



Rancang Bangun Alat Monitoring Jumlah Ayam Potong (Broiler) dan Deteksi Suhu Kandang Berbasis Internet of Things (IoT)

Muhammad Ikhsan¹, Romy Aulia², Syukriadi³

¹⁻³Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh

^{1*} romysinggalang@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk penghitungan ayam pedaging dan pengendalian suhu kandang. ESP32-CAM mengambil gambar melalui *endpoint* pengambilan HTTP, sedangkan inferensi YOLOv8n dijalankan pada komputer lokal menggunakan Python, OpenCV, dan Ultralytics. Dataset mencakup 2.339 gambar berukuran 1280 × 1280 piksel dan 78.286 anotasi ayam pedaging, yang dibagi menjadi 1.819 gambar pelatihan (77,77%) dan 520 gambar validasi (22,23%); tidak tersedia pembagian data uji independen. Pelatihan menggunakan 100 *epoch*, ukuran *batch* 16, dan input 640 × 640. Pada *epoch* terbaik, nilai presisi, *recall*, F1-*score*, mAP@0,5, dan mAP@0,5:0,95 pada tahap validasi masing-masing adalah 96,57%, 96,34%, 96,45%, 97,84%, dan 68,71%. Lima skenario penghitungan menghasilkan akurasi agregat 97,00%, MAE sebesar 0,60 ekor ayam/gambar, dan MAPE sebesar 3,00%. Kalibrasi suhu menghasilkan MAE sebesar 0,14 °C, sementara penghitungan otomatis mengurangi waktu pemrosesan sebesar 89,35% dibandingkan dengan penghitungan manual. Perintah Telegram untuk pengambilan gambar, penghitungan, dan akses *live-stream* berfungsi dengan baik dalam uji fungsional tunggal. Data uji independen, spesifikasi perangkat, deret waktu suhu, latensi, dan keandalan komunikasi masih diperlukan sebelum dapat membuat klaim umum mengenai kinerja *real-time*.

Keywords: IoT, ESP32-CAM, YOLOv8, Ayam Broiler, Monitoring Suhu



This Is Open Access Article Under The CC Attribution-ShareAlike 4.0 License.



PENDAHULUAN

Ayam broiler memiliki laju pertumbuhan yang tinggi, tetapi kondisi tersebut juga meningkatkan sensitivitasnya terhadap perubahan iklim kandang. Suhu yang melampaui zona nyaman dapat mengganggu keseimbangan panas, menurunkan konsumsi pakan dan performa produksi, serta meningkatkan risiko gangguan kesehatan. Oleh karena itu, pemantauan suhu dan pengoperasian ventilasi maupun pemanas harus didasarkan pada data yang terukur, bukan hanya pengamatan sesaat (Oluwagbenga & Fraley, 2023; Brassó et al., 2025).

Teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan sensor, perangkat kendali, jaringan komunikasi, penyimpanan data, dan antarmuka pengguna diintegrasikan dalam satu alur pemantauan. Dalam peternakan unggas, integrasi tersebut dapat mendukung pengumpulan data lingkungan secara berkelanjutan dan penyampaian peringatan jarak jauh. Akan tetapi, keandalan sistem IoT tidak cukup dibuktikan hanya melalui keberhasilan perangkat menyala; arsitektur, protokol, kalibrasi sensor, latensi, reliabilitas jaringan, dan keberhasilan pengiriman data harus dilaporkan secara terukur (Astill et al., 2020; Pereira et al., 2020; Ojo et al., 2022).

Pemantauan populasi ayam secara manual juga membutuhkan waktu dan rentan terhadap kesalahan, khususnya ketika objek saling menutupi, bergerombol, memiliki bentuk tubuh yang serupa, atau direkam pada pencahayaan rendah. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa model berbasis YOLO dapat digunakan untuk mendeteksi dan menghitung ayam, tetapi performanya sangat dipengaruhi oleh karakteristik dataset dan kondisi kandang. Li et al. (2022) menekankan tantangan occlusion dan kepadatan pada penghitungan broiler, sedangkan Guo et al. (2023) menunjukkan perlunya evaluasi precision, recall, F1-score, dan mAP pada beragam kondisi kandang.

