

Prototipe Sistem Deteksi Burung Menggunakan ESP32-Cam dan Algoritma YOLO

Muhammad Riesky Pratama¹, Dewi Laksmiati²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Bina Sarana Informatika, Jakarta 10450

*Korespondensi penulis: dewi.dlk@bsi.ac.id

(Received: 23-10-2024; Revised: 06-11-2024; Accepted: 20-11-2024)

Abstract. *The agriculture and plantation sectors play a crucial role in the economies of many countries, including Indonesia, but often experience productivity declines due to pests. Technologies such as IoT and artificial intelligence now offer modern and more effective solutions to these problems. This research develops an automated system for repelling pests based on the ESP32-CAM camera module utilizing the YOLO (You Only Look Once) object detection algorithm and OpenCV image processing. The system is designed to accurately recognize and repel birds in real-time and can be accessed and controlled remotely through an IoT platform. Previous studies have used various sensors, including ultrasonic and PIR sensors, but these often suffer from limitations in accuracy and flexibility. The YOLO algorithm was chosen for its ability to provide superior speed and detection accuracy. The research results show that the developed bird detection has a precision value of 0.998, a recall of 0.981, and an F1 Score of 0.989. These metric values indicate that the system is very reliable in detecting birds. High precision guarantees minimal false detections, while high recall ensures that almost all birds are detected. The combination of both, reflected in the F1-score, indicates a good balance between precision and recall. Thus, this system can make a significant contribution to improving pest control efficiency and agricultural productivity.*

Keywords: ESP32-Cam, YOLO, object detection, internet of things.

Abstrak. Sektor pertanian dan perkebunan memainkan peran penting dalam perekonomian banyak negara, termasuk Indonesia, namun kerap mengalami penurunan produktivitas akibat hama. Teknologi seperti IoT dan kecerdasan buatan kini menawarkan solusi modern dan lebih efektif untuk masalah ini. Penelitian ini mengembangkan sistem otomatis untuk mengusir hama berbasis modul kamera Esp32-Cam yang memanfaatkan algoritma deteksi objek YOLO (*You Only Look Once*) dan pemrosesan gambar OpenCV. Sistem ini dirancang untuk mengenali dan mengusir burung secara akurat dan *real-time*, serta dapat diakses dan dikendalikan dari jarak jauh melalui platform IoT. Studi sebelumnya menggunakan berbagai sensor, termasuk ultrasonik dan PIR, namun seringkali terbatas dalam hal akurasi dan fleksibilitas. Algoritma YOLO dipilih karena kemampuannya dalam memberikan kecepatan dan ketepatan deteksi yang lebih baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa deteksi burung yang dikembangkan memiliki nilai *precision* 0,998, *recall* 0,981, dan *F1-score* 0,989. Nilai-nilai metrik ini menunjukkan bahwa sistem sangat handal dalam mendeteksi burung. *Precision* yang tinggi menjamin sedikitnya terjadi kesalahan deteksi, sedangkan *recall* yang tinggi memastikan bahwa hampir semua burung terdeteksi. Kombinasi keduanya, yang tercermin dalam nilai *F1-score*, mengindikasikan keseimbangan yang baik antara ketepatan dan kelengkapan deteksi. Dengan demikian, sistem ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi pengendalian hama dan produktivitas pertanian.

Kata kunci: ESP32-Cam, YOLO, deteksi objek, *internet of things*.

PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan komponen ekonomi nasional yang sangat strategis dan penting, karena menghasilkan sebagian besar dari produk domestik bruto negara[1].

Namun, produktivitas sektor ini sering kali terganggu oleh hama yang merusak tanaman[2]. Berbagai metode pengendalian hama telah dikembangkan, mulai dari penggunaan jaring hingga metode lainnya [3]. Dalam era digital dan teknologi saat ini, penerapan teknologi canggih seperti Internet of Things (IoT) dan kecerdasan buatan (AI) dalam bidang pertanian telah membuka peluang baru untuk mengatasi masalah hama secara lebih efektif dan efisien. Salah satu teknologi yang semakin populer adalah penggunaan sistem deteksi objek berbasis kamera untuk mengenali dan mengusir hama secara otomatis. Deteksi objek berbasis kamera, seperti algoritma YOLO, telah menunjukkan potensi besar dalam pemantauan dan pengendalian hama secara *real-time* [4].

