PIR, stepper motor dan *buzzer*. Sensor PIR digunakan untuk mendeteksi gerakan tikus, Arduino Uno akan mengaktifkan *buzzer* sebagai penghasil suara ultrasonik.

Wijaya dkk. (2023) melakukan penelitian yang berjudul “Protitipe Pengusir Tikus dan Burung Berbasis Arduino dan Sensor Cahaya Bertenaga Panel Surya”. Penelitian dilakukan dengan membuat alat pengusir tikus yang menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler, sensor PIR, sensor ultrasonik, *buzzer*, dan panel surya. Cara kerjanya adalah ketika sensor PIR mendeteksi gerakan maka *buzzer* akan menghasilkan suara ultrasonik untuk mengusir tikus.

Sowmika dkk. (2020) melakukan penelitian yang berjudul “IoT Based Smart Rodent Detection and Fire Alert System in Farmland”. Penelitian ini dilakukan dengan mengembangkan sistem *smart farming* menggunakan Raspberry Pi, sensor kelembaban tanah, sensor suhu, modul GSM, sensor PIR, sensor ultrasonik, sensor deteksi api, dan *buzzer*. Sensor PIR dan *buzzer*, yang digunakan untuk mendeteksi gerakan hama dan memberikan peringatan kepada petani. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan kemampuan untuk mengukur kelembaban tanah dan pH tanah secara *real-time*. Informasi ini kemudian diproses oleh sistem untuk memberikan notifikasi kepada petani jika tanah mengalami kondisi kekeringan atau memiliki tingkat pH yang tidak sesuai. Sistem ini juga berhasil melindungi lahan pertanian dari serangan hama dengan memberikan respons cepat terhadap kondisi lingkungan yang berubah.

Tijaniyah & Arzenda (2022) melakukan penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Prototype Alat Pengusir Tikus Dengan Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik Berbasis Internet of Things”. Penelitian ini dilakukan dengan mengembangkan prototipe alat pengusir tikus yang memanfaatkan suara ultrasonik berbasis *Internet of Things* menggunakan ESP32-CAM, sensor PIR, dan *buzzer*. Alat ini bekerja dengan menghasilkan suara ultrasonik yang berasal dari *buzzer* ketika sensor PIR mendeteksi gerakan. Alat ini terhubung dengan aplikasi Blynk melalui internet. Dengan ini, pengguna dapat memantau alat dari jarak jauh melalui kamera OV2640 pada ESP32-CAM.

Rifaini dkk., (2021) melakukan penelitian yang berjudul “Alat Perangkap dan Kamera Pengawas dengan Menggunakan ESP32-CAM sebagai Sistem Keamanan Kandang Ayam”. Penelitian dilakukan dengan membuat alat perangkap dan kamera pengawas kandang ayam yang menggunakan ESP32-CAM. Alat ini terbukti berfungsi dengan baik, terutama dalam mendeteksi adanya gerakan di dalam perangkap menggunakan sensor PIR. Ketika sensor PIR mendeteksi gerakan, kamera OV2640 pada ESP32-CAM akan segera mengambil gambar dari situasi yang terdeteksi dan kemudian mengirimkannya melalui aplikasi Telegram sebagai notifikasi, memanfaatkan koneksi WiFi yang tersedia.

2.2 Tikus



Gambar 1. Tikus Mencit.

Tikus, khususnya genus *Rattus*, sering digunakan dalam penelitian laboratorium karena karakteristiknya yang mudah dipelajari, perawatan yang sederhana, dan kegunaannya dalam berbagai jenis penelitian. Mereka memiliki umur 2 hingga 3 tahun dan mencapai kematangan dalam 37 hingga 75 hari setelah lahir. Berat tikus dewasa berkisar antara 225 hingga 500 gram. Tikus menunjukkan perilaku menggali, mengunyah, dan bersarang yang penting untuk kelangsungan hidup mereka di alam liar maupun di laboratorium. Mereka memiliki sensitivitas tinggi terhadap suara dan bau, tetapi penglihatan mereka kurang tajam. Karena sekitar 98% materi genetik tikus mirip dengan manusia, mereka menjadi model yang ideal untuk studi penyakit, genetika, dan perilaku manusia. Klasifikasi tikus meliputi Kerajaan *Animalia*, Filum *Chordata*, Kelas *Mammalia*, Ordo *Rodentia*, Famili *Muridae*, Genus *Mus*, dan Spesies *Mus musculus* (tikus mencit). Jenis-jenis tikus yang umum digunakan dalam penelitian mencakup beberapa spesies dengan karakteristik unik. Tikus Mencit (*Mus musculus*) adalah salah satu tikus laboratorium yang paling sering digunakan karena ukuran tubuhnya yang kecil, siklus reproduksi yang cepat, dan lebih mudah dirawat. Tikus Sawah (*Rattus argentiventer*) merupakan spesies tikus yang sering ditemukan di lahan padi dan dikenal sebagai hama utama dalam pertanian karena dapat menyebabkan kerusakan besar pada tanaman (Rejeki dkk., 2018).

Salah satu jenis tikus yaitu tikus sawah (*Rattus Argentiventer*) merupakan ancaman serius bagi pertanian padi. Serangan tikus sawah terhadap padi sulit diatasi karena hewan ini memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan dan daya rusak yang tinggi (Sudarmaji, 2019). Pada vegetatif, tikus menggigit atau memotong batang padi yang muda karena batang pada fase ini cenderung lebih manis. Pada fase generatif, tikus dapat merusak 24-246 batang setiap malam (Putra & Arjunet, 2019). Dengan ini, tikus sawah menunjukkan preferensi serangan tertinggi pada fase awal generatif yang ditandai dengan jumlah tangkapan tikus dan kerusakan pada tanaman padi yang tinggi dibandingkan fase-fase lainnya. Kesimpulan ini penting sebagai dasar dalam menentukan waktu dan tindakan pengendalian hama tikus yang tepat, mengingat luas serangan tikus di Indonesia mencapai 66,087 ha/tahun dengan 1,852 ha di antaranya mengalami puso, menurut data dari Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian tahun 2018, menunjukkan betapa signifikannya kerugian yang diakibatkan oleh hama ini terhadap produksi padi nasional (Siregar dkk., 2020).

2.3 Suara Ultrasonik

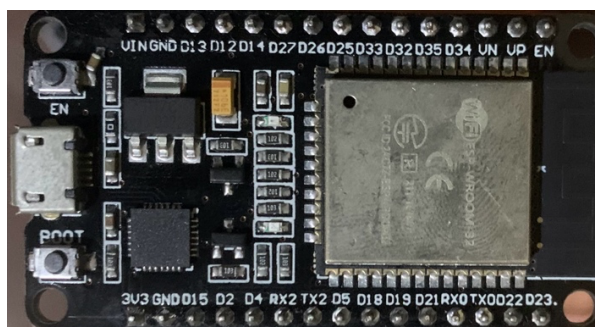
Suara ultrasonik adalah suara yang memiliki frekuensi di atas 20.000 Hz, tidak dapat didengar oleh telinga manusia, dan mampu merambat melalui berbagai medium. Suara ultrasonik banyak dimanfaatkan di bidang industri, bidang medis, dan juga di bidang pertanian dalam pengendalian hama tikus (Wijanarko dkk., 2017).

Tikus merespons suara ultrasonik sebagai ancaman yang terlihat dari perubahan pola gerakan dan tingkah laku yang menunjukkan kecemasan atau ketakutan. Suara ultrasonik dengan frekuensi 22 kHz dapat memicu respons kecemasan dan defensif, yang membuat tikus merasa terganggu (Brudzynski, 2009). Contohnya pada frekuensi 50 kHz, perilaku tikus sangat terganggu, kebingungan, dan tidak bergerak (Iqbal & Rahayu, 2022).

