

Sistem Pendeteksi Hewan Perusak Lahan Pertanian Berbasis ESP32-CAM dan Sensor PIR Dengan Energi Surya

Agricultural Land Pest Animal Detection System Based on ESP32-CAM and PIR Sensor with Solar Energy

Januardi Hadi Firmansyah¹, Farida Idifitriani^{*2}

^{1,2}Program Studi Informatika, Fakultas Rekayasa Sistem, Universitas Teknologi Sumbawa

E-mail : farida.idifitriani@uts.ac.id

**Corresponding author*

Received 13 May 2026; Revised 22 June 2026; Accepted 1 July 2026

Abstrak - Kerusakan lahan pertanian akibat hewan ternak yang dilepasliarkan masih menjadi permasalahan yang sering terjadi di Kabupaten Sumbawa. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pendeteksi hewan perusak lahan pertanian berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32-CAM, sensor PIR, teknologi deteksi objek YOLOv8, dan energi surya. Sistem bekerja dengan mendeteksi gerakan menggunakan sensor PIR dan melakukan verifikasi objek menggunakan YOLOv8 melalui VPS server berbasis Flask. Apabila objek terdeteksi sebagai sapi, sistem akan mengirimkan notifikasi Telegram dan mengaktifkan alarm otomatis. Sistem juga mendukung mode offline ketika koneksi internet terputus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi objek sapi dengan tingkat keberhasilan sekitar 80% pada jarak efektif 5–8 meter. Selain itu, sistem tenaga surya mampu mendukung operasional perangkat secara mandiri selama proses pengujian berlangsung. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi IoT, computer vision, dan energi surya dapat diterapkan sebagai sistem keamanan otomatis untuk membantu petani dalam memantau dan mengurangi gangguan hewan pada lahan pertanian.

Kata kunci: Internet of Things, ESP32-CAM, YOLOv8, Sensor PIR, Energi Surya.

Abstract - Damage to agricultural land caused by free-ranging livestock remains a common problem in Sumbawa Regency. This study aims to design an Internet of Things (IoT)-based agricultural pest detection system using ESP32-CAM, PIR sensors, YOLOv8 object detection technology, and solar energy. The system works by detecting motion using a PIR sensor and performing object verification through a Flask-based VPS server using YOLOv8. When cattle are detected, the system sends Telegram notifications and activates an automatic alarm. The system also supports an offline mode when internet connectivity is unavailable. Testing results showed that the system was able to detect cattle objects with an accuracy rate of approximately 80% at an effective distance of 5–8 meters. In addition, the solar power system successfully supported the device operation during testing. The results indicate that the integration of IoT, computer vision, and solar energy can be implemented as an automatic agricultural land security system to assist farmers in monitoring and reducing animal disturbances in agricultural areas.

Keywords: Internet of Things, ESP32-CAM, YOLOv8, PIR Sensor, Solar Energy.

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Sumbawa merupakan salah satu daerah yang memiliki sektor pertanian dan peternakan yang cukup besar. Sebagian besar masyarakat memanfaatkan lahan pertanian sebagai sumber mata pencaharian, terutama untuk budidaya tanaman jagung. Pada beberapa wilayah,

sistem peternakan dilakukan dengan cara melepasliarkan hewan ternak seperti sapi setelah musim panen selesai. Kondisi tersebut menyebabkan hewan ternak sering memasuki area pertanian ketika musim tanam dimulai kembali sehingga berpotensi merusak tanaman milik petani [1].

Permasalahan kerusakan lahan pertanian akibat hewan ternak masih sering terjadi karena sistem pengamanan yang digunakan petani umumnya masih bersifat konvensional, seperti penggunaan pagar sederhana dan pengawasan manual. Metode tersebut dinilai kurang efektif karena petani tidak dapat memantau kondisi lahan secara terus-menerus, terutama pada area pertanian yang berada di lokasi cukup jauh atau perbukitan. Selain hewan ternak, gangguan juga dapat berasal dari hewan liar yang masuk ke area pertanian sehingga meningkatkan risiko kerusakan tanaman [2], [3].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan penerapan sistem monitoring dan keamanan otomatis yang dapat membantu petani melakukan pengawasan lahan secara jarak jauh. Teknologi IoT dapat diintegrasikan dengan sensor, kamera, serta sistem notifikasi untuk memberikan informasi kondisi lapangan secara *real-time* [4]. Salah satu perangkat yang dapat digunakan adalah ESP32-CAM yang memiliki kemampuan komunikasi jaringan sekaligus kamera terintegrasi untuk pengambilan citra [5]. Selain itu, sensor *Passive Infrared* (PIR) dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi pergerakan objek di sekitar area pengawasan [5].