Studi terdahulu telah mengembangkan pemantauan lingkungan kandang berbasis IoT dan deteksi unggas berbasis computer vision. Kontribusi penelitian ini terletak pada integrasi alur akuisisi citra menggunakan ESP32-CAM, inferensi YOLOv8n pada komputer lokal, layanan Telegram untuk perintah /potret, /jumlah, dan /live, serta pengendalian suhu lokal menggunakan STC-1000, lampu pijar, dan kipas AC. Kontribusi tersebut dievaluasi melalui metrik pelatihan model, pengujian error penghitungan, perbandingan waktu manual–otomatis, kalibrasi suhu, dan pengujian fungsi aktuator. Namun, kebaruan kuantitatif masih perlu diperkuat dengan pelaporan dataset, latensi, reliabilitas, dan spesifikasi perangkat komputasi.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi sistem monitoring jumlah ayam broiler dan pengendalian suhu kandang berbasis IoT. Evaluasi mencakup (1) kinerja deteksi dan error penghitungan, (2) kestabilan dan respons kontrol suhu, serta (3) latensi, keberhasilan notifikasi, dan efisiensi waktu dibandingkan prosedur manual.

METODE

Desain penelitian, lokasi, dan objek uji

Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan ADDIE yang terdiri atas Analyze, Design, Develop, Implement, dan Evaluate (Branch, 2009). Penelitian berlangsung selama tujuh bulan, dari Januari hingga Juli 2026, dan pengujian lapangan dilakukan di kandang ayam broiler di Jorong Tigo Alua, Batu Balang, Kecamatan Harau, Kabupaten Lima Puluh Kota. Informasi mengenai ukuran kandang, jumlah ayam dalam kandang uji, umur ayam, kepadatan, posisi kamera, jarak kamera, dan kondisi pencahayaan.

Tahap	Kegiatan Utama	Artefak/Keluaran	Kriteria Evaluasi
Analyze	Observasi proses hitung manual, kebutuhan informasi suhu, kondisi kandang, jaringan, dan pengguna.	Daftar masalah: penghitungan manual, pemantauan suhu, dan kebutuhan monitoring jarak jauh.	Kebutuhan sistem diturunkan menjadi deteksi jumlah, kontrol suhu, dan Telegram
Design	Perancangan arsitektur, rangkaian kontrol, basis data, antarmuka web, alur Telegram, dan rancangan pengujian.	Diagram blok dua subsistem, flowchart, daftar perangkat keras/lunak, dan rancangan menu Telegram.	Kesesuaian hubungan ESP32-CAM–komputer YOLOv8–Telegram dan probe–STC-1000–aktuator.
Develop	Perakitan perangkat, pemrograman, penyusunan dataset, anotasi, pelatihan model, dan integrasi API.	Prototipe perangkat, web server ESP32-CAM, model best.pt, dan program Telegram Bot.	Uji unit kamera, YOLOv8n, STC-1000, lampu, kipas, serta perintah /potret, /jumlah, dan /live.
Implement	Pemasangan dan pengoperasian pada kandang uji dengan prosedur yang sama untuk seluruh skenario.	Implementasi pada kandang di Jorong Tigo Alua selama periode penelitian Januari–Juli 2026.	Jumlah replikasi lapangan, kondisi pencahayaan, dan durasi pengujian kontinu

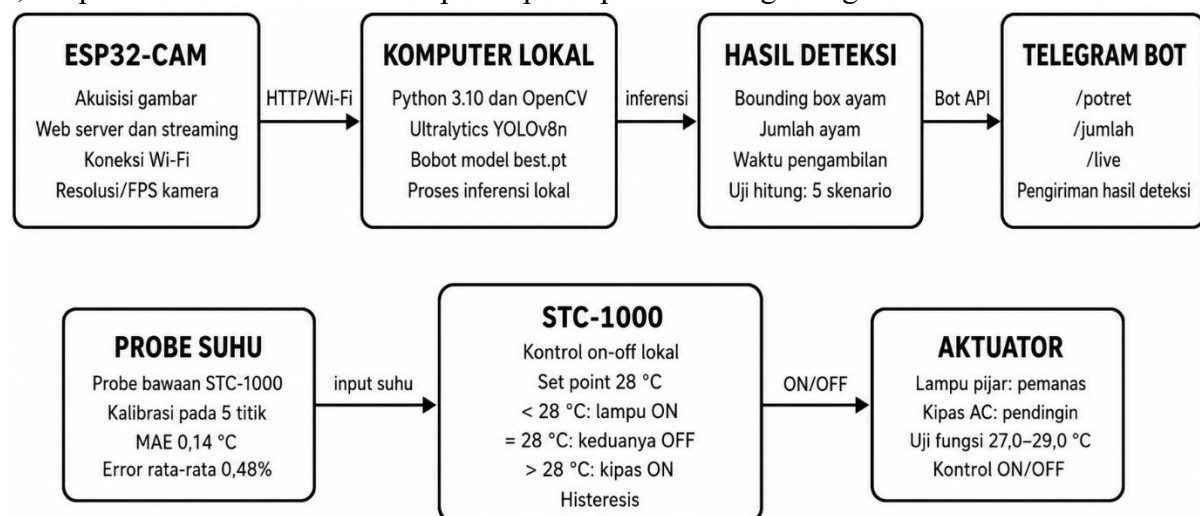
Evaluate	Analisis metrik deteksi, error hitung, stabilitas suhu, dan perbandingan manual.	Precision, recall, mAP50, akurasi hitung, waktu, error suhu, dan uji fungsi sistem.	Latency, uptime, success rate berulang, hysteresis, dan statistik time-series
----------	--	---	---