Penelitian terkait sistem pengusir hama otomatis telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan. Beberapa studi menggunakan sensor ultrasonik, sensor PIR atau perangkat elektronik lainnya untuk mengusir hama [5]. Namun, kebanyakan dari sistem tersebut masih memiliki keterbatasan dalam hal akurasi dan fleksibilitas. deteksi objek terbaru seperti algoritma YOLO menawarkan keunggulan dalam kecepatan dan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode sebelumnya [6], sehingga dapat meningkatkan efektivitas sistem pengusir hama otomatis.

Penelitian ini akan menggunakan mikrokontroler ESP32-Cam dan OpenCV sebagai program yang menjalankan algoritma YOLO. Dengan ESP32-Cam yang modul wifi dan kamera[7], dapat dilakukan video stream untuk memantau area persawahan dimana nantinya akan digunakan sebagai input untuk program OpenCV yang selanjutnya akan dilakukan pemrosesan pendeteksian hama burung menggunakan algoritma YOLO. Dan sebagai output, sistem akan mengontrol *buzzer* dan *motor servo* serta memberikan notifikasi ke aplikasi *Blynk* pada perangkat pengguna.

Penelitian ditujukan untuk mengembangkan penelitian sebelumnya yang dilakukan Jalaludin dan Laksmiati. Dimana pada penelitian sebelumnya menggunakan input dari sensor PIR, kemudian diproses oleh ESP32-Cam yang kemudian outputnya adalah mengontrol motor servo sebagai media orang-orangan sawah [8]. Pada penelitian ini penulis akan menggunakan program OpenCV yang dapat mendeteksi burung secara *real-time* dengan algoritma YOLO

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini terfokus pada sistem deteksi burung yang menggunakan mikrokontroler ESP32-Cam. Penggunaan ESP32-Cam dalam sistem deteksi burung telah terbukti efektif dalam berbagai penelitian sebelumnya, terutama dalam hal kecepatan dan akurasi deteksi[9]. Tujuan utama perancangan ini adalah untuk mengembangkan sistem pengusir hama otomatis. Sistem ini tidak hanya mengandalkan ESP32-Cam yang memiliki kamera video terintegrasi[7], melainkan juga dilengkapi algoritma YOLO untuk mendeteksi burung melalui program OpenCV yang berkomunikasi dengan HTTP. HTTP digunakan karena memungkinkan aplikasi perangkat lunak untuk berkomunikasi satu sama lain untuk bertukar data[10]. Perancangan ini melibatkan beberapa komponen, antara lain mikrokontroler ESP32-Cam dengan modul wifi dan modul kamera bawaan, *buzzer* dan *motor servo*. Selain itu, untuk memberikan informasi kepada pengguna tentang jumlah burung yang terdeteksi, sistem ini akan terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT). Integrasi ini memungkinkan pengiriman notifikasi kepada pengguna dan memberikan kemampuan pemantauan secara *real time* dari jarak jauh [11].

Perancangan diterapkan dalam bentuk prototipe yang dilengkapi dengan *buzzer* dan miniatur orang-orangan sawah yang dapat bergerak secara otomatis berdasarkan hasil deteksi burung yang telah diproses pada program OpenCV. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan *motor servo* yang digunakan sebagai penggerak miniatur orang-orangan sawah berjumlah 2. *Motor Servo* DC digunakan karena lebih cocok digunakan pada aplikasi yang lebih kecil [12]. *Buzzer* diuji dengan rentang jarak tertentu terhadap posisi burung dan memiliki respon yang sedikit lambat pada jarak lebih dari 2 meter.