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan sistem monitoring berbasis IoT menggunakan sensor PIR dan ESP32-CAM untuk sistem keamanan dan pengawasan area tertentu [6], [3]. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada keamanan rumah atau monitoring ruangan dan belum banyak diterapkan pada sistem keamanan lahan pertanian berbasis deteksi objek dengan dukungan energi surya. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem pendeteksi hewan perusak lahan pertanian berbasis ESP32-CAM dan sensor PIR dengan energi surya sebagai sumber daya utama. Sistem yang dirancang memanfaatkan teknologi deteksi objek YOLOv8 dan notifikasi Telegram untuk membantu petani memantau kondisi lahan secara otomatis dan jarak jauh [7], [8].

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem keamanan lahan pertanian yang mampu mendeteksi keberadaan hewan, mengirimkan notifikasi secara *real-time*, serta mengaktifkan alarm otomatis sebagai upaya mengurangi gangguan hewan pada area pertanian. Selain itu, penggunaan energi surya diharapkan mampu mendukung operasional sistem pada area terbuka yang memiliki keterbatasan sumber listrik.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada penelitian ini dilakukan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pendeteksi hewan perusak lahan pertanian berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32-CAM, sensor PIR, teknologi deteksi objek YOLOv8, dan energi surya sebagai sumber daya utama. Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang meliputi pengumpulan data, identifikasi masalah, perancangan dan implementasi sistem, pengujian sistem, serta analisis dan evaluasi hasil pengujian.

Sistem yang dikembangkan dirancang untuk membantu petani dalam memantau area pertanian secara otomatis dengan memanfaatkan sensor gerak, kamera, notifikasi Telegram, dan alarm sebagai sistem peringatan. Selain itu, sistem juga menggunakan panel surya dan baterai sebagai sumber daya mandiri agar dapat digunakan pada area pertanian yang memiliki keterbatasan akses listrik.

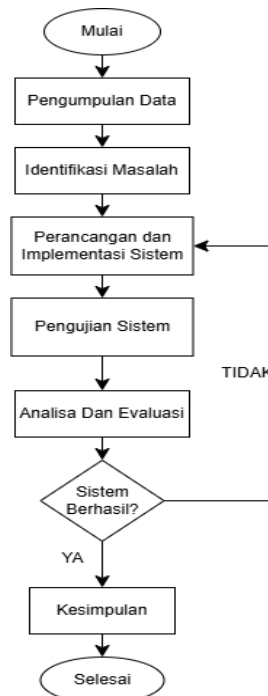
2.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian digunakan untuk menggambarkan tahapan penelitian yang dilakukan mulai dari proses pengumpulan data hingga penarikan kesimpulan. Tahapan penelitian

diawali dengan pengumpulan data dan identifikasi masalah yang terjadi pada area pertanian di Kabupaten Sumbawa, khususnya terkait gangguan hewan ternak yang masuk ke lahan pertanian.

Tahap berikutnya adalah perancangan dan implementasi sistem yang meliputi integrasi perangkat keras dan perangkat lunak. Setelah sistem berhasil dirancang, dilakukan pengujian sistem untuk mengetahui performa sensor PIR, ESP32-CAM, Telegram Bot, alarm, dan sistem tenaga surya.

Hasil pengujian kemudian dianalisis dan dievaluasi untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem. Apabila sistem belum berjalan sesuai dengan yang diharapkan, maka dilakukan perbaikan kembali pada tahap perancangan dan implementasi sistem. Namun apabila sistem telah berjalan dengan baik, maka penelitian dilanjutkan pada tahap penarikan kesimpulan.



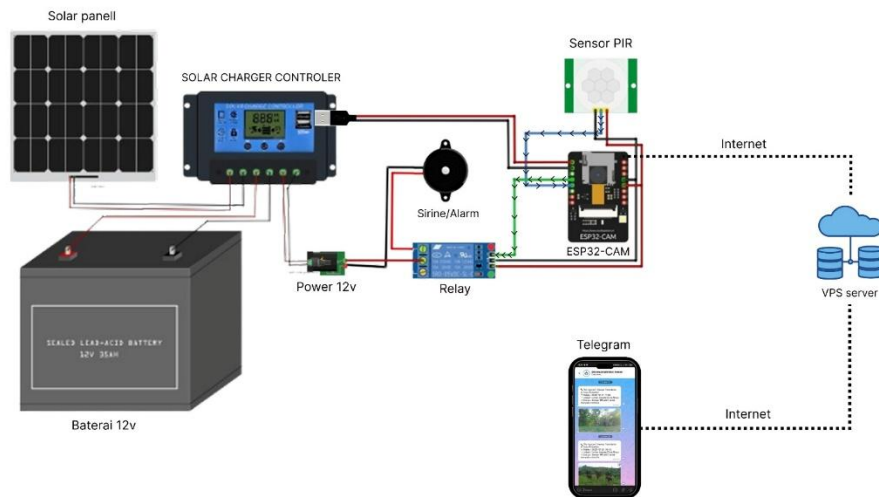
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem pada penelitian ini dirancang untuk membangun sistem keamanan lahan pertanian otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32-CAM, sensor PIR, dan Telegram Bot sebagai media monitoring jarak jauh. Sistem yang dibangun terdiri dari dua mode operasi, yaitu mode *online* dan mode *offline*.

