

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberhasilan proses penetasan telur bebek sangat bergantung pada kemampuan dalam mengidentifikasi telur fertil dan infertil sejak awal sebelum proses inkubasi (Muthia dkk., 2021). Telur fertil merupakan telur yang telah mengalami pembuahan sehingga mengandung embrio yang berkembang dan berpotensi menetas, sedangkan telur infertil adalah telur yang tidak mengalami pembuahan dan tidak memiliki embrio sehingga tidak dapat berkembang (Ghaderi dkk., 2024). Kesalahan dalam proses seleksi dapat menyebabkan telur infertil tetap diinkubasi sehingga menurunkan efisiensi penetasan, meningkatkan risiko kematian embrio, serta berpotensi menimbulkan kontaminasi pada telur lain yang sedang berkembang (Putri Lestari dkk., 2021) (Rahmawati dkk., 2021).

Kebutuhan akan identifikasi embrio yang akurat semakin meningkat seiring dengan meningkatnya produksi telur bebek di Indonesia. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa produksi telur bebek nasional meningkat dari 344 ribu ton pada tahun 2021 menjadi 358 ribu ton pada tahun 2023 (Irfan, 2024). Peningkatan ini menyebabkan semakin banyak telur yang masuk ke tahap penetasan, sehingga diperlukan metode seleksi embrio yang cepat, akurat, dan efisien untuk mendukung produktivitas industri peternakan.

Identifikasi embrio telur bebek umumnya dilakukan menggunakan metode *candling*, yaitu teknik peneropongan telur dengan menyorotkan cahaya ke arah

cangkang untuk mengamati kondisi bagian dalam telur (Apriliansah dkk., 2023). Telur fertil biasanya menunjukkan bayangan embrio atau pola pembuluh darah, sedangkan telur infertil tampak terang dan homogen (Garcia & Magwili, 2021).

Metode *candling* dilakukan dengan bantuan alat peneropongan berupa sumber cahaya dan hingga saat ini masih menjadi metode paling umum digunakan oleh peternak karena bersifat sederhana, cepat, dan tidak merusak telur (Aryo dkk., 2020). Meskipun telah tersedia beberapa alat *candling* yang lebih canggih, seperti *candling* berbasis kamera atau sensor khusus, penerapannya di lapangan masih terbatas karena faktor biaya, kompleksitas penggunaan, serta ketergantungan pada interpretasi visual manusia (Apriliansah dkk., 2023). Selain itu, pada telur bebek yang memiliki cangkang lebih tebal dan berwarna gelap, serta pada fase awal perkembangan embrio, perbedaan intensitas cahaya antara embrio dan bagian putih telur cenderung rendah sehingga embrio sering tampak samar meskipun telah menggunakan alat *candling* (Cai dkk., 2025). Kondisi pencahayaan yang tidak merata dan keterbatasan alat dalam meningkatkan kontras secara adaptif menyebabkan hasil pengamatan sangat bergantung pada pengalaman dan ketelitian peternak. Akibatnya, tingkat akurasi metode *candling* manual masih berkisar antara 70%–85% (Aryo dkk., 2020) (Ramadhan dkk., 2021). Hal ini kurang efisien untuk skala produksi besar, terutama ketika pemeriksaan dilakukan secara manual satu per satu (Hall dkk., 2023) (Hasiri dkk., 2025).

Permasalahan utama pada citra hasil *candling* terletak pada rendahnya kontras visual antara embrio dan bagian putih telur, terutama pada fase awal perkembangan embrio. Struktur embrio dan pembuluh darah sering kali tampak samar akibat distribusi intensitas cahaya yang tidak merata, perbedaan ketebalan cangkang, serta variasi warna cangkang telur (Saifullah, 2020). Kondisi ini menyebabkan fitur embrio sulit dikenali secara jelas, baik oleh pengamat manusia maupun oleh sistem berbasis pengolahan citra, sehingga diperlukan teknik *preprocessing* yang mampu meningkatkan kualitas visual citra tanpa menghilangkan detail penting embrio.

Salah satu teknik *preprocessing* yang dinilai efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE). Teknik ini meningkatkan kontras citra secara lokal dan membatasi penguatan kontras berlebihan sehingga mampu menekan *noise*. Pada citra *candling*, CLAHE berpotensi memperjelas pola embrio dan pembuluh darah yang sebelumnya sulit terlihat akibat variasi pencahayaan (Saifullah dkk., 2022). Penelitian oleh (Paloloang dkk., 2025) menunjukkan bahwa penerapan CLAHE pada citra *candling* telur ayam mampu meningkatkan kejelasan struktur embrio. Namun, penelitian tersebut menggunakan pendekatan klasifikasi citra dan objek yang diteliti adalah telur ayam, yang memiliki karakteristik cangkang berbeda dengan telur bebek. Oleh karena itu, efektivitas CLAHE pada citra *candling* telur bebek, khususnya dalam konteks deteksi objek, masih perlu dikaji lebih lanjut.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mendukung otomatisasi deteksi embrio telur berbasis *deep learning*. Penelitian oleh (Flores, 2026) menunjukkan

bahwa YOLOv11 mampu mendeteksi telur fertil dan infertil secara akurat menggunakan citra *candling* dengan nilai mAP50–95 yang tinggi. Selain itu, (Arihta dkk., 2025) mengembangkan sistem deteksi fertilitas telur menggunakan YOLOv8 dengan evaluasi metrik *precision*, *recall*, dan mAP. Meskipun menunjukkan performa yang baik, kedua penelitian tersebut masih berfokus pada telur ayam dan belum mengkaji pengaruh preprocessing *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE). Oleh karena itu, penerapan YOLO versi terbaru yang dikombinasikan dengan CLAHE pada citra *candling* telur bebek yang memiliki karakteristik cangkang lebih gelap dan tebal masih perlu diteliti lebih lanjut.