Tabel 1 Operasional Tahapan ADDIE

Arsitektur sistem dan lokasi inferensi

Arsitektur sistem menempatkan ESP32-CAM sebagai node akuisisi citra dan streaming melalui Wi-Fi/HTTP, sedangkan inferensi YOLOv8n dijalankan pada komputer lokal. Program memuat bobot best.pt dari run train-9, menangkap citra dari endpoint /capture, dan menyediakan URL /stream. Inferensi menggunakan confidence threshold 0,30. Spesifikasi CPU, GPU, RAM, sistem operasi, dan versi pustaka.

Setelah citra diterima, OpenCV melakukan decoding dan Ultralytics menghasilkan bounding box serta jumlah ayam. Hasil disimpan sebagai hasil_deteksi.jpg dan dapat dikirim melalui Telegram Bot API. Perintah /potret mengirim citra, jumlah, dan timestamp; /jumlah mengirim jumlah dalam teks; /live mengirim URL streaming. Program menggunakan timeout permintaan citra 10 detik, long polling Telegram 10 detik, dan jeda loop 1 detik, tetapi belum mencatat timestamp setiap tahap untuk menghitung latensi end-to-end.

**Gambar 1 Arsitektur Sistem**

STC-1000 berfungsi sebagai thermostat lokal yang membaca probe suhu dan mengendalikan lampu pijar serta kipas AC. Set point yang digunakan adalah 28 °C. Lampu aktif pada suhu di bawah 28 °C, kedua aktuator tidak aktif pada 28 °C, dan kipas aktif pada suhu di atas 28 °C. Skripsi tidak menunjukkan jalur digital yang mengirim nilai suhu STC-1000 ke komputer atau Telegram; karena itu, artikel tidak boleh menyatakan data suhu ditampilkan pada Telegram/web sebelum antarmuka tersebut dibuktikan. Nilai hysteresis, delay, daya aktuator, dan konfigurasi relay.

Komponen	Spesifikasi yang wajib dilaporkan	Implementasi penelitian
Kamera/ESP32-CAM	Sensor kamera, resolusi, kualitas JPEG, interval/FPS, posisi, jarak, catu daya	ESP32-CAM; endpoint HTTP /capture dan /stream. Resolusi capture dan frame rate
Node inferensi	Jenis perangkat, CPU, GPU/NPU, RAM, OS, Python, framework, lokasi fisik	Komputer lokal; device training disetel otomatis (device: null). CPU/GPU/RAM/OS.
Model YOLOv8	Varian, bobot awal, input size, epoch, batch, optimizer, learning rate, confidence, IoU	YOLOv8n pretrained; best.pt run train-9; 100 epoch; batch 16; input 640×640; optimizer auto; seed 0; deterministic; AMP aktif.