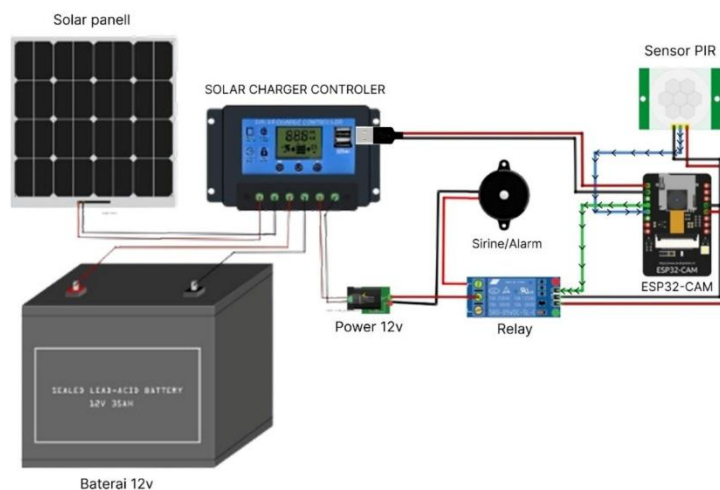
Pada mode *online*, sensor PIR digunakan untuk mendeteksi adanya gerakan pada area pengawasan. Ketika sensor mendeteksi gerakan, ESP32-CAM akan mengambil gambar kemudian mengirimkan citra ke VPS server melalui jaringan internet menggunakan protokol HTTP [9], [3], [10]. Selanjutnya server melakukan proses verifikasi objek menggunakan model YOLOv8 untuk mengidentifikasi objek pada gambar [8], [7].

Apabila objek yang terdeteksi merupakan sapi, maka sistem akan mengirimkan notifikasi beserta hasil gambar ke Telegram Bot dan mengaktifkan relay sehingga alarm berbunyi selama 5 detik sebagai peringatan otomatis. Sistem juga menyediakan fitur manual melalui *command /test* pada Telegram untuk mengaktifkan alarm selama 10 detik sebagai pengujian sistem jarak jauh [3], [10], [8].



Gambar 2. Arsitektur Sistem Mode *Online*

Pada kondisi koneksi internet terputus, sistem tetap dapat bekerja dalam mode *offline* sebagai mekanisme *fail-safe*. Pada mode ini sensor PIR tetap dapat mendeteksi gerakan dan ESP32-CAM langsung mengaktifkan relay sehingga alarm berbunyi tanpa melalui proses pengiriman gambar ke server maupun proses verifikasi objek. Mode *offline* digunakan untuk menjaga fungsi dasar keamanan sistem tetap berjalan ketika jaringan internet tidak tersedia.



Gambar 3. Arsitektur Sistem Mode *Offline*

Sumber daya sistem menggunakan panel surya 20 Wp yang terhubung dengan solar charge controller dan baterai 12 V 3,5 Ah sehingga sistem dapat bekerja secara mandiri pada area pertanian yang memiliki keterbatasan akses listrik [11].

2.3 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dilakukan dengan mengintegrasikan beberapa komponen utama yang digunakan untuk membangun sistem pendeteksi hewan perusak lahan pertanian.

Komponen yang digunakan terdiri dari ESP32-CAM, sensor PIR HC-SR501, relay, alarm/sirine 12 V, panel surya 20 Wp, solar charge controller, dan baterai 12 V 3,5 Ah.

ESP32-CAM digunakan sebagai *mikrokontroler* utama sekaligus perangkat pengambil gambar. Modul ini berfungsi untuk menerima *input* dari sensor PIR, mengambil gambar ketika terdeteksi gerakan, mengirimkan gambar ke VPS server, serta mengontrol relay untuk mengaktifkan alarm [9], [12].