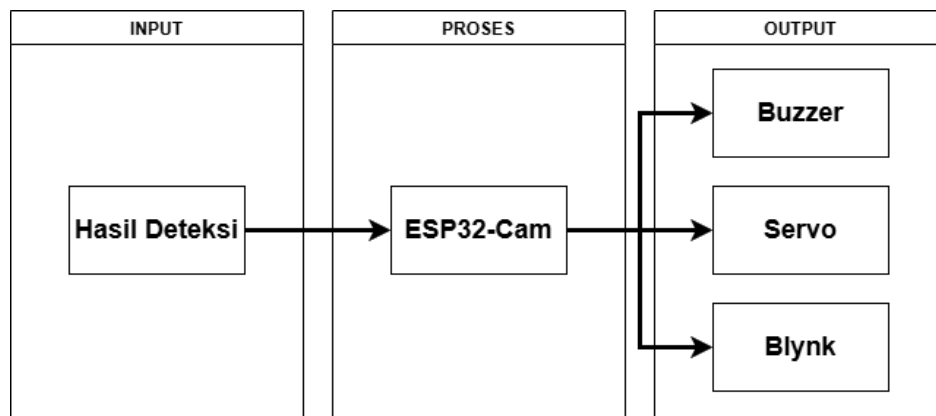
Prototipe sistem deteksi burung menggunakan ESP32-Cam dan algoritma YOLO bekerja dengan baik dalam kecepatan dan respon terhadap keberadaan burung yang diterima.

Rancang Bangun Alat

Tahap pertama perancangan adalah membuat blok diagram sistem, kemudian skema rangkaian serta melakukan pemilihan komponen baik mikrokontroller, sensor dan motor pendukung, kemudian pembuatan *flowchart* sistem

Blok Diagram Sistem

Pada saat perancangan dibuat diagram blok untuk merumuskan alur yang akan dilalui mulai diterimanya input hasil deteksi dari program OpenCV melalui protocol HTTP, lalu diproses oleh ESP32-cam menjadi output seperti mengontrol *motor servo* dan menyalakan *buzzer*, serta menotifikasi pada smartphone pengguna dengan aplikasi *Blynk*.

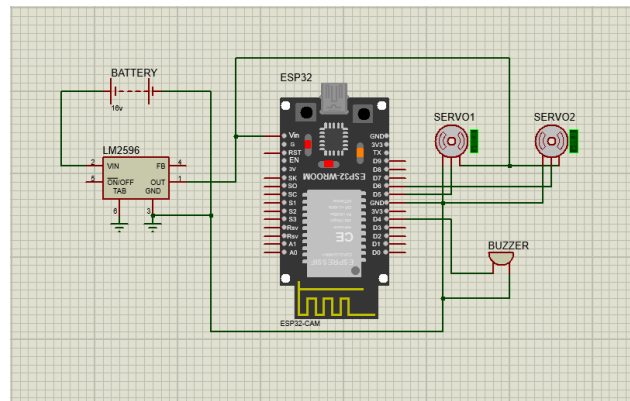


GAMBAR 1. Blok diagram perancangan.

Secara rinci, alur kerja dari sebuah sistem terdiri dari tiga tahap utama: input, proses, dan output. Pada tahap input, sistem menerima hasil deteksi yang berasal dari program OpenCV yang dikirim melalui protokol HTTP, yang berisi data tentang adanya burung beserta jumlah yang diperoleh dari proses deteksi oleh algoritma YOLO. Data ini kemudian dikirim ke tahap proses, yang ditangani oleh modul ESP32-Cam. ESP32-Cam bertindak sebagai pusat pemrosesan yang menerima hasil deteksi dan melakukan pengolahan data, seperti pengenalan objek atau pengiriman data ke komponen output. Setelah data diproses, sistem mengaktifkan berbagai komponen output berdasarkan hasil pemrosesan. Komponen output yang terhubung meliputi *buzzer* (sebagai alat peringatan suara), *servo* (untuk menggerakkan mekanisme tertentu), dan *Blynk* (untuk mengirimkan notifikasi atau data ke aplikasi *Blynk*). Sistem ini secara keseluruhan bertujuan untuk mendeteksi dan merespons kondisi tertentu berdasarkan input yang diterima.

