



INOVASI DEEP LEARNING DALAM HATCHERY

*Klasifikasi Embrio Telur Bebek Melalui
Pengolahan Citra Candling*

Penulis:

Ir. Andi Nur Rachman, S.T., M.T.

Euis Nur Fitriani Dewi, S.T., M.Kom.

Ir. Rahmi Nur Shofa, S.T., M.T.

Zulfi Septia Anzana

INOVASI DEEP LEARNING DALAM HATCHERY

**Klasifikasi Embrio Telur Bebek Melalui
Pengolahan Citra Candling**

**Ir. Andi Nur Rachman, S.T., M.T.
Euis Nur Fitriani Dewi, S.T., M.Kom.
Ir. Rahmi Nur Shofa, S.T., M.T.
Zulfi Septia Anzana**

INOVASI DEEP LEARNING DALAM HATCHERY

**Klasifikasi Embrio Telur Bebek Melalui
Pengolahan Citra Candling**

Penulis:

Ir. Andi Nur Rachman, S.T., M.T.
Euis Nur Fitriani Dewi, S.T., M.Kom.
Ir. Rahmi Nur Shofa, S.T., M.T.
Zulfi Septia Anzana

Tata Letak : Lilis Khalisatul Karimah, S.H.
Desain Cover : Septimike Yourintan Mutiara, S.Gz.
Ukuran : UNESCO 15,5 x 23 cm
Halaman : vii + 92
ISBN : 978-634-7021-98-4
Terbit Pada : Desember 2025
Anggota IKAPI : No. 073/BANTEN/2023

Hak Cipta 2025 @ Sada Kurnia Pustaka dan Penulis

Hak cipta dilindungi undang-undang dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit dan penulis.

PENERBIT PT SADA KURNIA PUSTAKA

Jl. Warung Selikur Km.6 Sukajaya – Carenang, Kab. Serang Banten
Email : sadapenerbit@gmail.com
Website : sadapenerbit.com & repository.sadapenerbit.com
Telpon/WA : +62 838 1281 8431

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah *Subhanahu wa Ta'ala*, atas limpahan rahmat, taufik, dan karunia-Nya sehingga buku berjudul *Inovasi Deep learning dalam Hatchery: Klasifikasi Embrio Telur Bebek Melalui Pengolahan Citra Candling* ini dapat terselesaikan dengan baik. Buku ini hadir sebagai respons terhadap pesatnya perkembangan teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dan kebutuhan industri penetasan modern untuk memperoleh sistem identifikasi embrio yang lebih akurat, efisien, dan konsisten. Seiring meningkatnya permintaan produk unggas dan semakin kompetitifnya sektor peternakan di Indonesia, proses penetasan tidak lagi dapat bergantung pada metode manual yang memiliki keterbatasan pada aspek akurasi, kecepatan, serta subjektivitas penilaian.

Candling sebagai teknik tradisional memang telah digunakan selama puluhan tahun, namun ketergantungannya pada pengalaman operator membuat proses ini rentan terhadap kesalahan identifikasi, terutama pada fase awal perkembangan embrio yang ditandai pola visual halus dan kontras rendah. Dalam konteks industri penetasan berskala besar, kesalahan dalam membedakan telur fertil dan infertil dapat menimbulkan konsekuensi serius, seperti inefisiensi penggunaan ruang inkubator, peningkatan risiko kontaminasi, serta kerugian finansial akibat menurunnya tingkat keberhasilan penetasan. Tantangan inilah yang menjadi dasar pentingnya inovasi berbasis teknologi untuk meningkatkan kualitas proses seleksi telur secara lebih ilmiah, konsisten, dan terstandar.