2.4 *Internet of Things*

Internet of Things (IoT) adalah teknologi yang memungkinkan perangkat yang terkoneksi dengan internet untuk saling bertukar informasi secara otomatis dan *real-time*. Teknologi ini memfasilitasi pengumpulan data yang berguna dari berbagai lokasi, baik di lingkungan rumah tangga, industri, maupun perkotaan. Dengan adanya konektivitas yang terus-menerus, IoT memungkinkan perangkat untuk bekerja secara lebih efisien dan responsif terhadap perubahan kondisi di sekitarnya. Setiap perangkat IoT memiliki identitas unik yang memungkinkannya dikenali dalam jaringan yang luas, sehingga memudahkan dalam pemodelan, pengendalian, dan pengelolaan data. Selain itu, IoT juga berfungsi dalam publikasi data, analisis data secara *real-time*, dan deteksi perangkat yang terkoneksi (Villamil dkk., 2020).

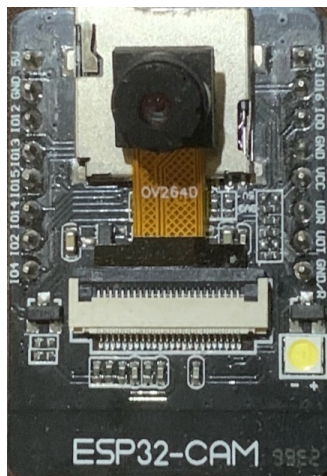
2.5 ESP32



Gambar 2. ESP32.

ESP32 adalah mikrokontroler *sistem-on-chip* dengan biaya rendah dan konsumsi daya rendah yang dilengkapi dengan Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi. ESP32 digunakan sebagai pusat kendali utama yang dapat menghubungkan berbagai sensor dan perangkat lainnya. ESP32 berfungsi sebagai antarmuka antara pemrogram dan komponen yang dikendalikannya. Dengan fitur Wi-Fi dan Bluetooth, biaya murah, dan konsumsi daya yang efisien, ESP32 merupakan pilihan yang sangat baik untuk proyek *Internet of Things* (Pravalika & Prasad, 2019).

2.6 ESP32-CAM



Gambar 3. ESP32-CAM.

ESP32-CAM adalah modul mikrokontroler yang dirancang oleh Espressif Systems pada tahun 2016 dan telah menjadi pilihan populer di kalangan pengembang yang membutuhkan solusi kompak dengan kemampuan transfer data nirkabel. Modul ini mendukung komunikasi melalui WiFi dan Bluetooth, sehingga memungkinkan integrasi yang mudah dengan berbagai perangkat dan jaringan dalam proyek *Internet of Things* (IoT). Keunggulan ESP32-CAM terletak pada antarmuka yang lebih lengkap dibandingkan pendahulunya, yaitu ESP8266. Modul ini dilengkapi dengan prosesor *dual-core 32-bit* yang memiliki kecepatan fleksibel antara 80, 160, atau 240 MHz, memungkinkan kinerja yang optimal sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

Selain itu, ESP32-CAM dilengkapi dengan kamera OV2640 yang mampu mengambil dan merekam gambar dengan resolusi hingga 1600x1200 *pixel* pada 15 FPS. Modul ini juga memiliki lampu *flash* yang berguna dalam kondisi pencahayaan yang rendah, slot kartu memori microSD untuk penyimpanan data tambahan, serta *chip* ESP32-S yang memastikan kinerja yang handal dan efisien. Kombinasi fitur-fitur ini menjadikan ESP32-CAM sebagai pilihan yang efektif dan ekonomis untuk pengembangan proyek IoT (Salikhov dkk., 2021).

2.7 Sensor PIR



Gambar 4. Sensor PIR.

Sensor PIR (*Passive Infrared*) merupakan perangkat sensor yang digunakan untuk mendeteksi perubahan suhu yang disebabkan oleh gerakan objek di sekitarnya. Prinsip kerja sensor ini didasarkan pada perubahan radiasi inframerah yang dipancarkan oleh objek ketika bergerak di depannya. Ketika sensor mendeteksi perubahan suhu di sekitarnya, sensor ini menghasilkan sinyal keluaran, membuatnya sangat efektif untuk mendeteksi gerakan manusia dan hewan (Akinwumi dkk., 2021).

2.8 Buzzer



Gambar 5. Buzzer.

Buzzer adalah komponen penting dalam dunia elektronika yang berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi suara yang dapat didengar. *Buzzer* mampu mengkonversi energi listrik menjadi energi akustik, sehingga menghasilkan bunyi atau nada yang dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti alarm, indikator, atau notifikasi. Komponen ini memiliki dua terminal atau kaki, yakni positif dan negatif, yang menentukan arah aliran arus listrik untuk menghasilkan suara. *Buzzer* dapat menghasilkan frekuensi berkisar antara 1 sampai 100 kHz dengan sinyal *Pulse Width Modulation* (Suwasta, 2021).

2.9 Liquid Crystal Display (LCD)



Gambar 6. Liquid Crystal Display (LCD).

Liquid Crystal Display (LCD) adalah rangkaian elektronika yang dirancang untuk menampilkan informasi dari mikrokontroler dan telah digunakan luas dalam berbagai perangkat elektronika. LCD dot matrik 2x16 sering digunakan untuk menampilkan status kerja alat atau sistem elektronika, menjadikannya pilihan umum dalam menyajikan data visual karena sifatnya yang fleksibel dan ringan. Pada LCD terdapat pin VCC untuk memberi daya, pin GND sebagai *ground*, pin SDA untuk mengirim dan menerima data *serial*, dan pin SCL untuk mengirimkan sinyal *clock* yang mensinkronkan pengiriman data antara mikrokontroler dan LCD (Suryantoro & Budiyanto, 2019).

2.10 Network Time Protocol

Network Time Protocol (NTP) adalah protokol yang digunakan untuk menyelaraskan waktu di berbagai perangkat dalam jaringan komputer. Ide dasar di balik NTP adalah menggunakan sumber waktu utama, seperti jam atom, untuk memberikan waktu yang akurat kepada semua perangkat yang terhubung. NTP bekerja dengan mengoreksi perbedaan waktu antara perangkat dan server waktu, sehingga dapat memastikan bahwa sinkronisasi waktu tetap akurat. Protokol ini sangat penting dalam proyek yang memerlukan presisi waktu tinggi, seperti dalam sistem transaksi finansial, jaringan komunikasi, atau aplikasi yang membutuhkan ketepatan waktu dalam mengirim notifikasi (Setiawan, 2017).

2.11 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan *software* yang memfasilitasi penulisan dan pengeditan kode, kompilasi program ke dalam bahasa biner, serta mengunduhnya ke memori mikrokontroler. Arduino memanfaatkan IDE sebagai *platform* pengembangan. Dengan Arduino IDE, dapat mempermudah menulis program, meng-*compile* kode, dan mengunggah ke dalam mikrokontroler. Ini merupakan kombinasi yang canggih dari hardware dan bahasa pemrograman. Arduino IDE dirancang untuk memfasilitasi berbagai pengembangan proyek karena memiliki banyak modul pendukung seperti sensor dan tampilan yang dapat digunakan untuk memprogram proyek *Internet of Things* (Djuandi, 2011).

2.12 Black Box Testing

Black Box Testing adalah metode pengujian yang berfokus pada kebutuhan fungsional suatu sistem, di mana penguji cukup mengetahui masukan yang akan diproses oleh sistem dan keluaran yang diharapkan tanpa harus memahami secara detail cara kerja *internal system* (Khan, 2011). Dalam penerapannya, Black Box Testing memiliki keunggulan. Salah satu keunggulan utamanya adalah kemampuannya untuk membantu mengidentifikasi aspek-aspek yang belum terpenuhi dalam spesifikasi kebutuhan suatu perangkat lunak (Praniffa dkk., 2023).