Skema Rangkaian

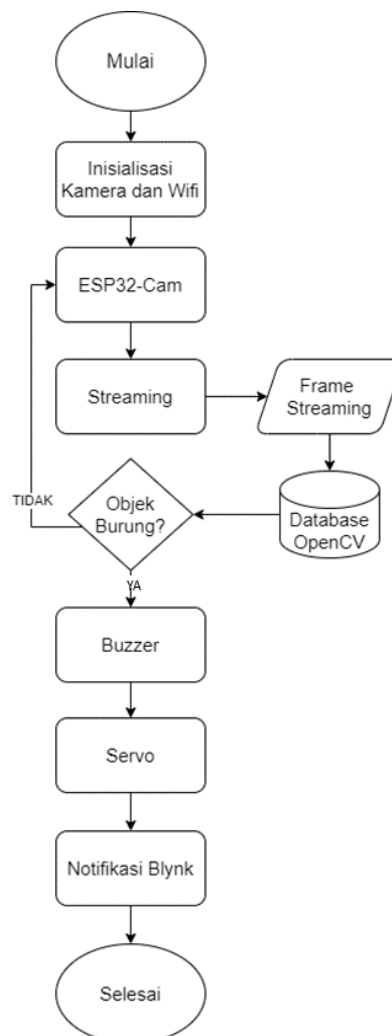
Setelah diagram sistem dibuat, selanjutnya dilakukan pemilihan komponen. Kemudian buat rangkaian berdasarkan komponen yang dipilih. Rangkaian dibuat berdasarkan keterhubungan *buzzer* dan *motor servo* terhadap ESP32-Cam. ESP32-Cam dipilih dikarenakan beroperasi dengan CPU 240 MHz, RAM 512 KiB, serta didukung dengan modul kamera dan modul Wi-Fi sehingga memungkinkan untuk mengirim dan menerima data melalui jaringan internet



GAMBAR 2. Skema rangkaian.

Flowchart

Untuk menggambarkan langkah-langkah yang diambil oleh sistem untuk mendeteksi burung di sawah menggunakan ESP32-Cam, serta tindakan yang dilakukan saat burung terdeteksi. Dibuat *flowchart* yang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart sistem perancangan.

Berdasarkan diagram alur atau *flowchart* di atas dapat dilihat cara kerja sistem ini sebagai berikut: Sistem ini dimulai dengan inisialisasi ESP32-Cam dan koneksi WiFi, lalu ESP32-Cam menangkap dan melakukan streaming video secara *real-time*. *Frame* video yang

dihasilkan kemudian dikirim dan diproses menggunakan OpenCV dan algoritma YOLO v8 sehingga dapat mendeteksi keberadaan burung dalam setiap frame. Jika burung terdeteksi, *buzzer* diaktifkan sebagai peringatan, dan *servo motor* digunakan untuk mengusir burung. Sistem juga mengirimkan notifikasi kepada pengguna melalui platform *Blynk*, memberikan informasi *real-time* tentang jumlah burung yang terdeteksi. Setelah notifikasi dikirim, sistem kembali ke tahap *streaming* untuk terus memantau dan mendeteksi burung dalam *frame* berikutnya.

Pembuatan Alat

Setelah proses perancangan selesai, langkah selanjutnya adalah implementasi pembuatan alat sesuai dengan desain yang telah dibuat. Pada tahap ini, dilakukan proses konstruksi, pengadaan komponen, dan perakitan alat sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya.

Tahap Pengujian

Setelah selesai proses pembuatan alat, langkah berikutnya adalah tahap pengujian. Pada tahap ini, dilakukan serangkaian uji coba terhadap alat untuk memastikan bahwa fungsinya sesuai dengan tujuan penelitian dan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pengujian dilakukan untuk mengukur performa alat, keandalan, ketepatan, dan kinerja sistem secara menyeluruh.

Tahap Pengambilan Data

Langkah akhir adalah tahap pengumpulan data. Pada tahap ini, peneliti memanfaatkan alat yang telah dikembangkan untuk mengumpulkan data yang relevan dengan tujuan penelitian. Data yang terkumpul berasal dari tahap pengujian yang kemudian dianalisis dan dievaluasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah perancangan prototype siap dan sudah terprogram, berikutnya dilakukan uji fungsional dan uji keseluruhan. Berbeda dengan Sistem Pengusir Hama yang dibuat Oleh Jalaludin dan Laksmiati [8]. Dalam perancangan ini turut digunakan protocol HTTP sehingga ESP32-Cam dan program OpenCV dapat saling menerima dan mengirim data yang sesuai dengan yang dibutuhkan sistem.

Pengujian Deteksi Burung

Pengujian ini bertujuan untuk menguji keandalan sistem dalam membedakan objek dalam proses mendeteksi burung. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan burung dara dan menambahkan objek lain seperti orang dan kucing sebagai bagian dari pengujian. Sehingga memastikan kemampuan sistem dalam membedakan burung dari objek lain serta memastikan bahwa sistem dapat mendeteksi burung dengan baik.