Sensor suhu	Model sensor/probe, rentang, resolusi, akurasi, posisi pemasangan, cara akuisisi data	Probe bawaan STC-1000; kalibrasi 5 titik. Model probe dan termometer referensi.
STC-1000	Mode, set point, hysteresis/differential, delay, batas alarm, konfigurasi heating/cooling	Set point 28 °C. Hysteresis/differential dan delay.
Aktuator	Jenis relay, daya lampu/kipas, tegangan, logika aktif, proteksi Listrik	Lampu pijar dan kipas AC. Daya, relay, tegangan, dan proteksi.
Jaringan/protocol	Wi-Fi, HTTP/MQTT/MJPEG, server/API, kebutuhan internet, mekanisme reconnect	Wi-Fi; HTTP capture/stream; Telegram Bot API; timeout capture 10 s dan polling 10 s. Mekanisme reconnect.
Web/database/Telegram	Platform, skema data, interval update, kondisi notifikasi, token disamakan	Telegram /potret, /jumlah, dan /live. Tidak terdapat database atau histori data yang terdokumentasi.

Tabel 2 Spesifikasi perangkat keras, perangkat lunak, dan komunikasi

Dataset, anotasi, dan konfigurasi pelatihan

Arsip dataset berisi 2,339 citra berukuran 1280×1280 piksel dan satu kelas, yaitu ayam. Dataset terdiri atas 1,819 citra train (77.77%) dan 520 citra validation (22.23%), tanpa folder test independen. Total anotasi adalah 78,286 bounding box: 61,567 pada train dan 16,719 pada validation. Terdapat 121 citra tanpa objek yang berfungsi sebagai negative/background samples. Kepadatan objek berkisar 0–322 ayam/citra, dengan rata-rata 33.47 dan median 17.

Nama file dan struktur direktori menggunakan pola ekspor Roboflow (.rf.), sedangkan skripsi menyebut MakeSense.ai pada bagian anotasi. Urutan proses harus dikonfirmasi: apabila bounding box dibuat di MakeSense.ai lalu dataset dikelola atau diekspor melalui Roboflow, kedua platform dapat disebutkan dengan fungsi yang berbeda. Metadata nama file menunjukkan 28 tanggal pengambilan antara 8 Mei dan 12 Agustus 2024, waktu sekitar 04.00–22.55, dan 18 identitas kamera bernomor ditambah berkas rpicas. Sampel citra mencakup kondisi terang, redup, kepadatan rendah, dan kepadatan tinggi.

Parameter	Nilai penelitian
Jumlah citra keseluruhan	2,339 citra
Jumlah objek beranotasi	78,286 bounding box; satu kelas: ayam
Pembagian data	Train 1,819 (77.77%); validation 520 (22.23%); test: tidak tersedia
Sumber/periode metadata file	28 tanggal antara 8 Mei–12 Agustus 2024; waktu 04.00–22.55; 18 kamera bernomor + rpicas
Kondisi dan kepadatan	0–322 objek/citra; mean 33.47; median 17; 121 citra background
Anotasi dan format	Bounding box YOLO; struktur ekspor Roboflow; MakeSense.
Varian dan bobot awal	YOLOv8n pretrained; best.pt dari run train-9
Resolusi	Citra dataset 1280×1280 ; ukuran training 640×640 piksel
Konfigurasi training	100 epoch; batch 16; optimizer auto; lr0 0,01; lrf 0,01; momentum 0,937; weight decay 0,0005
Augmentasi	HSV h/s/v 0,015/0,7/0,4; translate 0,1; scale 0,5; horizontal flip 0,5; mosaic 1,0; erasing 0,4

Threshold/evaluasi	Inferensi conf 0,30; IoU validasi 0,70; mAP50 dan mAP50–95 dilaporkan pada validation
--------------------	---

Tabel 3 Ringkasan dataset dan konfigurasi model**Metrik evaluasi deteksi dan penghitungan**

Evaluasi model dilakukan pada validation set, sedangkan evaluasi jumlah ayam dilakukan melalui lima skenario penghitungan terpisah. True positive (TP) adalah ayam yang terdeteksi dengan kecocokan bounding box memenuhi batas IoU; false positive (FP) adalah deteksi tanpa pasangan ground truth; dan false negative (FN) adalah ayam aktual yang tidak terdeteksi. Precision, recall, dan F1-score dihitung sebagai berikut:

$$\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP})$$

$$\text{Recall} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN})$$

$$\text{F1} = 2 \times \text{Precision} \times \text{Recall} / (\text{Precision} + \text{Recall})$$