Buku ini disusun untuk memberikan landasan teoretis, metodologis, sekaligus aplikasi praktis terkait bagaimana teknologi *deep learning* khususnya model deteksi objek generasi terbaru seperti YOLOv11 dapat dimanfaatkan dalam mengotomatisasi proses identifikasi embrio melalui citra *candling*. Dengan pendekatan ini, proses deteksi embrio dapat dilakukan secara cepat,

presisi, dan objektif tanpa ketergantungan pada persepsi visual manusia. Penggabungan teknik *preprocessing* citra seperti CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) dengan kemampuan ekstraksi fitur multi-skala dari YOLOv11 menghasilkan sistem yang mampu menangani kompleksitas visual citra *candling*, mulai dari variasi pencahayaan, noise, hingga struktur embrio berukuran kecil yang sulit terlihat secara kasat mata.

Selain memaparkan konsep *deep learning* dan visi komputer secara komprehensif, buku ini juga menyajikan rangkaian proses penelitian mulai dari akuisisi dataset, pelabelan citra, desain eksperimen, pelatihan model, evaluasi performa, hingga implementasi sistem deteksi otomatis. Seluruh tahapan disusun secara sistematis agar dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, akademisi, serta praktisi industri yang ingin memahami proses pengembangan model klasifikasi embrio berbasis citra maupun mengembangkan sistem *candling* otomatis pada skala industri. Dengan demikian, buku ini tidak hanya berfungsi sebagai literatur ilmiah, tetapi juga sebagai pedoman aplikatif untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi pada unit-unit hatchery modern.

Kami berharap kehadiran buku ini dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi peternakan berbasis digital di Indonesia. Penerapan kecerdasan buatan dalam dunia peternakan bukanlah sekadar tren, tetapi sebuah kebutuhan strategis untuk menjawab tantangan industri pangan masa depan. Inovasi ini membuka peluang peningkatan produktivitas, efisiensi energi inkubator, hingga penghematan biaya operasional melalui identifikasi embrio yang lebih akurat sejak awal. Selaras dengan visi transformasi digital nasional, kami yakin pengembangan teknologi seperti ini akan menjadi bagian penting dalam mendukung ketahanan pangan serta meningkatkan daya saing industri unggas lokal di era global.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan, masukan, serta dorongan selama proses penyusunan buku ini. Terima kasih khusus kami sampaikan kepada tim akademik, peneliti, dan para profesional di bidang kecerdasan buatan serta peternakan yang telah memberikan kontribusi pemikiran dan diskusi yang memperkaya substansi buku

ini. Penghargaan juga kami tujukan kepada pihak penerbit yang telah membantu proses produksi hingga buku ini dapat diterbitkan dengan kualitas terbaik. Semoga kerja sama ini dapat terus berlanjut dalam pengembangan karya-karya ilmiah berikutnya.

Kami menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan dan ruang perbaikan. Oleh karena itu, kami sangat terbuka terhadap kritik dan saran konstruktif dari para pembaca demi penyempurnaan edisi berikutnya. Besar harapan kami agar buku ini dapat menjadi referensi bagi peneliti, pendidik, mahasiswa, pelaku industri hatchery, serta pihak-pihak yang tertarik pada penerapan artificial intelligence dalam bidang peternakan. Semoga karya ini memberikan manfaat seluas-luasnya, mendorong inovasi lebih lanjut, dan menjadi bagian kecil dalam upaya meningkatkan kualitas riset serta teknologi di Indonesia.

Akhir kata, semoga buku ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang kecerdasan buatan dan teknologi peternakan. Semoga Allah Subhanahu wa Ta'ala senantiasa memberikan kemudahan dan keberkahan bagi setiap upaya yang kita lakukan dalam menebarkan ilmu dan kebaikan.