TABEL 1. Hasil pengujian pendeteksian

Objek	Burung Dara	Orang	Kucing
Pengujian 1	TP	FP	TN
Pengujian 2	TP	TN	TN
Pengujian 3	TP	TN	TN
Pengujian 4	TP	FP	TN
Pengujian 5	TP	TN	TN

Dari hasil pengujian tersebut dapat dirangkum seperti pada tabel 2.

TABEL 2. Rangkuman hasil pengujian pendeteksian

Variabel	Jumlah	Keterangan
TP (<i>True Positives</i>)	5	Mendeteksi burung dengan benar.
TN (<i>True Negatives</i>)	8	Mendeteksi dengan benar bahwa objek lain bukan burung.
FP (<i>False Positives</i>)	2	Mendeteksi objek lain sebagai burung (kesalahan deteksi).
FN (<i>False Negatives</i>)	0	Burung yang tidak terdeteksi/terdeteksi sebagai objek lain.

Berdasarkan tabel pengujian di atas, kami akan menghitung metrik-metrik evaluasi sebagai berikut:

1. Presisi (*Precision*) untuk mengukur seberapa baik sistem dalam mendeteksi dengan tepat sebagai burung.

$$precision = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \quad (1)$$

2. *True Negative Rate* (TNR) untuk mengukur seberapa baik sistem dalam mendeteksi objek selain burung.

$$TNR = \frac{TN}{TN+FP} \times 100\% \quad (2)$$

3. *False Positive Rate* (FPR) untuk mengukur seberapa sering sistem mendeteksi objek lain sebagai burung

$$FPR = \frac{FP}{FP+TN} \times 100\% \quad (3)$$

Dibawah ini hasil dari penghitungan berdasarkan hasil pengujian pada tabel 1.

TABEL 3. Nilai akurasi pendeteksian.

Variabel	Hasil
Precision	89.7%
True Negative Rate (TNR)	80%
False Positive Rate (FPR)	20%

Tabel di atas menunjukkan efektivitas algoritma YOLO yang terlihat dari tingginya nilai precision dan TNR, yang menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi burung dengan akurasi tinggi dan membedakannya dari objek lain.

Pengujian Kamera ESP32-Cam

Pada tahapan ini dilakukan pengujian kamera ESP32-Cam yang bertujuan untuk mengukur seberapa jauh jarak deteksi burung yang dilakukan oleh sistem, dilakukan pengujian dengan menggunakan berbagai parameter yaitu; dua jenis burung burung dara dan mprit yang didasarkan dari ukuran burung, jangkauan sudut pandang kamera 45 derajat dan 90 derajat, dan setiap bagian sisi burung seperti sisi depan, belakang dan samping. Proses pengujian ini dilakukan pada kondisi terbuka pada halaman rumah, dengan masing-masing pengujian dilakukan pada jarak tertentu antara burung dengan alat.

TABEL 4. Pengujian kamera ESP32-Cam.

Ukuran Burung	Sudut	Sisi	Jarak (cm)									
			5	10	50	100	150	200	250	300	350	400
Burung Besar (Panjang Tubuh >30cm)	45°	Depan	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×
		Samping	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×
		Belakang	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
	90°	Depan	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×
		Samping	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×
		Belakang	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
Burung Kecil (Panjang Tubuh <20cm)	45°	Depan	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
		Samping	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
		Belakang	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×
	90°	Depang	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
		Samping	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
		Belakang	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×

Dari hasil serangkaian pengujian didapatkan hasil berimut menunjukkan bahwa burung besar hanya terdeteksi pada jarak 20cm – 400 cm. Dimana burung besar tidak terdeteksi pada jarak 5 cm dan 10 cm karena memenuhi seluruh frame kamera, sehingga tidak dapat

mengidentifikasi bentuk burung dengan jelas dan tidak terdeteksi pada jarak 400cm ukurannya terlalu kecil pada jarak tersebut. Berbeda dengan burung kecil yang terdeteksi pada 10cm - 200cm, tidak terdeteksi mulai jarak 250cm dikarenakan ukuran burung terlalu kecil pada jarak tersebut. Pendeteksian lebih akurat pada sudut 45° dan 90°, dengan sisi depan dan samping memberikan hasil lebih baik dibandingkan sisi belakang.