Kinerja lokalisasi dilaporkan menggunakan mAP@0.5 dan, apabila tersedia, mAP@0.5:0.95. Akurasi hitungan tidak boleh hanya disimpulkan dari mAP karena jumlah objek per citra juga dipengaruhi FP dan FN. Jumlah prediksi dibandingkan dengan jumlah aktual menggunakan mean absolute error (MAE) dan mean absolute percentage error (MAPE):

$$\text{MAE} = (1/n) \sum |\hat{y}_i - y_i|$$

$$\text{MAPE} = (100/n) \sum |(\hat{y}_i - y_i) / y_i|$$

Run train-9 memiliki 100 epoch dan waktu kumulatif 8144.88 detik. Berdasarkan fitness Ultralytics, epoch terbaik adalah epoch 99, dengan precision 96.57%, recall 96.34%, F1-score 96.45%, mAP@0.5 97.84%, dan mAP@0.5:0.95 68.71% pada validation. Karena dataset hanya memiliki train dan validation, nilai tersebut bukan hasil test independen. Reviewer masih memerlukan pengujian pada citra baru yang tidak digunakan dalam pemilihan model.

Pengujian sensor dan kontrol suhu

Probe STC-1000 dibandingkan dengan termometer referensi pada lima titik pembacaan. Nilai STC-1000 berada pada rentang 27,8–30,2 °C, sedangkan termometer referensi berada pada rentang 28,0–30,0 °C. Perhitungan ulang dari Tabel 5 skripsi menghasilkan MAE 0.14 °C, error maksimum 0.20 °C, dan MAPE 0.48%. Model dan akurasi termometer referensi, waktu stabilisasi, jumlah pengulangan pada setiap titik, serta posisi probe.

Kontrol suhu diuji pada 27,0; 27,5; 28,0; 28,5; dan 29,0 °C dengan set point 28 °C. Pada 27,0–27,5 °C lampu pijar aktif dan kipas tidak aktif; pada 28,0 °C kedua aktuatur tidak aktif; pada 28,5–29,0 °C kipas aktif dan lampu tidak aktif. Hysteresis/differential, interval sampling, durasi uji kontinu, suhu lingkungan luar, dan jumlah siklus aktuatur.

Data yang tersedia hanya membuktikan ketepatan pembacaan pada lima titik dan kebenaran logika ON/OFF pada lima kondisi suhu. Data tersebut belum cukup untuk menyimpulkan kestabilan suhu terhadap waktu karena tidak tersedia log bertimestamp, mean±SD selama operasi, persentase dalam rentang target, overshoot, settling time, dan jumlah siklus aktuatur.

Pengujian end-to-end, reliabilitas, dan efisiensi

Pengujian end-to-end yang tersedia membuktikan alur fungsional ESP32-CAM → HTTP capture → OpenCV → YOLOv8n → Telegram. Kode menggunakan confidence 0,30, timeout capture 10 detik, polling Telegram 10 detik, dan jeda loop 1 detik. Namun, fungsi kirim pesan dan kirim foto tidak memeriksa status HTTP atau menyimpan log berhasil/gagal. Karena tidak ada timestamp capture, selesai inference, request Telegram, dan penerimaan pengguna, latensi dan success rate belum dapat dihitung.

Efisiensi waktu diuji pada lima jumlah ayam, yaitu 10, 20, 30, 40, dan 50 ekor. Waktu manual berturut-turut 20, 35, 50, 70, dan 85 detik, sedangkan sistem membutuhkan 3, 4, 5, 6, dan 7 detik. Rata-rata penghematan waktu adalah 89.35%. Jumlah pengulangan per skenario, reliabilitas koneksi, jumlah notifikasi gagal, reconnect, dan uptime.

Analisis data

Data model dianalisis pada validation. Nilai terbaik adalah precision 96.57%, recall 96.34%, F1-score 96.45%, mAP@0.5 97.84%, dan mAP@0.5:0.95 68.71%. Pengujian hitungan lima skenario menghasilkan akurasi agregat 97.00%, MAE 0.60 ekor/citra, dan MAPE 3.00%. Pengujian suhu menghasilkan MAE 0.14

°C dan MAPE 0.48%. Analisis inferensial tidak dilakukan karena tidak tersedia replikasi yang memadai untuk pengujian lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi arsitektur sistem

Sistem terdiri atas ESP32-CAM sebagai node akuisisi citra dan streaming, komputer lokal sebagai node inferensi YOLOv8n menggunakan Python 3.10, OpenCV, dan Ultralytics, serta Telegram Bot sebagai antarmuka pengguna. Model best.pt menerima citra berukuran 640×640 piksel. Perintah /potret menghasilkan gambar dengan bounding box, jumlah ayam, dan waktu pengambilan; /jumlah menghasilkan informasi jumlah dalam bentuk teks; dan /live menghasilkan URL streaming. Subsistem suhu berjalan secara lokal melalui probe STC-1000, pengendali STC-1000, lampu pijar, dan kipas AC.