2.13 Metode Component-Based Development

Metode Component-Based Development (CBD) adalah pendekatan pengembangan sistem yang memanfaatkan komponen-komponen yang telah ada. Dalam metode ini, pengembangan sistem dimulai dengan mengidentifikasi komponen yang tersedia dan cocok untuk kebutuhan proyek. Kemudian, komponen-komponen ini diintegrasikan ke dalam arsitektur sistem yang telah dirancang, dan sistem diuji secara menyeluruh untuk memastikan semuanya berfungsi dengan baik. Metode ini memungkinkan penghematan waktu dan biaya karena menggunakan komponen yang sudah ada digunakan, sehingga penelitian bisa lebih diarahkan pada integrasi dan pengujian daripada pembuatan dari awal (Pressman, 2010).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Perangkat Lunak di Gedung MIPA T Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penelitian ini mulai dilaksanakan pada Semester Genap Tahun Akademik 2023/2024.

3.2 Perangkat Penelitian

3.2.1 Perangkat Keras

Berikut adalah perangkat keras yang digunakan dalam penelitian:

Tabel 1. Perangkat Keras.

Perangkat Keras	Spesifikasi
MacBook Air M1 2020	Chip M1, RAM 8GB, SSD 256GB.
ESP32	Dual-core, WiFi, Bluetooth, 34 <i>pinout</i> .
ESP32-CAM	Dual-core, WiFi, Bluetooth, kamera OV2640, USB type C, 15 <i>pinout</i> .
<i>Buzzer</i>	5V DC, 2 <i>pinout</i> ,
Sensor PIR	5V DC, deteksi 3-7 meter, sudut 120°, 3 <i>pinout</i> .
LCD	LCD 16x2, 4 <i>pinout</i> .
Potensio	4 <i>pinout</i> .
Breadboard	830 dan 170 <i>tie point</i> .
Kabel jumper	Panjang 20 cm.
Kabel Power Raspberry Pi	USB Type C, Kabel AWG22, Panjang 1 m.

3.2.2 Perangkat Lunak

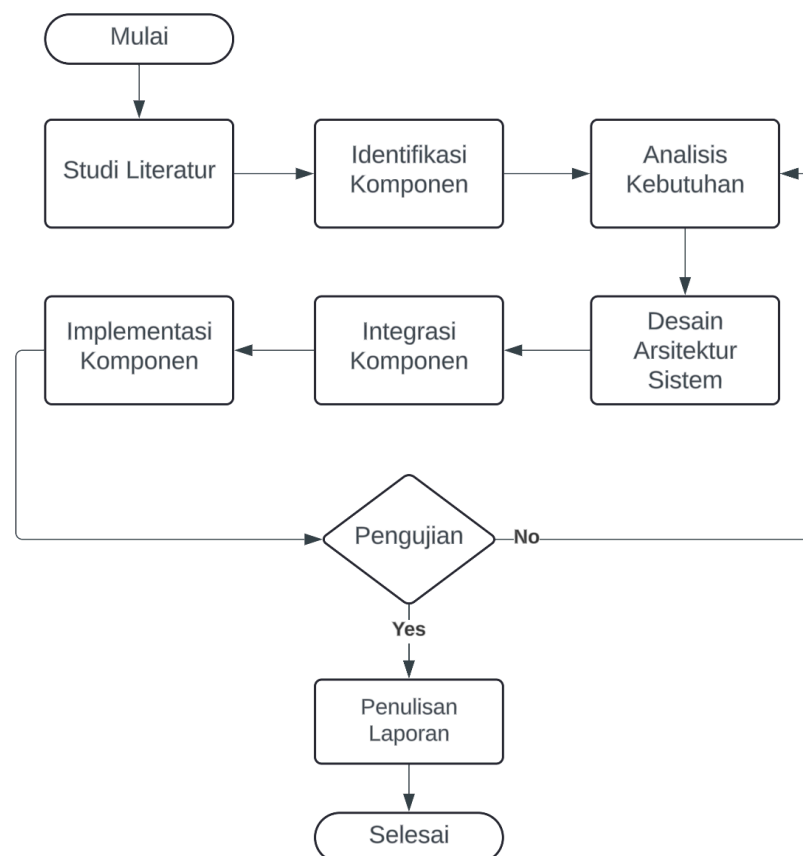
Berikut adalah perangkat lunak yang digunakan yaitu, Sistem Operasi macOS Sonoma, *Web Browser* Safari, Fritzing, dan Arduino IDE.

3.2.3 Alat dan Bahan Pendukung

Berikut adalah alat dan bahan pendukung yang digunakan dalam penelitian yaitu, tikus mencit, makanan tikus mencit (biji-bijian), air, kardus, gunting, dan solatip.

3.3 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan Metode Component-Based Development, ada beberapa tahap yang dilaksanakan yaitu, studi literatur, pengumpulan kebutuhan, perancangan sistem, pengujian sistem, dan pembuatan laporan.



Gambar 7. Tahapan Penelitian.

3.3.1 Studi Literatur

Pada tahap ini, studi literatur dilakukan untuk mempelajari konsep, materi, dan dasar ilmu dari teknologi yang berkaitan dengan judul penelitian yaitu “Pengembangan Prototipe Alat Pengusir Tikus Berbasis *Internet of Things* Menggunakan ESP32-CAM”. Tahap ini juga mencakup kajian penelitian-penelitian sebelumnya untuk memahami solusi yang telah ada serta bagaimana teknologi bisa diterapkan dengan baik dalam penelitian ini.

3.3.2 Identifikasi Komponen

Pada tahap ini, komponen-komponen yang sesuai dengan tujuan sistem telah diidentifikasi. Komponen-komponen tersebut meliputi ESP32, ESP32-CAM, sensor PIR, *buzzer*, LCD, potensio, breadboard, dan kabel jumper. ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler yang mengendalikan komponen-komponen lainnya (Pravalika & Prasad, 2019). ESP32-CAM digunakan untuk keperluan monitoring karena mampu memantau area dengan fitur *live streaming* secara *real-time*. Sensor PIR berfungsi sebagai pendeteksi gerak, memberikan sinyal masukan agar sistem dapat beroperasi secara otomatis (Salikhov dkk., 2021). *Buzzer* dipilih karena mampu menghasilkan suara ultrasonik untuk mengusir tikus, terutama ketika frekuensinya di-*set* ke 50 kHz (Iqbal & Rahayu, 2022).

3.3.3 Analisis Kebutuhan

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan informasi secara menyeluruh untuk memahami secara detail apa yang dibutuhkan oleh sistem yang akan dikembangkan. Proses ini melibatkan identifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional yang harus dipenuhi oleh sistem. Kebutuhan fungsional mencakup fungsi-fungsi spesifik yang harus dilakukan oleh sistem, sementara kebutuhan non-fungsional berfokus pada aspek kinerja, keandalan, dan keamanan.

3.3.3.1 Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional dari hasil diskusi terdapat lima hal.

Tabel 2. Tabel Kebutuhan Fungsional.

No.	Nama	Deskripsi
1.	Deteksi Gerakan oleh Sensor PIR	Sensor PIR mendeteksi gerakan dan memberikan masukan “HIGH” atau “LOW”, mengendalikan apakah sistem akan berjalan atau tidak berdasarkan deteksi gerakan tersebut.
2.	Aktivasi <i>Buzzer</i> Ultrasonik	<i>Buzzer</i> aktif menghasilkan suara ultrasonik dengan frekuensi 2000 Hz saat sensor PIR mendeteksi gerakan.
3.	<i>Live Streaming</i> oleh Kamera OV2640 pada ESP32-CAM	Mikrokontroler pada ESP32-CAM terhubung ke WiFi saat sistem aktif, lalu kamera OV2640 aktif melakukan <i>live streaming</i> secara <i>real-time</i> .
4.	Pengambilan Data Waktu dari Server Network Time Protocol (NTP)	Modul NTP mengambil data waktu yang diperbarui dari server NTP dengan <i>offset</i> WIB menggunakan komunikasi User Datagram Protocol (UDP).
5.	Otomasi Pencahayaan oleh Lampu <i>Flash</i> pada ESP32-CAM	Lampu <i>flash</i> menyala otomatis pada malam hari (18.00 – 06.00) dan mati pada siang hari (06.00 – 17.59) berdasarkan input dari modul NTP.
6.	Uji Frekuensi <i>Buzzer</i>	Alat uji frekuensi digunakan untuk menguji dan menentukan frekuensi <i>buzzer</i> yang efektif mengusir tikus, dengan hasil frekuensi ditampilkan di modul LCD.