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
BAB 1 PONDASI KECERDASAN BUATAN DALAM OPTIMASI INDUSTRI PENETASAN	1
Urgensi dan Dampak Kualitas Telur dalam Industri Peternakan	1
Meninjau Solusi Otomasi Keterbatasan dan Kebutuhan Inovasi	4
Fondasi Solusi Visi Komputer CLAHE dan Evolusi YOLO	6
Tujuan Komprehensif dan Kontribusi Akademik	9
BAB 2 DASAR BIOLOGI DAN KUALITAS TELUR BEBEK	12
Struktur Biologis Telur Bebek	12
Kualitas Embrio Telur dan Indikator Visual	15
BAB 3 FONDASI VISI KOMPUTER DAN <i>DEEP LEARNING</i>	20
Analisis Citra Digital dan Teknik <i>Preprocessing</i>	20
Konsep <i>Deep learning</i> dan Arsitektur YOLO	23
Mekanisme Kerja Algoritma YOLO (<i>You Only Look Once</i>)	27
Metrik Evaluasi Kinerja Model	31
BAB 4 PERKEMBANGAN TEKNOLOGI DETEKSI EMBRIO BERBASIS CITRA <i>CANDLING</i>	33
Evolusi Teknik Identifikasi Embrio	33
Perkembangan Metode Berbasis <i>Machine Learning</i>	35
Transformasi ke <i>Deep Learning</i>	36
Munculnya Deteksi Berbasis YOLO (<i>You Only Look Once</i>)	37
Optimalisasi Pemrosesan Citra dan Dataset	38
Arah Perkembangan Sistem Deteksi Embrio	40
Rancangan Pendekatan	42
Alat dan Bahan Pengembangan Sistem	43
Alur Pengembangan Sistem	44
BAB 6 METODE AKUISISI DATA DAN OPTIMASI KUALITAS CITRA	53
Metode Akuisisi Data dan Struktur Dataset	53
Strategi Optimasi Kualitas Citra	56

BAB 7 PEMROSESAN DATA DAN DESAIN EKSPERIMEN MODEL YOLOv11	58
Pelabelan Dataset.....	58
<i>Preprocessing</i> dan Augmentasi.....	62
Pembagian Dataset.....	63
BAB 8 PELATIHAN DAN ANALISIS KINERJA SISTEM DETEKSI	66
Model Pelatihan (<i>Training Model</i>)	66
Evaluasi Model	69
BAB 9 PERANCANGAN DAN INTEGRASI SISTEM OTOMATIS	83
DAFTAR PUSTAKA	85
PROFIL PENULIS	89

BAB 1

PONDASI KECERDASAN BUATAN DALAM OPTIMASI INDUSTRI PENETASAN

Urgensi dan Dampak Kualitas Telur dalam Industri Pernakan

Telur bebek merupakan salah satu komoditas pangan hewani yang memiliki nilai ekonomi tinggi serta berperan penting dalam mendukung kebutuhan nutrisi masyarakat Indonesia. Selain dikonsumsi sebagai bahan pangan harian, telur bebek juga menjadi komponen strategis dalam industri pengolahan makanan, seperti pembuatan kue, roti, mie, pastry, dan berbagai kuliner tradisional. Peningkatan konsumsi pangan bergizi serta pertumbuhan pesat industri kuliner modern telah mendorong permintaan telur bebek secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi telur bebek nasional menunjukkan tren peningkatan dari 344 ribu ton pada tahun 2021, menjadi 349 ribu ton pada tahun 2022, dan kembali naik mencapai 358 ribu ton pada tahun 2023 (Irfan, 2024). Tren positif ini menegaskan bahwa subsektor peternakan bebek petelur memiliki peluang ekonomi yang besar sekaligus menjadi sumber pendapatan penting bagi masyarakat, khususnya pada wilayah pedesaan dan sentra peternakan tradisional.