Arsitektur ini menegaskan bahwa inferensi YOLOv8n tidak dijalankan pada ESP32-CAM. Namun, spesifikasi komputer inferensi, resolusi kamera, protokol detail, latency, dan jalur pengiriman suhu ke Telegram/web belum tersedia. Karena itu, hasil artikel dibatasi pada deteksi/penghitungan melalui Telegram dan pengendalian suhu lokal.

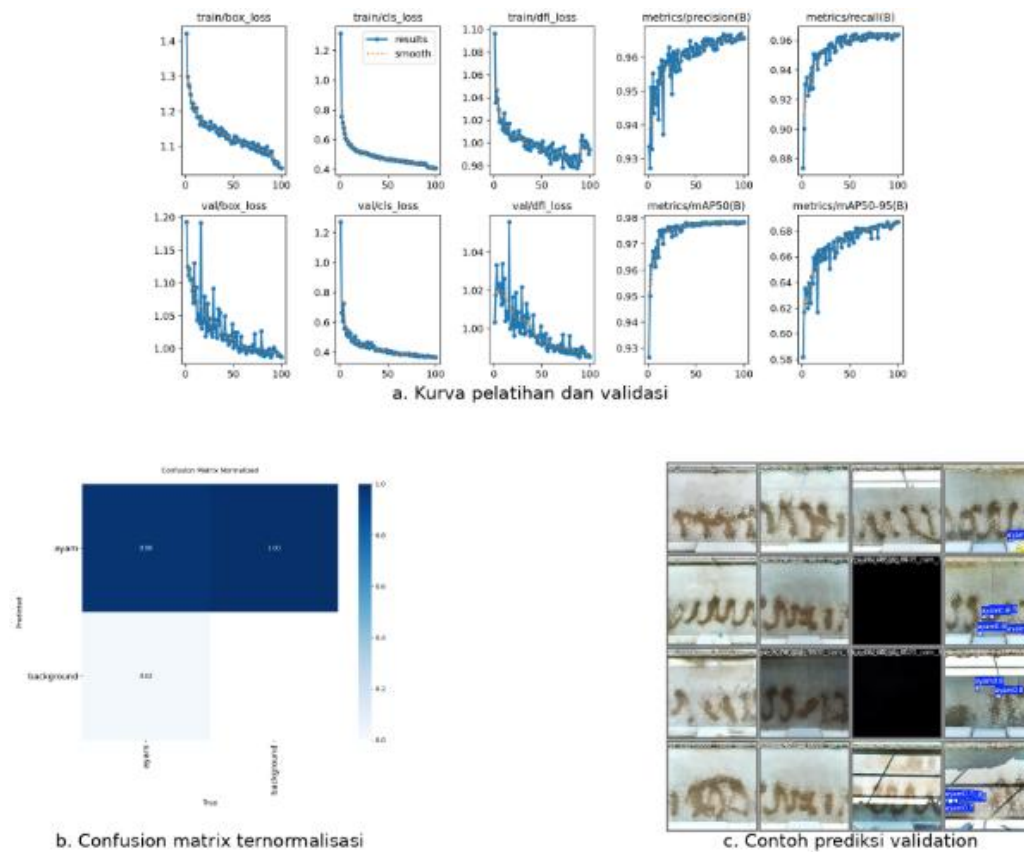
Kinerja deteksi dan penghitungan ayam

No.	Jumlah aktual (ekor)	Hasil deteksi (ekor)	Error absolut (ekor)	Akurasi (%)	Keterangan
1	10	10	0	100,00	Sesuai
2	15	14	1	93,33	Kurang 1 ekor
3	20	19	1	95,00	Kurang 1 ekor
4	25	25	0	100,00	Sesuai
5	30	29	1	96,67	Kurang 1 ekor

Tabel 4 Hasil pengujian penghitungan ayam pada lima scenario

Kurva train-9 menunjukkan penurunan loss hingga epoch 100 dan stabilisasi metrik validation. Epoch 99 memberikan precision 96.57%, recall 96.34%, F1-score 96.45%, mAP@0.5 97.84%, dan mAP@0.5:0.95 68.71%. Nilai mAP@0.5:0.95 yang lebih rendah daripada mAP@0.5 menunjukkan bahwa lokalisasi bounding box menjadi lebih menantang ketika kriteria IoU diperketat. Pada lima pengujian hitungan terpisah, sistem mencapai akurasi agregat 97.00%, MAE 0.60 ekor/citra, dan MAPE 3.00%.