3.3.3.2 Kebutuhan Non-Fungsional

Kebutuhan non-fungsional dari hasil diskusi terdapat lima hal.

Tabel 3. Tabel Kebutuhan Non-Fungsional.

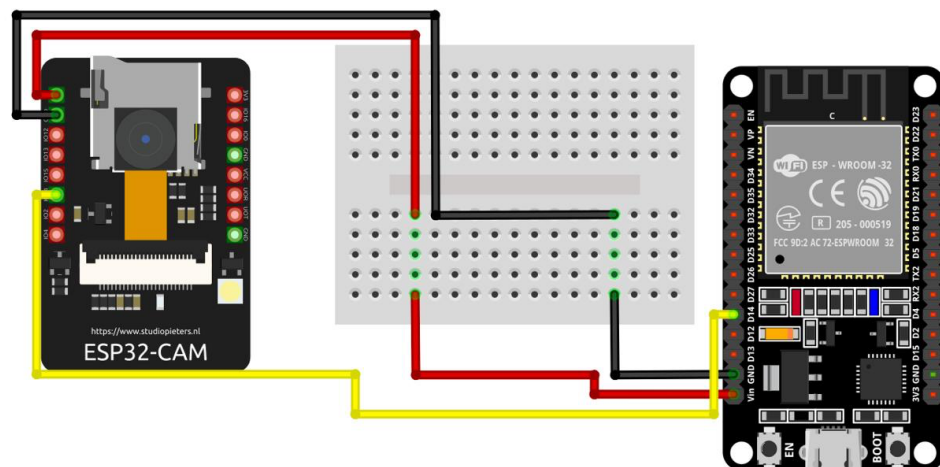
No.	Nama	Deskripsi
1.	Keandalan Deteksi Gerakan	Sensor PIR harus dapat mendeteksi gerakan dengan akurasi tinggi dan memastikan sistem berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi.
2.	Kinerja <i>Buzzer</i>	<i>Buzzer</i> harus menghasilkan suara ultrasonik pada frekuensi 2000 Hz secara konsisten tanpa penurunan performa untuk memastikan efektivitas pengusiran.
3.	Kualitas Streaming	Kamera OV2640 pada ESP32-CAM harus memaksimalkan kualitas gambar live streaming sesuai dengan spesifikasi dapat terhubung ke WiFi dengan stabil.
4.	Akurasi Data Waktu	Modul NTP harus mengambil data waktu dengan akurasi tinggi tanpa keterlambatan signifikan untuk memastikan sinkronisasi waktu yang tepat.
5.	Otomasi Lampu <i>Flash</i> pada ESP32-CAM	Sistem harus secara otomatis mengendalikan lampu <i>flash</i> berdasarkan waktu yang tepat dari modul NTP tanpa kesalahan, memastikan pencahayaan yang sesuai sesuai waktu hari.
6.	Akurasi Uji Frekuensi <i>Buzzer</i>	Alat uji frekuensi harus akurat dalam mengukur dan menampilkan frekuensi <i>buzzer</i> pada modul LCD.

3.3.4 Desain Arsitektur Sistem

Pada tahap ini, dilakukan perancangan alat pengusir tikus menggunakan *software* Fritzing. Setiap komponen dirancang sesuai fungsinya, dan nanti semua komponennya akan diintegrasikan menjadi satu sistem yang utuh.

3.3.4.1 Perancangan ESP32 dengan ESP32-CAM

Tahap perancangan ini bertujuan untuk membuat desain rancangan ESP32 dengan ESP32-CAM pada prototipe alat pengusir tikus. Sistem ini menggunakan dua *board* untuk mendistribusikan kinerja komponen sehingga setiap *board* tidak terlalu terbebani dalam menjalankan tugas-tugasnya. Berikut adalah rangkaian ESP32-CAM dengan sensor PIR.



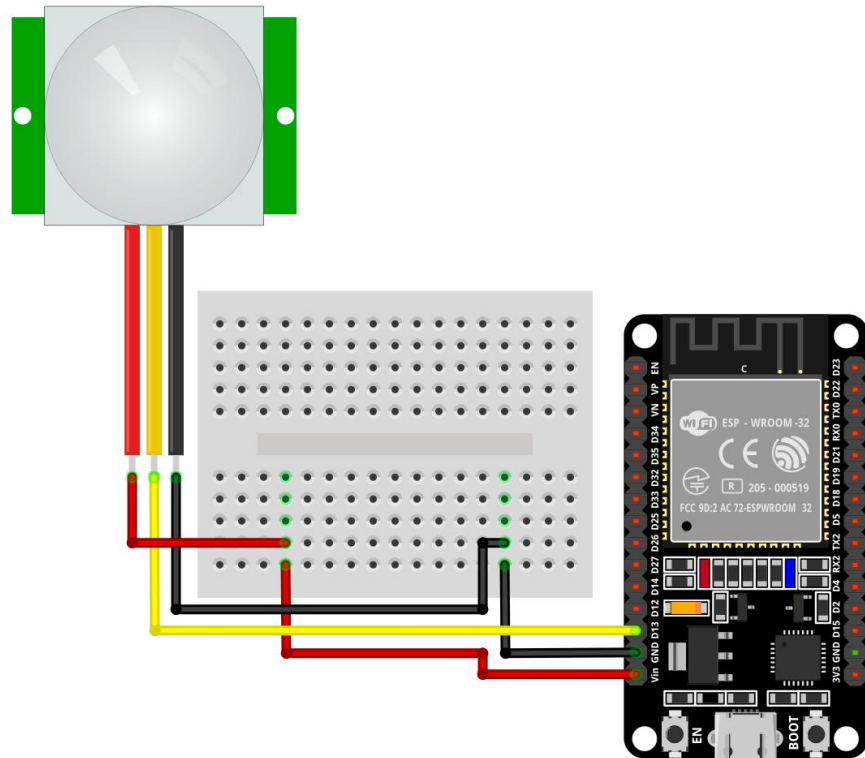
Gambar 8. Rangkaian ESP32 dengan ESP32-CAM.

Tabel 4. Penggunaan Pin ESP32 dengan ESP32-CAM.

ESP32	ESP32-CAM
VIN	5V
GND	GND
D14	IO14

3.3.4.2 Perancangan ESP32 dengan Sensor PIR

Tahap perancangan ini bertujuan untuk membuat desain rancangan ESP32 dengan sensor PIR pada prototipe alat pengusir tikus. Sensor PIR berfungsi untuk mendeteksi gerakan, yang akan menghasilkan sinyal masukan pada sistem. Berikut adalah rangkaian ESP32 dengan sensor PIR.



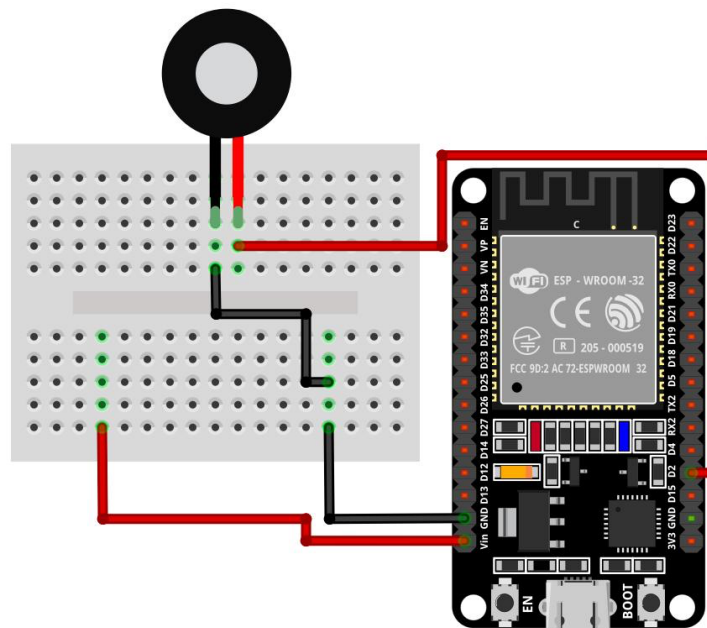
Gambar 9. Rangkaian ESP32 dengan Sensor PIR.