Seiring perkembangan teknologi *deep learning*, algoritma deteksi objek modern seperti YOLO (*You Only Look Once*) menawarkan kemampuan deteksi objek yang cepat dan akurat secara *real-time*. YOLO melakukan prediksi lokasi dan kelas objek secara langsung dalam satu tahap, sehingga lebih efisien dibandingkan metode deteksi dua tahap dan sesuai untuk aplikasi industri dengan kebutuhan kecepatan tinggi (Setiawan & Setyanto, 2024) (Ramadhani & Widyaningrum, 2025).

Model YOLOv11 dipilih dalam penelitian ini karena memiliki arsitektur yang lebih efisien dan kemampuan ekstraksi fitur yang lebih baik dibandingkan versi YOLO sebelumnya (Khanam & Hussain, 2024). YOLOv11 dirancang untuk meningkatkan sensitivitas terhadap objek berukuran kecil dan berkontras rendah, sehingga relevan untuk mendeteksi embrio pada citra *candling* telur bebek. Meskipun demikian, performa YOLOv11 sangat dipengaruhi oleh konfigurasi

model dan teknik *preprocessing* yang digunakan. YOLOv11s memiliki kapasitas fitur yang lebih besar, sedangkan YOLOv11n lebih ringan dan efisien secara komputasi (Gede dkk., 2025). Di sisi lain, peningkatan kontras menggunakan CLAHE tidak selalu memberikan hasil yang konsisten pada setiap arsitektur model, sehingga perlu dilakukan pengujian secara empiris (Saifullah & Kunci, 2019) (Saifullah, 2020).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan penerapan model YOLOv11 untuk mendeteksi embrio telur bebek menggunakan citra *candling*. Penelitian ini menerapkan teknik *preprocessing* CLAHE pada sebagian dataset serta membandingkan beberapa eksperimen model YOLOv11, yaitu YOLOv11n dan YOLOv11s, baik dengan maupun tanpa CLAHE, untuk menentukan kombinasi arsitektur dan *preprocessing* yang menghasilkan performa deteksi embrio paling optimal dari segi akurasi dan efisiensi komputasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan dalam penelitian ini, yaitu:

- a. Bagaimana penerapan model YOLOv11 untuk mendeteksi embrio telur bebek berdasarkan citra hasil *candling*?
- b. Bagaimana perbandingan performa beberapa eksperimen model YOLOv11 (YOLOv11n dan YOLOv11s), baik dengan maupun tanpa penerapan CLAHE, berdasarkan metrik evaluasi *precision*, *recall*, *accuracy*, mAP50, dan mAP50–95?

- c. Bagaimana pengaruh penerapan teknik *preprocessing Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) terhadap performa deteksi embrio telur bebek pada masing-masing eksperimen model YOLOv11?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah , maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menerapkan model YOLOv11 untuk melakukan deteksi embrio telur bebek berdasarkan citra hasil *candling*.
- b. Membandingkan performa seluruh eksperimen model YOLOv11, baik dengan maupun tanpa *preprocessing* CLAHE, menggunakan metrik evaluasi *precision*, *recall*, *accuracy*, *mAP50*, dan *mAP50–95* untuk menentukan model yang menghasilkan kinerja deteksi embrio telur bebek paling optimal.
- c. Menganalisis pengaruh penerapan *preprocessing* CLAHE terhadap kinerja masing-masing eksperimen model YOLOv11 dalam mendeteksi embrio telur bebek.

1.4 Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi *computer vision* di bidang peternakan, khususnya dalam deteksi embrio telur bebek berbasis *deep learning* menggunakan algoritma YOLOv11.

- b. Menjadi referensi dan dasar pengembangan sistem otomatis yang dapat membantu peternak dalam mendeteksi embrio telur bebek dengan lebih cepat, efisien, dan objektif dibandingkan metode *candling* manual.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan, antara lain:

- a. Penelitian ini hanya berfokus pada deteksi dan klasifikasi telur bebek menjadi dua kategori, yaitu fertil dan infertil, berdasarkan citra hasil *candling*.
- b. Dataset yang digunakan terdiri dari 224 citra telur bebek hasil pemotretan langsung menggunakan kamera beresolusi 12 *megapixel* dengan bantuan alat *candling*.
- c. Proses *preprocessing* yang digunakan terbatas pada *resize*, augmentasi, serta penerapan CLAHE untuk peningkatan kualitas citra.
- d. Model yang digunakan adalah YOLOv11 dengan dua varian arsitektur, yaitu YOLOv11s dan YOLOv11n, yang dibandingkan dalam empat skenario pelatihan.