Sensor PIR HC-SR501 digunakan sebagai sensor pendeteksi gerakan pada area pengawasan. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan radiasi inframerah dari objek yang bergerak di depan sensor. Ketika sensor mendeteksi gerakan, sinyal akan dikirimkan ke ESP32-CAM untuk memulai proses pengambilan gambar [2]. Pada penelitian ini, pengaturan sensitivitas sensor dilakukan melalui trimpot sensitivity pada modul PIR hingga sensor mampu mendeteksi gerakan secara optimal pada jarak sekitar 1–6 meter. Selain itu, pengaturan delay time dibuat pada durasi rendah agar sistem dapat memberikan respons lebih cepat ketika terdapat pergerakan pada area pengawasan.

Relay digunakan sebagai saklar elektronik untuk mengontrol alarm/sirine 12 V. Relay akan aktif ketika ESP32-CAM menerima hasil verifikasi objek dari server atau ketika sistem berada pada mode offline dan sensor PIR mendeteksi gerakan.

Alarm/sirine 12 V digunakan sebagai output peringatan suara untuk mengusir hewan yang masuk ke area pertanian. Berdasarkan hasil pengujian lapangan, suara alarm mampu memberikan efek kejut pada hewan dengan jangkauan sekitar 15 meter di area terbuka [13].

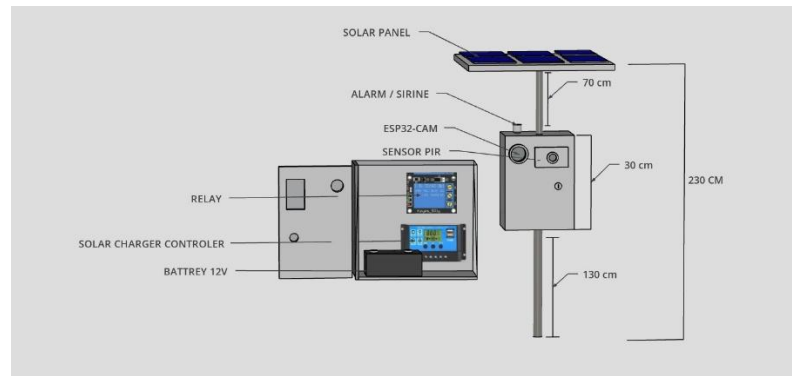
Sistem catu daya menggunakan panel surya 20 Wp yang terhubung dengan *solar charge controller* dan baterai 12 V 3,5 Ah. Panel surya berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik, sedangkan *solar charge controller* digunakan untuk mengatur proses pengisian daya baterai dan menjaga kestabilan tegangan sistem [11].

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras

NO	Komponen	Spesifikasi
1.	ESP32-CAM	Mikrokontroler dengan kamera OV2640 dan WiFi
2.	Sensor PIR	HC-SR501
3.	Relay	Relay 1 Channel 5 V
4.	Alarm/Sirine	Sirine 12 V DC
5.	Panel Surya	20 Wp
6.	Solar Charge Controller	PWM 12 V – 10 A
7.	Baterai	12 V - 3,5 Ah
8.	VPS Server	Ubuntu Linux dan Flask
9.	Telegram Bot	Media monitoring dan notifikasi

Gambar implementasi perangkat keras sistem ditunjukkan pada gambar 4. Sistem dirancang menggunakan box panel sebagai tempat instalasi perangkat utama seperti relay, solar charge controller, dan baterai. Sensor PIR, ESP32-CAM, dan alarm dipasang pada bagian depan box untuk mempermudah proses deteksi dan monitoring area pertanian.

Panel surya dipasang pada bagian atas tiang dengan tinggi keseluruhan sistem sekitar 230 cm dari permukaan tanah. Posisi panel surya dirancang agar memperoleh pencahayaan matahari secara optimal untuk menyuplai kebutuhan daya perangkat selama sistem beroperasi di area pertanian.



Gambar 4. Desain Implementasi Perangkat Keras Sistem

2.4 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan untuk mendukung proses komunikasi data, pengiriman gambar, verifikasi objek, dan pengiriman notifikasi pada sistem keamanan lahan pertanian. Sistem perangkat lunak terdiri dari ESP32-CAM, VPS server berbasis Linux Ubuntu, web server Flask, model verifikasi objek YOLOv8, dan Telegram Bot [9], [7], [3].

ESP32-CAM diprogram untuk menerima *input* dari sensor PIR dan melakukan pengambilan gambar ketika terdeteksi adanya gerakan [3]. Gambar yang diperoleh kemudian dikirimkan ke VPS server menggunakan protokol HTTP melalui jaringan WiFi.