Tabel 5. Penggunaan Pin Sensor PIR.

ESP32	Sensor PIR
VIN	VCC
GND	GND
D13	OUT

3.3.4.3 Perancangan ESP32 dengan *Buzzer*

Tahap perancangan sistem ini bertujuan untuk membuat desain rancangan ESP32-CAM dengan *buzzer* pada prototipe alat pengusir tikus. *Buzzer* berfungsi untuk menghasilkan suara ultrasonik ketika sensor PIR mendeteksi adanya gerakan. Berikut adalah rangkaian ESP32-CAM dengan *buzzer*.



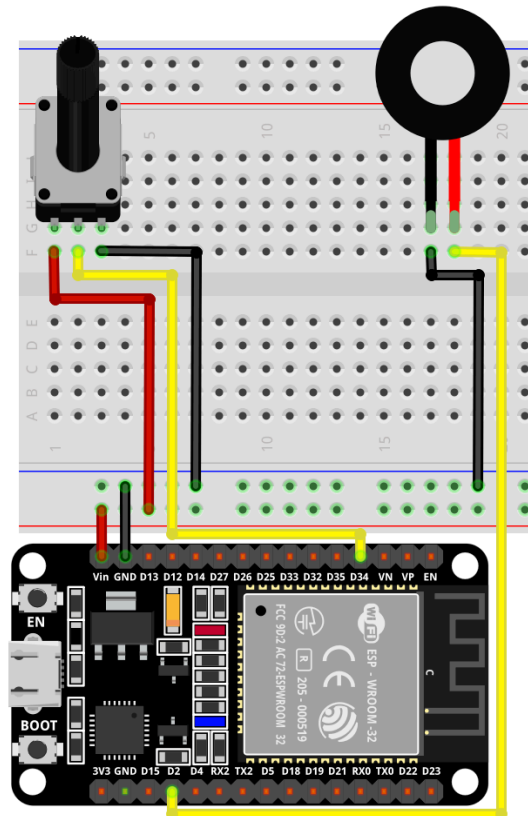
Gambar 10. Rangkaian ESP32-CAM dengan *Buzzer*.

Tabel 6. Penggunaan Pin *Buzzer*.

ESP32	<i>Buzzer</i>
GND	GND
D2	OUT

3.3.3.4 Perancangan ESP32 dengan *Buzzer* dan Potensio

Tahap perancangan sistem ini bertujuan untuk membuat desain rancangan ESP32 dengan *buzzer* dan potensio pada alat uji frekuensi. *Buzzer* berfungsi untuk menghasilkan suara ultrasonik sesuai dengan masukan dari potensio yang diputar. Berikut adalah rangkaian ESP32 dengan *buzzer* dan potensio.



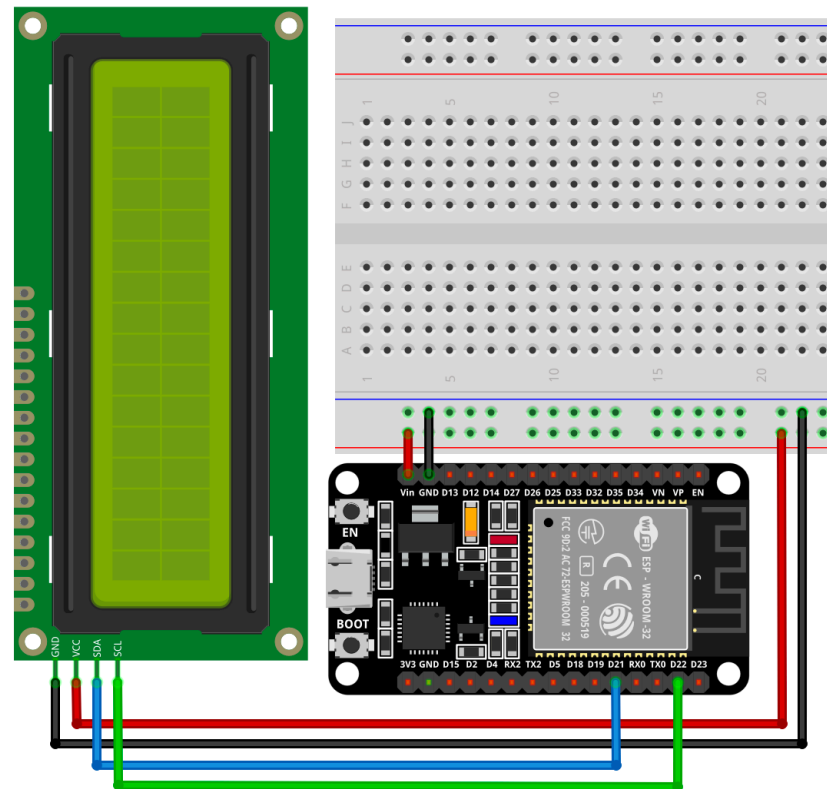
Gambar 11. Rangkaian ESP32 dengan *Buzzer* dan Potensio.

Tabel 7. Penggunaan Pin *Buzzer* dan Potensio.

Komponen	Pin Komponen	Pin ESP32
<i>Buzzer</i>	GND	GND
	OUT	D2
Potensio	GND	GND
	OUT	D34
	VCC	VIN

3.3.3.5 Perancangan ESP32 dengan LCD

Tahap perancangan sistem ini bertujuan untuk membuat desain rancangan ESP32 dengan LCD pada alat uji frekuensi. LCD berfungsi untuk menampilkan berapa frekuensi yang dihasilkan oleh *buzzer* sesuai dengan masukan dari potensiometer. Berikut adalah rangkaian ESP32 dengan LCD.



Gambar 12. Rangkaian ESP32 dengan LCD.

Tabel 8. Penggunaan Pin LCD.

ESP32	LCD
GND	GND
VIN	OUT
D21	SDA
D22	SCL

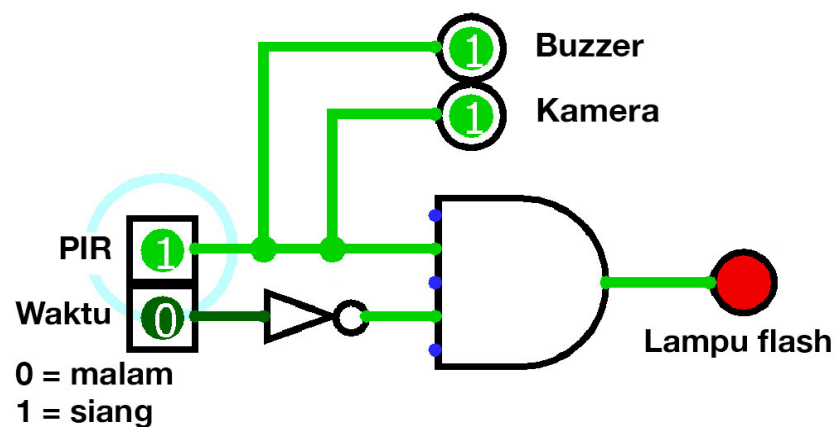
3.3.4 Integrasi Komponen

3.3.4.1 Perancangan Keseluruhan Prototipe Alat Pengusir Tikus

Tahap perancangan keseluruhan prototipe alat pengusir tikus bertujuan untuk memastikan setiap komponen berinteraksi dan berfungsi dengan baik. Berikut adalah tabel dan rangkaian logika dari prototipe alat pengusir tikus.