Dataset mencakup kepadatan 0–322 objek/citra dan contoh kondisi terang serta gelap. Matriks kebingungan ternormalisasi memperlihatkan sebagian kecil objek ayam masih diklasifikasikan sebagai background. Contoh prediksi validasi juga menunjukkan bahwa kepadatan tinggi dan tumpang tindih objek berpotensi meningkatkan false negative. Meskipun demikian, pengaruh pencahayaan dan occlusion belum dapat dibandingkan secara numerik karena citra belum diberi label kondisi.



Gambar 2 Kurva pelatihan dan validasi, confusion matrix ternormalisasi, serta contoh prediksi YOLOv8n pada data validation

Kinerja pengukuran dan kontrol suhu

No	STC-1000 (°C)	Referensi (°C)	Error absolut (°C)	Error (%)	Interpretasi
1	27,8	28,0	0,20	0,71	Selisih kecil
2	28,1	28,0	0,10	0,36	Selisih kecil
3	28,9	29,0	0,10	0,34	Selisih kecil
4	29,7	29,8	0,10	0,34	Selisih kecil
5	30,2	30,0	0,20	0,67	Selisih kecil

Tabel 5 Hasil kalibrasi pembacaan suhu STC-1000 terhadap termometer referensi

Rata-rata error persentase pada lima titik adalah 0.48% dan MAE sebesar 0.14 °C, dengan error maksimum 0.20 °C. Pengujian fungsi aktuator menunjukkan lampu ON pada 27,0 dan 27,5 °C, lampu dan kipas OFF pada 28,0 °C, serta kipas ON pada 28,5 dan 29,0 °C. Hasil ini membuktikan fungsi komparator set point, tetapi belum membuktikan kestabilan suhu selama periode operasi.

Grafik suhu ilustratif pada artikel awal harus dihapus. Grafik baru hanya dapat dibuat setelah tersedia data suhu bertimestamp yang memuat waktu, suhu STC-1000, suhu referensi, status lampu, dan status kipas. Tanpa data tersebut, mean±SD, overshoot, settling time, dan persentase dalam rentang target tidak dapat dihitung.

Latensi, reliabilitas, dan perbandingan waktu

Komponen/perintah	Jumlah uji yang dilaporkan	Hasil	Batas interpretasi
ESP32-CAM: pengambilan gambar	1 skenario	Berhasil	Uji fungsi; reliability belum diketahui

YOLOv8n: deteksi jumlah ayam	5 skenario hitung	Akurasi rata-rata 97,00%	Bukan uji lintas kondisi
Telegram /potret	1 skenario	Berhasil	Latency tidak dicatat
Telegram /jumlah	1 skenario	Berhasil	Latency tidak dicatat
Telegram /live	1 skenario	Berhasil	Uptime streaming tidak dicatat

Tabel 6 Hasil pengujian fungsi end-to-end dan batas interpretasinya

Jumlah ayam (ekor)	Manual (detik)	Sistem (detik)	Penghematan waktu (%)	Catatan	Jumlah ayam (ekor)
10	20	3	85,00	Satu nilai per skenario	10
20	35	4	88,57	Satu nilai per skenario	20
30	50	5	90,00	Satu nilai per skenario	30
40	70	6	91,43	Satu nilai per skenario	40
50	85	7	91,76	Satu nilai per skenario	50
Rata-rata	52,00 ± 26,12	5,00 ± 1,58	89,35	SD antar lima skenario	Rata-rata

Tabel 7 Perbandingan waktu penghitungan manual dan otomatis

Waktu manual rata-rata adalah 52.00 ± 26.12 detik, sedangkan waktu sistem 5.00 ± 1.58 detik. Penghematan waktu rata-rata mencapai 89.35%. Namun, data latency capture–inferensi–Telegram, success rate dari pengujian berulang, uptime, dan reconnect belum tersedia. Oleh karena itu, artikel dapat menyatakan sistem lebih cepat pada lima skenario pengujian, tetapi belum dapat menyatakan reliabilitas real-time secara umum.