VPS server digunakan sebagai pusat pemrosesan data dan komunikasi sistem. Pada server dijalankan web server Flask untuk menerima gambar dari ESP32-CAM dan melakukan proses verifikasi objek menggunakan model YOLOv8. Model YOLOv8 digunakan untuk mengenali objek sapi pada gambar hasil tangkapan kamera [14].

Apabila hasil verifikasi menunjukkan objek berupa sapi, maka server akan mengirimkan notifikasi beserta hasil gambar ke Telegram Bot dan mengirimkan perintah kembali ke ESP32-CAM untuk mengaktifkan relay sehingga alarm berbunyi selama 5 detik [10].

Selain sistem otomatis, Telegram Bot juga digunakan sebagai media kontrol manual sistem. Pengguna dapat mengirimkan *command /test* melalui Telegram untuk mengaktifkan alarm selama 10 detik sebagai pengujian sistem jarak jauh.

2.5 Metode Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kemampuan dan performa sistem pendeteksi hewan perusak lahan pertanian yang telah dirancang. Pengujian dilakukan pada area pertanian di Kabupaten Sumbawa dengan menguji fungsi sensor PIR, ESP32-CAM, sistem notifikasi Telegram, alarm, serta sistem tenaga surya.

Selain itu dilakukan pengujian terhadap kemampuan sistem dalam mendeteksi objek sapi menggunakan verifikasi objek berbasis YOLOv8 pada beberapa kondisi jarak dan pencahayaan. Pengujian juga dilakukan untuk mengetahui respon sistem pada mode *online* maupun mode *offline*.

Hasil dari seluruh pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi objek dan memberikan peringatan otomatis pada area pertanian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui performa sistem pendeteksi hewan perusak lahan pertanian berbasis ESP32-CAM dan sensor PIR yang telah dirancang. Pengujian dilakukan pada area pertanian di Kabupaten Sumbawa dengan menguji kemampuan sistem dalam mendeteksi gerakan, mengambil gambar, mengirimkan notifikasi

Telegram, mengaktifkan alarm, serta mendeteksi objek sapi menggunakan verifikasi objek berbasis YOLOv8.

Selain itu, dilakukan juga pengujian terhadap sistem tenaga surya untuk mengetahui kemampuan sistem dalam bekerja secara mandiri menggunakan sumber daya panel surya dan baterai.

3.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak menjadi satu sistem keamanan lahan pertanian berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem terdiri dari ESP32-CAM, sensor PIR, relay, alarm/sirine, panel surya, *solar charge controller*, baterai, VPS server, serta Telegram Bot sebagai media monitoring.

Seluruh komponen utama ditempatkan di dalam box panel untuk melindungi perangkat dari kondisi lingkungan luar. Sensor PIR dan ESP32-CAM dipasang pada bagian depan box agar dapat mendeteksi gerakan dan mengambil gambar secara optimal pada area pengawasan. Alarm/sirine dipasang pada bagian atas box untuk menghasilkan suara peringatan yang dapat terdengar di area sekitar lahan pertanian.



Gambar 5. Implementasi Sistem dalam Box Panel

Sistem kemudian dipasang pada area pertanian menggunakan tiang dengan tinggi sekitar 230 cm dari permukaan tanah. Panel surya dipasang pada bagian atas tiang untuk memperoleh pencahayaan matahari secara optimal sebagai sumber daya sistem.

Berdasarkan hasil implementasi lapangan, sistem dapat bekerja dengan baik pada area pertanian terbuka dan mampu melakukan monitoring secara otomatis terhadap pergerakan objek di sekitar area pengawasan.



Gambar 6. Implementasi Sistem di Area Pertanian *Pengujian Sensor PIR*

Pengujian sensor PIR dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi gerakan objek pada beberapa jarak berbeda. Pengujian dilakukan dengan menggerakkan objek di depan sensor kemudian mengamati respon sistem terhadap deteksi gerakan yang diterima oleh ESP32-CAM.

Berdasarkan hasil pengujian, sensor PIR mampu mendeteksi gerakan dengan baik pada jarak 1–6 meter. Pada jarak 7 meter sensor masih dapat mendeteksi gerakan namun tidak stabil, sedangkan pada jarak 8 meter sensor tidak dapat mendeteksi gerakan dengan baik.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor PIR

Jarak	Hasil Deteksi
1 Meter	Terdeteksi
2 Meter	Terdeteksi
3 Meter	Terdeteksi
4 Meter	Terdeteksi
5 Meter	Terdeteksi
6 Meter	Terdeteksi
7 Meter	Kurang Stabil
8 Meter	Tidak Terdeteksi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PIR cukup efektif digunakan sebagai pendeteksi gerakan pada area pengawasan dengan jarak deteksi optimal hingga sekitar 6 meter.