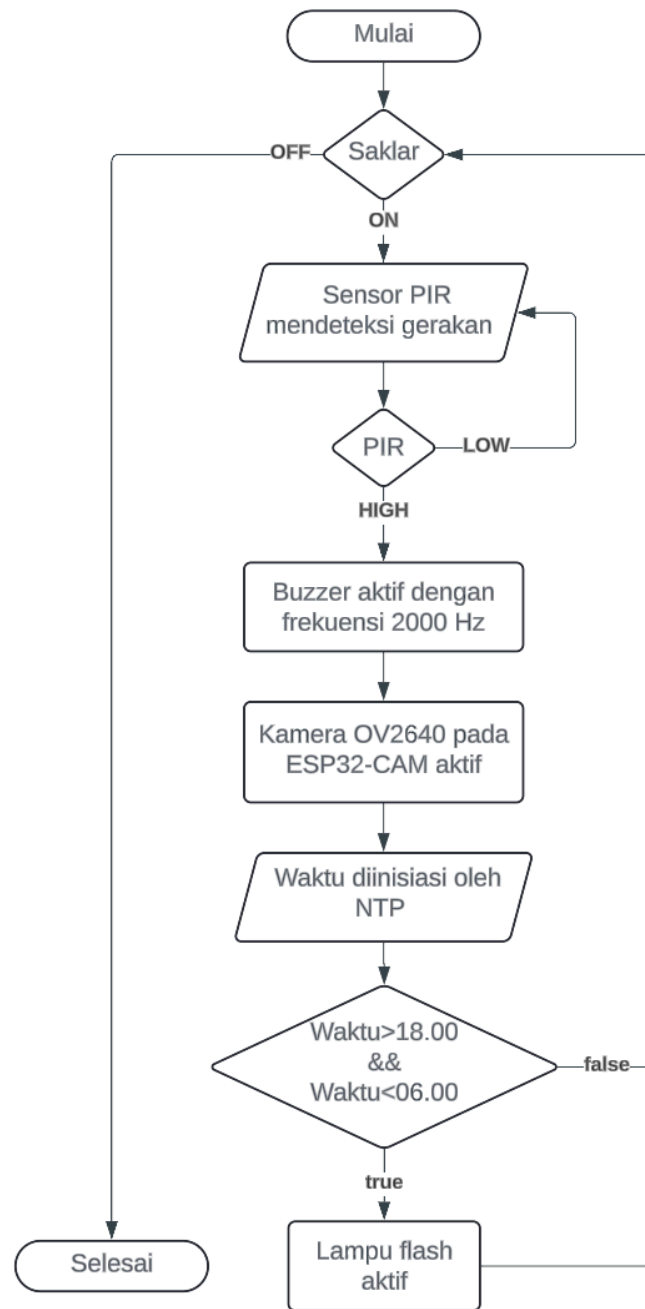
Tabel 9. Masukan dan Keluaran Logika Keseluruhan Sistem.

Masukan		Keluaran		
Waktu	PIR	Lampu <i>flash</i>	<i>Buzzer</i>	Kamera
0	0	0	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	1	0	1	1



Gambar 13. Rangkaian Logika Prototipe Alat Pengusir Tikus.

Sistem ini memiliki dua masukan, yaitu sensor PIR dan Waktu yang diinisiasi dari modul Network Time Protocol (NTP). Nilai masukan 1 pada sensor PIR artinya terdeteksi adanya gerakan, sedangkan jika bernilai 0, maka tidak ada gerakan. Nilai masukan 0 pada Waktu menunjukkan waktu malam, sementara nilai masukan 1 menunjukkan waktu siang hari. Ketika sensor PIR mendeteksi gerakan, *buzzer* dan kamera akan diaktifkan. Namun, lampu *flash* hanya akan menyala ketika sensor PIR memberi masukan 1 dan Waktu memberi masukan 0. Berikut adalah *flowchart*-nya



Gambar 14. *Flowchart* Prototipe Alat Pengusir Tikus.

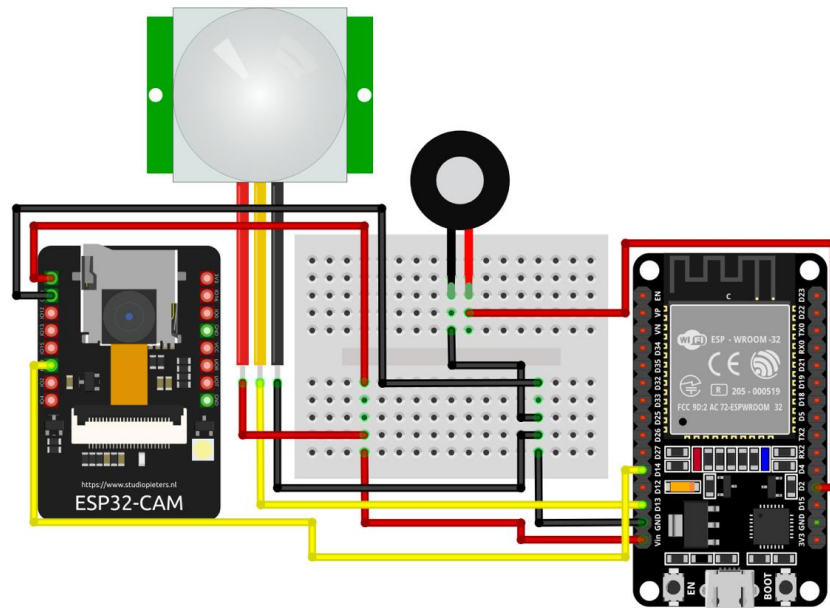
Perancangan keseluruhan prototipe alat pengusir tikus ini menggunakan mikrokontroler pada ESP32 dan ESP32-CAM. Saat sistem aktif, dua *board* ini akan langsung terhubung satu sama lain lewat kabel jumper sebagai jalur komunikasi serta terhubung ke WiFi. Dengan ini, alat dapat mengirim data, mengakses internet, dan menerima instruksi secara *real-time*.

Selain WiFi, sensor PIR pada ESP32 juga aktif untuk mendeteksi gerakan yang akan memberi masukan “HIGH” atau “LOW”. Apabila masukan “HIGH” artinya sensor PIR mendeteksi adanya gerakan dan sistem akan lanjut dijalankan. Jika masukan “LOW” maka tidak ada gerakan yang terdeteksi lalu sistem akan dimulai dari awal lagi. Jika sensor PIR memberi masukan “HIGH” maka *buzzer* akan aktif menghasilkan suara ultrasonik.

Frekuensi suara ultrasonik yang bisa mengusir tikus berada diantara 20-50 kHz (Iqbal & Rahayu, 2022). Pada tahap ini, *buzzer* akan diatur pada frekuensi 2000 Hz karena frekuensi tersebut masih dapat didengar oleh manusia, sehingga mempermudah dalam memastikan bahwa *buzzer* dapat menghasilkan suara. Namun, frekuensi yang sebenarnya akan diuji dan disesuaikan menggunakan alat uji frekuensi *buzzer* untuk menentukan frekuensi efektif yang dapat mengusir tikus.

Masukan dari sensor PIR juga akan dikirim ke ESP32-CAM. Maka dari itu, selain *buzzer*, kamera OV2640 dan lampu *flash* pada ESP32-CAM juga akan aktif. Kamera OV2640 akan aktif melakukan *live streaming* untuk memonitoring area yang dijaga. Lampu *flash* pada ESP32-CAM berfungsi sebagai sumber pencahayaan yang dikendalikan oleh modul Network Time Protocol (NTP).