Keterbatasan penelitian

Keterbatasan penelitian mencakup tidak adanya test set independen, sehingga metrik model hanya menggambarkan validation set yang juga digunakan selama pengembangan. Spesifikasi komputer inferensi dan versi lingkungan perangkat lunak belum terdokumentasi. Kondisi pencahayaan dan occlusion belum diberi label untuk analisis per skenario. Pengujian suhu belum memiliki log bertimestamp dan hysteresis STC-1000 belum dilaporkan. Kode Telegram belum melakukan pencatatan latency, success rate, uptime, atau reconnect. Selain itu, kredensial Telegram pernah ditulis langsung dalam source code dan harus dipindahkan ke environment variable serta diganti sebelum sistem digunakan kembali.

KESIMPULAN

Sistem berhasil mengintegrasikan ESP32-CAM sebagai node akuisisi, komputer lokal sebagai node inferensi YOLOv8n, Telegram Bot sebagai antarmuka, dan STC-1000 sebagai pengendali suhu lokal. Dataset terdiri atas 2.339 citra dan 78.286 anotasi, dengan 1.819 citra train dan 520 citra validation. Pada epoch terbaik, validation precision, recall, F1-score, mAP@0.5, dan mAP@0.5:0.95 masing-masing mencapai 96,57%, 96,34%, 96,45%, 97,84%, dan 68,71%. Lima pengujian hitungan menghasilkan akurasi agregat 97,00%, MAE 0,60 ekor/citra, dan MAPE 3,00%, sedangkan penghitungan otomatis menghemat waktu rata-rata 89,35%. Kalibrasi suhu menghasilkan MAE 0,14 °C dan logika aktuator bekerja pada set point 28 °C. Namun, generalisasi model dan klaim real-time belum dapat dinyatakan sebelum dilakukan pengujian test independen, pencatatan latency/reliabilitas, serta pengujian suhu bertimestamp.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aryunita, F., Rasjid, N., & Mansyur, M. F. (2024). Rancang bangun sistem monitoring keamanan kandang ayam broiler menggunakan ESP32-CAM berbasis IoT dengan aplikasi Android. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3699>
- [2] Astill, J., Dara, R. A., Fraser, E. D. G., Roberts, B., & Sharif, S. (2020). Smart poultry management: Smart sensors, big data, and the internet of things. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105291. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105291>
- [3] Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6>
- [4] Brassó, L. D., Komlósi, I., & Várszegi, Z. (2025). Modern technologies for improving broiler production and welfare: A review. *Animals*, 15(4), 493. <https://doi.org/10.3390/ani15040493>
- [5] Espressif Systems. (2025). ESP32 Series Datasheet (Version 5.2).
- [6] Guo, Y., Aggrey, S. E., Yang, X., Oladeinde, A., Qiao, Y., & Chai, L. (2023). Detecting broiler chickens on litter floor with the YOLOv5-CBAM deep learning model. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 9, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2023.08.002>
- [7] Li, X., Zhao, Z., Wu, J., Huang, Y., Wen, J., Sun, S., Xie, H., Sun, J., & Gao, Y. (2022). Y-BGD: Broiler counting based on multi-object tracking. *Computers and Electronics in Agriculture*, 202, 107347. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107347>
- [8] Ojo, R. O., Ajayi, A. O., Owolabi, H. A., Oyedele, L. O., & Akanbi, L. A. (2022). Internet of Things and Machine Learning techniques in poultry health and welfare management: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 200, 107266. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107266>
- [9] Oluwagbenga, E. M., & Fraley, G. S. (2023). Heat stress and poultry production: A comprehensive review. *Poultry Science*, 102(12), 103141. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103141>
- [10] Pereira, W. F., Fonseca, L. S., Putti, F. F., Góes, B. C., & Naves, L. P. (2020). Environmental monitoring in a poultry farm using an instrument developed with the Internet of Things concept. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105257. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105257>
- [11] Rohman, G. A., & Isnaini, A. R. (2025). Otomatisasi pengendalian suhu dan kelembaban berbasis Internet of Things pada kandang ayam potong. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(2), 558–565. <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i2.1686>
- [12] Ultralytics. (2023). Ultralytics YOLOv8 [Computer software and documentation].