3.2 Pengujian Deteksi Objek dan Telegram

Pengujian deteksi objek dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengenali objek sapi menggunakan model YOLOv8 serta mengirimkan hasil deteksi ke Telegram Bot secara *real-time*.

Pengujian dilakukan menggunakan objek sapi pada area pertanian dengan beberapa variasi jarak pengamatan. Ketika sensor PIR mendeteksi gerakan, ESP32-CAM akan mengambil gambar kemudian mengirimkannya ke VPS server untuk dilakukan proses verifikasi objek menggunakan YOLOv8.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi objek sapi dan menampilkan *bounding box* pada objek yang dikenali. Sistem juga berhasil mengirimkan notifikasi beserta hasil gambar ke Telegram Bot secara otomatis.



Gambar 7. Hasil Deteksi Objek dan Notifikasi Telegram

Pada pengujian lapangan, objek sapi pada jarak sekitar 5 meter dan 8 meter masih dapat dikenali dengan baik oleh sistem. Namun pada jarak sekitar 12 meter beberapa objek tidak dapat terdeteksi secara optimal karena ukuran objek pada gambar menjadi lebih kecil.

Tabel 3. Hasil Pengujian Deteksi Objek Sapi

Jarak Objek	Hasil Deteksi
1 meter	Terdeteksi
2 meter	Terdeteksi
3 meter	Terdeteksi
4 meter	Terdeteksi
5 meter	Terdeteksi
8 meter	Terdeteksi
10 meter	Tidak stabil
12 meter	Tidak stabil

Berdasarkan hasil pengujian, tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi objek sapi mencapai sekitar 80% pada kondisi pencahayaan normal.

3.3 Pengujian Alarm dan Delay Sistem

Pengujian alarm dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengaktifkan alarm secara otomatis maupun manual melalui Telegram Bot.

Pada mode otomatis, alarm akan aktif selama 5 detik ketika hasil verifikasi YOLOv8 mendeteksi objek sapi. Sedangkan pada mode manual, pengguna dapat mengirimkan *command /test* melalui Telegram untuk mengaktifkan alarm selama 10 detik.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil mengaktifkan alarm sesuai dengan perintah yang diberikan baik secara *otomatis* maupun *manual*.

Selain itu dilakukan juga pengujian delay sistem untuk mengetahui waktu respon sistem dari proses deteksi hingga notifikasi diterima pengguna.

Tabel 4. Hasil Pengujian Delay Sistem

Pengujian	Delay
PIR ke Telegram	5-10 detik
<i>Command /test ke Alarm</i>	3-5 detik

Delay sistem dipengaruhi oleh kualitas jaringan internet, proses pengiriman gambar, dan waktu inferensi YOLOv8 pada VPS server.

3.4 Pengujian Sistem Tenaga Surya

Pengujian sistem tenaga surya dilakukan untuk mengetahui kemampuan panel surya, *solar charge controller*, dan baterai dalam menyuplai kebutuhan daya sistem selama perangkat beroperasi. Pengujian dilakukan menggunakan multimeter dengan mengukur tegangan pada

beberapa titik sistem catu daya, yaitu terminal baterai pada *solar charge controller* saat baterai terhubung dan terminal panel surya sebelum masuk ke *solar charge controller*.

Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat utama seperti ESP32-CAM, sensor PIR, relay, alarm, dan sistem komunikasi dapat bekerja menggunakan sumber daya mandiri. Sistem tenaga surya pada penelitian ini menggunakan panel surya 20 Wp, *solar charge controller*, dan baterai 12 V 3,5 Ah.



Gambar 8. Pengujian Sistem dan Pengukuran Tegangan

Berdasarkan hasil pengujian, sistem tenaga surya mampu menyuplai kebutuhan daya perangkat dengan cukup baik selama proses pengujian berlangsung. Nilai tegangan pada terminal baterai dapat dipengaruhi oleh kondisi kapasitas baterai dan proses pengisian dari *solar charge controller*. Nilai 14,1 V dan 12,8 V merupakan tegangan pada terminal BATT *solar charge controller* saat baterai dalam kondisi terhubung. Sementara itu, nilai 19,7 V pada siang hari merupakan tegangan keluaran panel surya pada terminal PV sebelum masuk ke *solar charge controller*, bukan tegangan terminal baterai.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Tegangan Sistem

Waktu Pengujian	Titik Pengukuran	Tegangan
Pagi Hari	Terminal BATT pada SCC saat baterai terhubung	14,1 V
Siang Hari	Terminal PV/panel surya sebelum masuk SCC	19,7 V
Sore Hari	Terminal BATT pada SCC saat baterai terhubung	12,8 V

Hasil pengujian menunjukkan bahwa panel surya mampu menghasilkan tegangan yang cukup untuk mendukung proses pengisian daya melalui *solar charge controller*. *Solar charge controller* berfungsi mengatur proses pengisian daya agar tegangan dari panel surya tidak langsung masuk ke baterai tanpa pengendalian. Dengan demikian, sistem catu daya dapat mendukung operasional perangkat selama proses pengujian berlangsung.