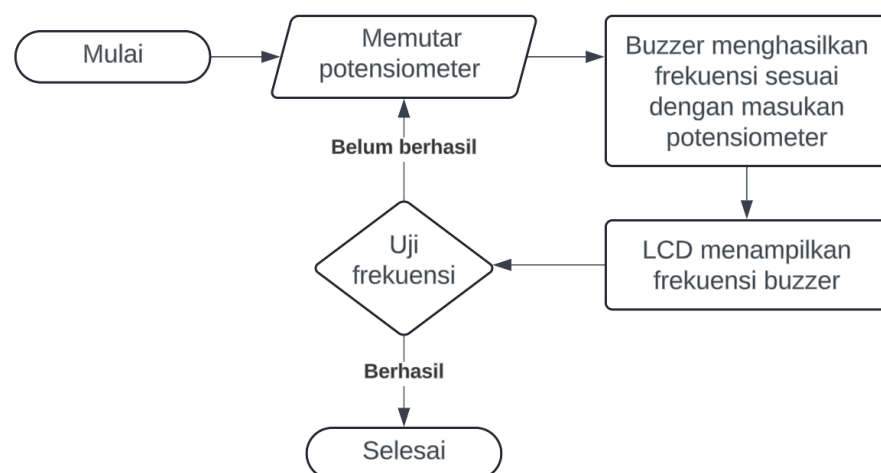
Modul NTP berfungsi untuk mengambil data waktu dengan *offset* Waktu Indonesia Barat (WIB) yang diperbarui dari server NTP. User Datagram Protocol (UDP) digunakan untuk mengirim dan menerima paket data singkat yang diperlukan dalam komunikasi dengan server NTP. Apabila NTP memberi masukan “true”, artinya waktu menunjukkan malam hari yaitu mulai dari pukul 18.00 hingga pukul 06.00 pagi. Di saat yang sama, lampu *flash* akan menyala sebagai sumber pencahayaan. Apabila NTP memberi masukan “false”, artinya waktu menunjukkan pukul 06.00 lewat hingga pukul 18.00 dan lampu *flash* akan tetap mati. Berikut adalah rangkaian keseluruhan sistem yang dibuat menggunakan Fritzing.



Gambar 15. Rangkaian Keseluruhan Prototipe Alat Pengusir Tikus.

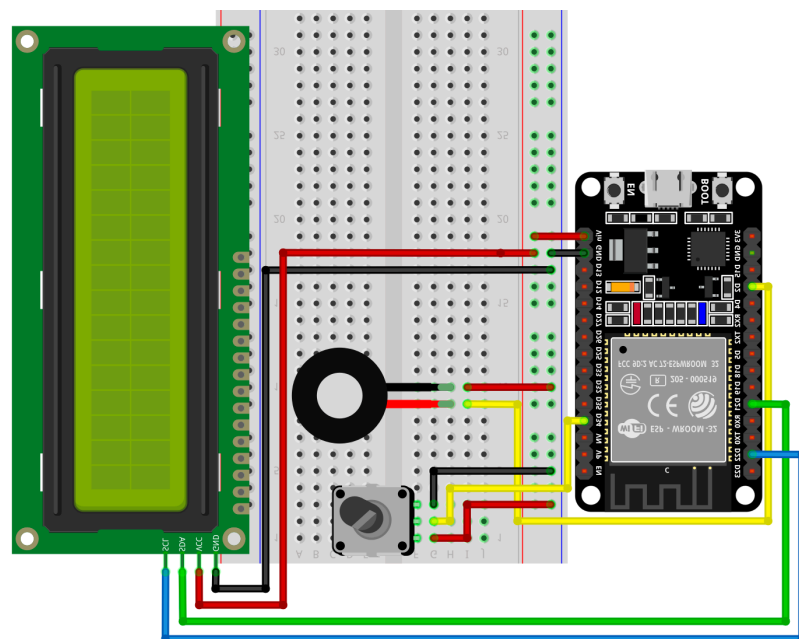
3.3.3.5 Perancangan Keseluruhan Alat Uji Frekuensi

Tahap perancangan keseluruhan alat uji frekuensi bertujuan untuk membuat desain rancangan alat uji frekuensi yang mengintegrasikan ESP32, *buzzer*, potensio, dan LCD. Alat ini digunakan untuk menguji dan menentukan frekuensi *buzzer* yang efektif untuk mengusir suara tikus. Berikut adalah *flowchart*-nya.



Gambar 16. *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 memonitor dan menyesuaikan frekuensi *buzzer* yang efektif untuk mengusir tikus. Berikut adalah rangkaian alat uji frekuensi.



Gambar 17. Rangkaian Keseluruhan Alat Uji Frekuensi.

3.3.4 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.

3.3.5 Pengujian

3.3.5.1 Pengujian Seluruh Komponen

Tahap pengujian sistem ini menggunakan metode black box testing yang bertujuan untuk mengevaluasi serta memastikan kinerja semua komponen pada alat pengusir tikus dan alat uji frekuensi. Berikut adalah tabel pengujian sistem menggunakan metode black box testing.

Tabel 10. Pengujian 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.	Network Time Protocol	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> dapat menyala hanya ketika pada malam hari (18.00 – 06.00) dan mati pada siang hari (06.00 – 17.59).
6.	Alat Uji Frekuensi	Mengukur dan menampilkan frekuensi <i>buzzer</i> pada LCD.	Alat uji frekuensi dapat mengukur dan menampilkan frekuensi <i>buzzer</i> pada LCD.

3.3.5.2 Pengujian Respons Tikus terhadap Suara Ultrasonik

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:

1. Menyiapkan kardus sebagai area pengujian dan lingkungan yang sunyi untuk memastikan tidak ada faktor lain yang memicu reaksi tikus mencit. Makanan tikus mencit dan air diletakkan di salah satu sisi kardus sebagai sumber makanan dan minuman bagi tikus mencit.
2. Menempatkan tikus mencit di dalam kardus, memberi waktu adaptasi bagi tikus terhadap lingkungan. Hal ini dilakukan agar merasa nyaman dan terbiasa dengan area pengujian sebelum pengujian dimulai.
3. Menempatkan *buzzer* di salah satu sisi kardus yang akan menghasilkan suara ultrasonik dengan frekuensi tertentu menggunakan alat uji frekuensi.
4. Mengamati dan mencatat reaksi tikus mencit terhadap setiap frekuensi suara ultrasonik yang dihasilkan. Frekuensi diuji dengan memberi jeda waktu selama dua menit antara setiap frekuensi untuk mencegah stres berlebihan pada tikus.
5. Mengulangi pengujian dengan frekuensi yang berbeda untuk menentukan frekuensi yang paling efektif dalam mengusir tikus. Frekuensi yang diuji yaitu 20 kHz, 30 kHz, 40 kHz, 50 kHz, dan 60 kHz.

3.4 Penulisan Laporan

Tahap penulisan laporan bertujuan untuk mendokumentasikan setiap fase dalam pembangunan sistem, mulai dari tahap awal hingga tahap akhir yang akan menjadi dasar untuk menyusun kesimpulan. Dalam laporan ini, dijelaskan secara rinci seluruh proses pengembangan prototipe alat pengusir tikus berbasis *Internet of Things* menggunakan ESP32-CAM.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pengembangan prototipe alat pengusir tikus berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32-CAM terbukti efektif dalam mendeteksi kehadiran tikus dan mengambil tindakan preventif secara otomatis. Alat ini berhasil mengintegrasikan berbagai komponen seperti sensor PIR, *buzzer*, kamera OV2640, lampu *flash*, dan protokol Network Time Protocol (NTP) untuk menjalankan fungsi yang diharapkan. Saat sensor PIR mendeteksi gerakan tikus, *buzzer* secara otomatis menghasilkan suara ultrasonik untuk mengusir tikus, sementara kamera OV2640 aktif melakukan *live streaming* yang dapat dipantau melalui website. Lampu *flash* menyala secara otomatis pada malam hari untuk memberikan pencahayaan tambahan yang dikendalikan oleh waktu *real-time* dari NTP. Meskipun pengujian respons tikus terhadap suara ultrasonik menunjukkan bahwa tikus tidak memberikan respons signifikan terhadap suara ultrasonik yang dihasilkan, penelitian ini tetap memberikan kontribusi penting sebagai dasar pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan efektivitas pengusiran hama tikus menggunakan teknologi IoT.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut dari prototipe alat pengusir tikus berbasis *Internet of Things* adalah sebagai berikut:

1. Mengganti komponen penghasil suara ultrasonik karena pengujian menunjukkan bahwa spesifikasi *buzzer* 5V tidak memadai untuk menghasilkan suara ultrasonik. Disarankan untuk mengganti *buzzer* 5V dengan transduser ultrasonik PTC-4000, yang mampu menghasilkan gelombang ultrasonik hingga frekuensi 40 kHz dengan output yang stabil dan jangkauan hingga 75 meter. Transduser ini lebih kuat dan efektif dalam mengganggu pendengaran tikus, diharapkan meningkatkan efektivitas perangkat dibandingkan *buzzer* biasa yang tidak mampu menghasilkan frekuensi ultrasonik yang optimal.
2. Untuk meningkatkan akurasi dalam mengukur frekuensi dan memvalidasi efektivitas pengusiran, disarankan untuk menggunakan osiloskop sebagai alat pengukur frekuensi ultrasonik. Penggunaan osiloskop akan membantu memastikan bahwa frekuensi yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan dan memberikan hasil yang lebih konsisten dalam pengujian.
3. Disarankan untuk menggunakan modul kamera OpenMV yang lebih baik dalam hal performa dan kemudahan penggunaan, khususnya dalam implementasi *object detection*. Dengan algoritma *machine learning* yang sudah terintegrasi, OpenMV dapat mengenali pola dan karakteristik tikus secara lebih akurat.
4. Penambahan fitur *strobe light* atau cahaya berkedip yang intens diharapkan dapat memberikan efek mengganggu yang lebih kuat terhadap tikus. Dengan adanya fitur ini, diharapkan lingkungan menjadi kurang nyaman bagi tikus, sehingga alat ini bisa lebih efektif dalam membantu mengusir mereka dari area yang diinginkan.

5. Penambahan fitur otomatis orang-orangan sawah yang bergerak, dapat membantu menarik perhatian tikus dan mengusir mereka dari area yang diinginkan. Dengan adanya elemen yang bergerak, alat ini diharapkan dapat meningkatkan daya tarik visual dan mengganggu perilaku tikus, sehingga meningkatkan efektivitas pengusiran.
6. Disarankan untuk menambahkan modul LoRa agar alat dapat dikendalikan dari jarak jauh. LoRa memiliki keunggulan utama dalam hal jangkauan yang lebih luas, mampu mencapai hingga 10 km atau lebih, sehingga sangat cocok untuk digunakan di area yang luas atau terpencil. Selain itu, LoRa menggunakan konsumsi daya yang rendah, sehingga lebih efisien untuk perangkat yang ditenagai oleh baterai atau sumber daya terbatas. Berbeda dengan WiFi, LoRa tidak memerlukan infrastruktur jaringan seperti *router* atau *access point*, sehingga alat dapat berkomunikasi langsung antara perangkat tanpa tergantung pada koneksi internet. Dengan modul LoRa, alat ini diharapkan bisa dikendalikan dengan lebih fleksibel dan efisien dari jarak jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Akinwumi, S. A., Ezenwosu, A. C., Omotosho, T. V., Adewoyin, O. O., Adagunodo, T. A., & Oyeyemi, K. D. (2021). Arduino Based Security System using Passive Infrared (PIR) Motion Sensor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 655(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/655/1/012039>
- Brudzynski, S. M. (2009). Communication of Adult Rats by Ultrasonic Vocalization: Biological, Sociobiological, and Neuroscience Approaches. *ILAR Journal*, 50(1), 43. <https://academic.oup.com/ilarjournal/article/50/1/43/745096>
- Djuandi, F. (2011). *Pengenalan Arduino*. Elexmedia. <http://www.arobotineveryhome.com>
- Herlambang, Y. B. (2020). Alat Pengusir Hama Tikus menggunakan Sensor PIR Berbasis Arduino Uno. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi-2020*, 1–7.
- Iqbal, M., & Rahayu, A. U. (2022). Alat Pengusir Hama Tikus Sawah Berbasis Arduino Uno dan Gelombang Ultrasonik. Dalam *JOURNAL OF ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING (JEEE)* (Vol. 1, Nomor 1). Oktober.
- Khan, M. E. (2011). Different Approaches to White Box Testing Techniques for Finding Errors. *International Journal of Software Engineering and its Applications*, 5(3), 1–14.
- Praniffa, A. C., Syahri, A., Sandes, F., Fariha, U., Giansyah, Q. A., & Hamzah, M. L. (2023). Pengujian Black Box dan White Box Sistem Informasi Parkir Berbasis Web. *Jurnal Testing dan Implementasi Sistem Informasi*, 1(1), 1–16.
- Pravalika, V., & Prasad, R. (2019). Internet of Things Based Home Monitoring and Device Control Using ESP32. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(1S4), 2277–3878.
- Pressman, R. S. (2010). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (7th ed.). McGraw-Hill. www.mhhe.com/pressman.

- Putra, B. G., & Arjunet, R. T. (2019). Teknologi Geospasial Untuk Investigasi Penyerangan Rattus Argentiventer Sebagai Upaya Mitigasi Lahan Pertanian. *Jurnal Swarnabhumi*, 4(2), 108–109.
- Rejeki, P. S., Putri, E. A. C., & Prasetya, R. E. (2018). *OVARIEKTOMI PADA TIKUS DAN MENCIT*.
- Rifaini, A., Sintaro, S., & Surahman, A. (2021). Alat Perangkap dan Kamera Pengawas dengan Menggunakan ESP32-CAM sebagai Sistem Keamanan Kandang Ayam. *Jurnal Teknik dan Sistem Komputer (JTIKOM)*, 2(2).
- Salikhov, R. B., Abdrakhmanov, V. K., & Safargalin, I. N. (2021). Internet of things (IoT) security alarms on ESP32-CAM. *Journal of Physics: Conference Series*, 2096(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2096/1/012109>
- Setiawan, A. B. (2017). Implementasi Sinkronisasi Waktu dengan Network Time Protocol untuk Pemantauan Keamanan Aktivitas Jaringan Telekomunikasi. *Jurnal Penelitian Pos dan Informatika*, 5(2), 175. <https://doi.org/10.17933/jppi.2015.0502004>
- Siregar, H. M., Priyambodo, S., & Hindayana, D. (2020). Preferensi Serangan Tikus Sawah (*Rattus argentiventer*) Terhadap Tanaman Padi. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 13(1), 16–21.
- Sowmika, T., Rohith Paul, L., & Malathi, G. (2020). IoT Based Smart Rodent Detection and Fire Alert System in Farmland. *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, 2(3), 1–6.
- Sudarmaji. (2019). *Inovasi Teknologi Pengendalian Hama Tikus Terpadu Berbasis Bioekologi untuk Pengamanan*.
- Suryantoro, H., & Budiyanto, A. (2019). Prototype Sistem Monitoring Level Air Berbasis LabVIEW dan Arduino sebagai Sarana Pendukung Praktikum Instrumentasi Sistem Kendali. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(3), 1624.
- Suwasta, I. (2021). *Implementasi Sistem Kendali 2 Posisi pada Pompa Air Berbasis Arduino Uno*. UNIVERSITAS TIDAR.
- Tijaniyah, & Sabda Alam Arzenda. (2022). Rancang Bangun Prototype Alat Pengusir Tikus Dengan Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik Berbasis Internet of Things. *Jurnal JEETech*, 3(2), 57–63.
- Villamil, S., Hernández, C., & Tarazona, G. (2020). An Overview of Internet of Things. *Telkommnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 18(5), 2320–2327. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v18i5.15911>

- Widiarta, I. N. (2021). Information Tecnology Based Decision Support System for Integrated Pest Management on Rice. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 40(1), 9.
- Wijanarko, D., Widiastuti, I., & Widya, A. (2017). Gelombang Ultrasonik sebagai Alat Pengusir Tikus dengan Menggunakan Mikrokontroler ATmega 8. *Jurnal Teknologi Informatika dan Terapan*, 2.