GAMBAR 4. Pengujian ESP32-Cam.

Selain itu, juga dilakukan pengujian di sawah untuk menilai kinerja deteksi dalam lingkungan alami. Hal ini penting untuk mengevaluasi efektivitas algoritma YOLOv8 pada ESP32-Cam di kondisi nyata, dengan variabel lingkungan yang bervariasi seperti pencahayaan, latar belakang, dan pergerakan burung.



(a)



(b)

GAMBAR 5. Pengujian di lingkungan sawah, (a) terdeteksi dalam 2 meter; (b) terdeteksi 3 meter.

Pengujian *Buzzer*

Pengujian *buzzer* bertujuan untuk menentukan seberapa jauh jangkauan efektif suara *buzzer* dalam mengusir burung. Pengujian ini dilakukan dengan melibatkan pengukuran jarak antara letak *buzzer* dengan burung yang di uji dengan 5 kali percobaan

TABEL 5. Pengujian *buzzer*.

Jarak dari Buzzer (cm)	Pengujian ke-				
	1	2	3	4	5
50	✓	✓	✓	✓	✓
100	✓	✓	✓	✓	✗
200	✓	✗	✓	✓	✗
300	✗	✓	✗	✗	✗
400	✗	✗	✗	✗	✗

Berdasarkan tabel 5, nilai persentase efektivitas jangkauan suara *buzzer* dalam mengusir burung dapat dilihat pada tabel berikut ini.

TABEL 6. Persentase efektivitas *buzzer*.

Jarak dari Buzzer (cm)	Intensitas Suara (dB)	Efektivitas Pengusiran Burung (%)
50	80	100%
100	78	80%
200	72	60%
300	67	20%
400	60	0%

Pengujian Servo

Pengujian ini untuk mengetahui apakah servo berfungsi dengan baik saat sistem berhasil terdeteksi seekor burung. Pada sistem ini menggunakan 2 servo yang berfungsi sebagai penggerak orang-orangan sawah. Proses pengujian dilakukan 5 percobaan dengan variasi jarak 50cm, 100cm, 200cm, 300cm, 400cm dan dengan mengontrol servo berputar pada besaran sudut tertentu.

TABEL 7. Pengujian servo.

Servo	Sudut	Pengujian Ke-					Rata-Rata	Error	Akurasi
		1 50cm	2 100cm	3 200cm	4 300cm	5 400cm			
Servo 1	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0	100%
	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	0	100%
	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°	0	100%
Servo 2	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0	100%
	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	0	100%
	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°	0	100%

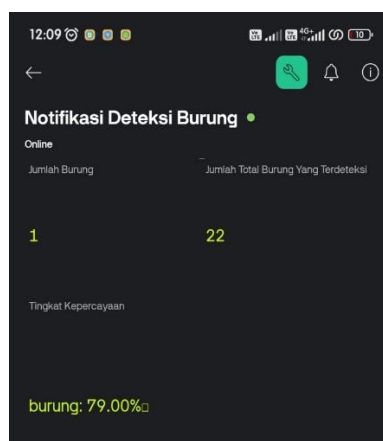
Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua servo memiliki konsistensi dan akurasi yang sangat baik, mencapai sudut target (0°, 90°, 180°) dengan akurasi 100% tanpa deviasi atau error, membuktikan kinerja yang optimal. Sedangkan untuk efektivitas servo dalam pengusiran burung, saat pengujian hanya pada jarak 50cm yang terusir, dikarenakan ukuran orang-orangan sawah yang dibuat berukuran kecil.

Pengujian Aplikasi *Blynk*

Tujuan dari pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi error terhadap jumlah yang terdeteksi dengan jumlah yang di tampilkan pada aplikasi *Blynk*, sehingga dapat mengetahui apakah komunikasi antara ESP32-Cam dengan *platform Blynk* berfungsi dengan baik atau tidak. Melalui integrasi dengan *Blynk*, jumlah dari burung yang terdeteksi akan ditampilkan, dan sistem akan mengirimkan notifikasi saat jumlah tertentu terpenuhi.

TABEL 8. Pengujian aplikasi *blynk*.