3.5 Pengujian Sistem Online dan Offline

Pengujian sistem *online* dan *offline* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam bekerja pada kondisi jaringan internet tersedia maupun terputus.

Pada mode *online*, sistem bekerja dengan melakukan proses verifikasi objek menggunakan YOLOv8 sebelum mengaktifkan alarm dan mengirimkan notifikasi Telegram. Sedangkan pada mode *offline*, alarm aktif secara langsung ketika sensor PIR mendeteksi gerakan tanpa melalui proses pengiriman gambar maupun proses verifikasi objek.

Tabel 6. Hasil Pengujian Sistem *Online* dan *Offline*

Mode Sistem	Telegram	Alarm
Online	Aktif	Aktif
Offline	Tidak Aktif	Aktif

Berdasarkan hasil pengujian, sistem tetap dapat menjalankan fungsi dasar keamanan meskipun koneksi internet terputus. Mode *offline* digunakan sebagai mekanisme *fail-safe* agar sistem tetap mampu memberikan peringatan suara ketika terdapat gerakan pada area pengawasan.

3.6 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan seluruh hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem pendeteksi hewan perusak lahan pertanian berbasis ESP32-CAM dan sensor PIR berhasil diimplementasikan dengan baik pada area pertanian di Kabupaten Sumbawa.

Sistem mampu mendeteksi gerakan menggunakan sensor PIR, mengambil gambar menggunakan ESP32-CAM, melakukan verifikasi objek menggunakan YOLOv8, mengirimkan notifikasi Telegram secara *real-time*, serta mengaktifkan alarm otomatis sebagai peringatan.

Penggunaan sistem tenaga surya juga mampu mendukung kebutuhan daya perangkat sehingga sistem dapat bekerja secara mandiri pada area pertanian terbuka yang memiliki keterbatasan akses listrik.

Meskipun demikian, performa sistem masih dipengaruhi oleh kualitas jaringan internet, kondisi pencahayaan, dan jarak objek terhadap kamera. Pada kondisi minim cahaya dan jarak objek terlalu jauh, tingkat keberhasilan deteksi objek mengalami penurunan karena ukuran objek pada citra menjadi lebih kecil. Berdasarkan hasil tersebut, pengembangan alat selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan modul kamera ESP32-CAM yang memiliki lensa dengan focal length lebih besar agar objek pada jarak lebih jauh dapat terlihat lebih jelas. Selain itu, penempatan kamera dengan sudut pandang yang lebih tepat juga dapat membantu meningkatkan kualitas citra dan mendukung proses deteksi objek pada area pengawasan yang lebih luas.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, sistem pendeteksi hewan perusak lahan pertanian berbasis ESP32-CAM dan sensor PIR berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT), YOLOv8, Telegram Bot, dan sistem tenaga surya.

Sistem mampu mendeteksi gerakan menggunakan sensor PIR, mengambil gambar menggunakan ESP32-CAM, melakukan verifikasi objek sapi menggunakan YOLOv8 pada VPS server, serta mengirimkan notifikasi beserta hasil gambar ke Telegram secara *real-time*. Selain itu, sistem juga mampu mengaktifkan alarm otomatis selama 5 detik ketika objek sapi terdeteksi dan menyediakan fitur manual melalui *command /test* untuk mengaktifkan alarm selama 10 detik.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem memiliki tingkat keberhasilan deteksi sekitar 80% pada kondisi pencahayaan normal. Sensor PIR mampu mendeteksi gerakan secara optimal hingga

jarak sekitar 6 meter, sedangkan deteksi objek sapi menggunakan YOLOv8 masih dapat dilakukan dengan baik pada jarak sekitar 5–8 meter.

Sistem tenaga surya yang terdiri dari panel surya, *solar charge controller*, dan baterai 12 V mampu menyuplai kebutuhan daya perangkat selama proses pengujian berlangsung sehingga sistem dapat bekerja secara mandiri pada area pertanian terbuka.

Meskipun demikian, performa sistem masih dipengaruhi oleh kualitas jaringan internet, kondisi pencahayaan, dan jarak objek terhadap kamera. Pada kondisi minim cahaya dan jarak objek terlalu jauh, tingkat keberhasilan deteksi objek mengalami penurunan.