Dalam aktivitas usaha pembibitan bebek, proses penetasan telur merupakan tahapan yang sangat menentukan keberhasilan produksi. Tingkat keberhasilan penetasan sangat dipengaruhi oleh kualitas

embrio dalam telur tetas. Telur fertil merupakan telur yang mengandung embrio yang siap berkembang dan memiliki potensi menetas, sedangkan telur infertil merupakan telur tanpa embrio yang tidak akan mengalami perkembangan selama proses inkubasi (Ghaderi dkk., 2024). Identifikasi perbedaan ini menjadi langkah krusial karena keberadaan telur infertil dalam mesin inkubator dapat menurunkan efisiensi penetasan secara signifikan. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan penetasan telur bebek secara umum hanya berkisar antara 60% hingga 70%, yang sebagian besar dipengaruhi oleh jumlah telur infertil serta manajemen inkubasi yang kurang optimal (Abd El-Hack dkk., 2019). Hal ini menunjukkan bahwa manajemen kualitas telur sebelum inkubasi merupakan faktor penentu yang tidak dapat diabaikan.

Telur infertil yang tetap diinkubasi bukan hanya menyebabkan penggunaan ruang inkubator menjadi tidak efektif, tetapi juga berpotensi menimbulkan kontaminasi. Pembusukan telur infertil di dalam inkubator dapat menghasilkan gas dan cairan yang mencemari lingkungan inkubasi, sehingga mengganggu perkembangan telur fertil lainnya. Kondisi ini dapat memunculkan risiko kegagalan penetasan dalam jumlah yang lebih besar. Mengingat proses inkubasi telur bebek membutuhkan waktu sekitar 28 hari, identifikasi embrio sejak fase awal inkubasi menjadi aspek yang sangat penting agar peternak dapat memaksimalkan kinerja mesin dan meminimalkan biaya operasional. Kesalahan dalam identifikasi embrio akan berdampak pada meningkatnya jumlah telur gagal tetas, meningkatnya konsumsi energi inkubator secara tidak perlu, serta terjadinya kerugian ekonomi yang cukup besar bagi peternak (Putri Lestari dkk., 2021).

Salah satu metode yang paling umum digunakan dalam identifikasi embrio adalah metode *candling*, yaitu teknik menyinari telur menggunakan sumber cahaya khusus untuk melihat kondisi internal telur. Melalui metode ini, operator dapat mengamati perkembangan pembuluh darah, bayangan embrio, maupun aktivitas pergerakan embrio di dalam cangkang. Metode ini relatif sederhana, tidak merusak telur, dan mudah diterapkan baik pada skala kecil maupun skala besar. Namun demikian, *candling* memiliki kelemahan yang cukup signifikan, terutama dari aspek ketergantungan pada

keterampilan dan pengalaman operator. Akurasi teknik *candling* manual dalam praktik umum hanya berada pada kisaran 70% hingga 85% (Ramadhan dkk., 2021), sehingga masih terdapat peluang kesalahan deteksi yang cukup besar. Kelemahan ini menjadi hambatan utama, terutama pada industri penetasan modern yang menangani ribuan telur sekaligus dalam satu siklus produksi.

Selain aspek akurasi, metode *candling* manual juga menghadapi kendala efisiensi waktu. Proses pemeriksaan telur satu per satu membutuhkan waktu yang panjang dan tenaga kerja yang terampil, sehingga sulit diterapkan secara optimal pada skala produksi besar. Dalam konteks industri yang menuntut produktivitas tinggi dan tingkat kesalahan minimal, keterbatasan metode *candling* tradisional semakin mempertegas perlunya inovasi dalam proses identifikasi embrio. Dengan meningkatnya adopsi teknologi digital dalam industri peternakan unggas, penggunaan pendekatan berbasis citra (*image-based analysis*) dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) menjadi salah satu solusi potensial untuk mengatasi kendala yang ada.

Teknologi seperti *deep learning* dan computer vision memiliki kemampuan untuk mengenali pola visual secara otomatis, bahkan pada kondisi pencahayaan yang kompleks seperti pada gambar *candling*. Berbagai penelitian terbaru menunjukkan bahwa model deteksi objek berbasis YOLO (*You Only Look Once*) mampu memberikan hasil klasifikasi yang cepat dan akurat dibandingkan metode manual. Dengan pemanfaatan teknologi ini, proses identifikasi embrio pada telur bebek dapat dilakukan secara otomatis, konsisten, dan dalam waktu yang jauh lebih singkat. Tantangan akurasi akibat faktor subjektivitas manusia dapat dikurangi secara signifikan, sehingga tingkat keberhasilan penetasan dapat ditingkatkan secara keseluruhan.