Jumlah Burung	Pengujian ke-					Total Jumlah Burung	Error	Akurasi
	1	2	3	4	5			
Serial Monitor	2	1	4	1	1	9	0%	100%
Aplikasi <i>blynk</i>	2	1	4	1	1	9		



GAMBAR 6. Contoh tampilan pada aplikasi *blynk*.

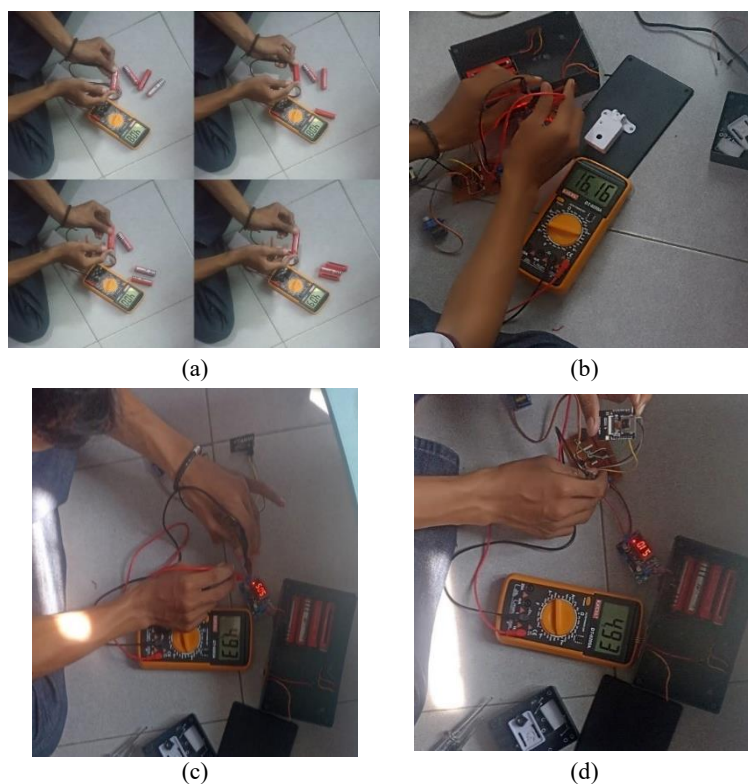
Hasil pengujian menunjukkan bahwa serial monitor dan aplikasi *Blynk* berhasil mendeteksi 9 burung dalam 5 kali pengujian dengan akurasi 100% tanpa error, mengindikasikan sistem berfungsi dengan baik dan *Blynk* menampilkan hasil deteksi secara akurat.

Pengujian Performa Sistem

Pengujian kinerja sistem menunjukkan bahwa sistem memiliki kecepatan deteksi sebesar 0,5 detik per frame, memungkinkan pemrosesan sekitar 10 frame per detik, yang cukup untuk operasi waktu nyata. Waktu respons untuk buzzer dan servo kurang dari 1 detik setelah deteksi burung, memastikan tindakan pencegahan yang cepat dan efektif. Notifikasi melalui aplikasi *Blynk*, meskipun memiliki sedikit latensi, tetap cukup cepat dengan rata-rata 2 detik, memberikan pembaruan hampir waktu nyata kepada pengguna. Hasil ini menunjukkan keandalan dan efisiensi sistem dalam skenario dunia nyata, menawarkan perlindungan tepat waktu untuk tanaman dari gangguan burung.

Pengujian Tegangan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah tegangan yang dihasilkan oleh baterai melalui modul stepdown LM2596 sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan oleh sistem.



GAMBAR 7. Pengujian Tegangan (a) Pengujian Baterai 18650 dengan nilai pengukuran 4.4 VDC, (b) Pengujian Baterai 18650 seri nilai terukur 16.16 VDC, (c) Pengujian Output Tegangan *Stepdown* LM2596 dengan nilai terukur 4.93 VDC, (d) Pengujian Input Tegangan ESP32-Cam dengan nilai terukur 4.93 VDC