REFERENSI

- [1] N. K. Rencani, W. Jemarut, I Nyoman Sumantri, and Pahrur Rizal, “Strategi Penyelesaian Konflik Kerusakan Lahan Pertanian Akibat Hewan Ternak (Studi Kasus di Lampok – Sumbawa),” *J. Ilmu Hukum, Hum. dan Polit.*, vol. 5, no. 2, pp. 1546–1554, 2024, doi: 10.38035/jihhp.v5i2.3516.
- [2] N. Widanti *et al.*, “Design Smart Farming in Rice Field for Monitoring Soil Fertility and Pest Rate Using Internet of Things,” *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 10, no. 8, pp. 5782–5788, 2024, doi: 10.29303/jppipa.v10i8.8288.
- [3] L. Maramis, C. Nugroho, H. Saleh, R. Potabuga, and V. C. Wullur, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kebun Menggunakan Sensor PIR dan ESP32-Cam Berbasis IoT,” *J. Publ. Ilmu Komput. dan Multimed.*, vol. 5, no. 1, pp. 28–36, 2025, doi: 10.55606/jupikom.v5i1.5613.
- [4] J. Sahoo and K. Barrett, “Internet of Things (IoT) Application Model for Smart Farming,” *Conf. Proc. - IEEE SOUTHEASTCON*, vol. 2021-March, pp. 1–2, 2021, doi: 10.1109/SoutheastCon45413.2021.9401845.
- [5] M. A. Yusuf, M. D. Kurnia, P. Dimas, M. Zaky, and Z. Muhtadi, “Kamera Pengaman Berbasis ESP32 Cam dan Sensor PIR,” *INHARDWARE J. Instrum. Hardw.*, vol. 2, no. 2, pp. 38–46, 2024, doi: 10.53026/inhardware.v2i2.24.
- [6] M. P. Putra Pratama and M. Martias, “Alat Keamanan Menggunakan Sensor Gerak Dengan ESP32 Cam Berbasis Iot,” *INSANtek*, vol. 4, no. 2, pp. 69–76, 2023, doi: 10.31294/insantek.v4i2.2117.
- [7] D. Triyanto, M. Zidan, M. Wahyudi, L. Pujiastuti, and S. Sumanto, “Pengembangan Sistem Deteksi Objek Botol Real-Time dengan YOLOv8 untuk Aplikasi Vision,” *Indones. J. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 44–50, 2024, doi: 10.31294/ijcs.v3i1.6070.
- [8] A. Shahrir, Z. Ayop, S. Anawar, and N. Mohd Zainudin, “a Hybrid Yolov5–Ssd Iot-Based Animal Detection System for Durian Plantation Protection,” *Int. J. Wirel. Mob. Networks*, vol. 17, no. 5, pp. 01–16, 2025, doi: 10.5121/ijwmn.2025.17501.
- [9] F. Humam and M. A. Triawan, “Sistem Keamanan Ruangan Menggunakan ESP32CAM dan Sensor Gerak Berbasis IoT,” *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 575–584, 2024, doi: 10.29408/jit.v7i2.26109.
- [10] L. Cakrayuda, “Sicemot: Sistem Keamanan Cerdas Berbasis Esp32-Cam, Sensor Gerak, Dan Notifikasi Telegram,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6420.
- [11] M. Ulum, H. Haryanto, and D. Neipa Purnamasari, “Smart Monitoring Sistem Panel Surya Berbasis Internet Of Things (IoT),” *Cyclotron*, vol. 7, no. 01, pp. 67–70, 2024, doi: 10.30651/cl.v7i01.21175.
- [12] F. A. Saputra and J. C. Chandra, “Prototype of Automatic Server Room Security System Using ESP32CAM and You Only Look Once (YOLO) Algorithm,” *J. TICOM Technol. Inf. Commun.*, vol. 11, no. 1, pp. 62–67, 2022.
- [13] Yurizal Bagas Permadi, “Sistem Keamanan Pada Sangkar Burung Menggunakan SIM900 Dan Kamera Berbasis Mikrokontroler,” *Inform. J. Tek. Inform. dan Multimed.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–25, 2021, doi: 10.51903/informatika.v1i1.18.

- [14] I. I. J. Rifka Alkhilyatul Ma'rifat, I Made Suraharta, "Integrasi Sensor Ultrasonik dan Esp32-Cam Pada Sistem Deteksi Kendaraan Berbasis IoT dengan Server Flask dan Notifikasi Real-Time Via Telegram di CV Indah Jaya Sentosa," vol. 2, pp. 306–312, 2024.