KESIMPULAN

Sistem pengusir hama otomatis berbasis ESP32-CAM dengan algoritma YOLOv8 yang telah dikembangkan menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mendeteksi burung hama dan merespons secara otomatis dengan menggerakkan servo serta mengaktifkan buzzer untuk pengusiran. Dengan akurasi deteksi sebesar 89,7% dan True Negative Rate (TNR) 80%, sistem ini mampu mengidentifikasi burung dengan tepat dan membedakannya dari objek lain seperti manusia dan kucing. Uji coba di lapangan menunjukkan bahwa kamera ESP32-CAM efektif mendeteksi burung dalam jarak 50 cm hingga 350 cm, dengan deteksi optimal di sisi depan dan samping burung. Sistem ini meningkatkan efisiensi operasional di bidang pertanian dengan mengurangi kerusakan tanaman, menghemat

waktu, dan memudahkan petani melalui monitoring *real-time* yang akurat. Aplikasi *Blynk* mendukung kemampuan ini dengan menampilkan jumlah burung yang terdeteksi secara tepat dan memberikan notifikasi yang responsif. Selain itu, penggunaan baterai 18650 dan modul stepdown LM2596 memastikan sistem dapat beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada sumber daya listrik eksternal, menjadikannya solusi yang fleksibel dan handal untuk digunakan di lingkungan pertanian yang beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Hidayah, Y. Yulhendri, and N. Susanti, "Peran Sektor Pertanian dalam Perekonomian Negara Maju dan Negara Berkembang: Sebuah Kajian Literatur," *Jurnal Salingka Nagari*, vol. 1, no. 1, Jun. 2022, doi: 10.24036/jsn.v1i1.9.
- [2] A. Ardjansyah, J. Budi Hernowo, and D. Swastiko Priyambodo, "Pengaruh Serangan Burung Bondol Terhadap Kerusakan Tanaman Padi di Bogor (*The Influences of Bondol Attack Against Paddy Damage in Bogor*)," *Media Konservasi*, vol. 22, no. 2, pp. 101–110, Aug. 2017.
- [3] A. Kahfiani, "Jaring, Cara Jitu Kendalikan Hama Burung Pipit," *Buletin Teknologi dan Inovasi Pertanian*, vol. 2, no. 1, pp. 16–20, Oct. 2023.
- [4] S. Saiwa, "Object Detection in Agriculture | Saiwa," 2024, *Saiwa*. Accessed: Aug. 06, 2024. [Online]. Available: <https://saiwa.ai/blog/object-detection-in-agriculture/>
- [5] A. Taufiqurrahman Akbar, A. Latief Arda, and I. Taufiq, "Alat Pengusir Burung Pada Tanaman Padi Berbasis IoT," *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 101–107, 2022, doi: 10.35329/jiik.v8i2.234.
- [6] I. P. S. Yoga, G. Sukadarmika, R. S. Hartati, and Y. Divayana, "Pendeteksi Jumlah Orang pada Sistem Bangunan Pintar Menggunakan Algoritma You Only Look Once," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 11, 2023, doi: 10.24843/mite.2023.v22i01.p02.
- [7] S. A. Arrahma and R. Mukhaiyar, "Pengujian Esp32-Cam Berbasis Mikrokontroler ESP32," vol. 4, no. 1, pp. 60–66, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i1.347.
- [8] R. Jalaludin and D. Laksmiati, "Perancangan Sistem Kendali Irigasi Otomatis dan Pengusir Hama Burung Dengan Menggunakan Sensor PIR," *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, vol. 6, no. 2, pp. 122–134, 2023, doi: 10.38043/telsinas.v6i2.4565.
- [9] A. S. Pradisthi and J. Aryanto, "Monitoring and Automation System for Bird Feeding and Drinking Based on Internet of Things Using ESP32," *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology*, vol. 5, no. 3, Aug. 2023, doi: 10.26877/asset.v5i3.17182.
- [10] Indobot Academy, "Mengenal Arsitektur Internet of Things," Indobot Academy. Accessed: Jun. 23, 2024. [Online]. Available: https://blog.indobot.co.id/mengenal-arsitektur-internet-of-things/#Arsitektur_Layer_Internet_of_Things
- [11] C. M. Badgujar, A. Poulouse, and H. Gan, "Agricultural Object Detection with You Look Only Once (YOLO) Algorithm: A Bibliometric and Systematic Literature Review."
- [12] E. A. Prastyo, "Pengertian dan Prinsip Kerja Motor Servo," Arduino Indonesia. Accessed: Aug. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.arduinoindonesia.id/2022/10/pengertian-dan-prinsip-kerja-motor-servo.html>