Oleh karena itu, pengembangan sistem identifikasi embrio berbasis *deep learning* tidak hanya menjadi solusi inovatif bagi permasalahan *candling* manual, tetapi juga berpotensi meningkatkan efisiensi produksi, meminimalkan biaya operasional, serta memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas sektor peternakan bebek di Indonesia.

Meninjau Solusi Otomasi Keterbatasan dan Kebutuhan Inovasi

Keterbatasan tersebut mendorong perlunya inovasi dalam bentuk sistem deteksi embrio otomatis berbasis teknologi digital. Sistem otomatis memberikan peluang besar untuk meningkatkan efisiensi proses penetasan melalui identifikasi embrio yang lebih cepat, konsisten, dan bebas dari subjektivitas manusia. Berbeda dengan metode *candling* manual yang sangat bergantung pada pengalaman operator, sistem otomatis mampu melakukan analisis citra secara objektif dengan standar evaluasi yang sama pada setiap sampel. Hal ini menjadi sangat relevan dalam konteks industri penetasan modern yang menuntut akurasi tinggi, waktu pemrosesan cepat, dan kemampuan menangani ribuan telur dalam satu siklus inkubasi. Dengan demikian, penerapan teknologi digital tidak hanya meningkatkan ketepatan identifikasi, tetapi juga berdampak langsung pada peningkatan efisiensi energi inkubator, optimalisasi ruang mesin, serta pengurangan kerugian ekonomi akibat telur infertil yang tetap dipertahankan selama inkubasi.

Kajian literatur menunjukkan bahwa dalam dua dekade terakhir, berbagai inovasi telah dilakukan untuk mengotomatisasi proses deteksi embrio pada telur unggas. Salah satu penelitian awal dilakukan oleh Indra dkk. (2018b) yang mengembangkan sistem klasifikasi embrio telur itik menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) berbasis Raspberry Pi. Pendekatan ini menjadi tonggak penting karena membuktikan bahwa data citra hasil *candling* dapat digunakan sebagai dasar klasifikasi otomatis. Meskipun demikian, sistem ini masih memiliki sejumlah keterbatasan. Ketergantungan pada *preprocessing* manual, seperti pengaturan intensitas cahaya dan penempatan telur pada posisi tertentu, membuat hasil klasifikasi kurang stabil ketika kondisi pencahayaan berubah. Selain itu, model ANN yang digunakan relatif sederhana sehingga performanya cenderung menurun ketika dihadapkan pada variasi tekstur cangkang, perbedaan tingkat transparansi telur, ataupun noise pada citra. Pada praktiknya, sistem ini sulit diimplementasikan dalam skala industri yang menuntut kecepatan pemrosesan real-time dan akurasi yang konsisten.

Upaya lain dilakukan oleh Astuti dkk. (2025) yang memanfaatkan sensor infrared serta analisis citra berbasis ruang warna HSV untuk membedakan telur fertil dan infertil. Metode ini berangkat dari gagasan bahwa penggunaan panjang gelombang infrared dapat memperjelas struktur internal telur, seperti embrio dan pembuluh darah, sehingga lebih mudah dideteksi. Penggunaan ruang warna HSV juga memungkinkan pemisahan pencahayaan dan warna secara lebih efektif dibandingkan ruang warna RGB tradisional. Namun, hasil kajian menunjukkan bahwa performa sistem tersebut masih sangat sensitif terhadap perubahan intensitas cahaya, suhu lingkungan, dan sudut penyinaran. Ketika kondisi lingkungan tidak konsisten, akurasi sistem menurun cukup signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa kendala utama pada pendekatan berbasis sensor optik dan analisis citra klasik adalah kurangnya kemampuan adaptasi terhadap variasi kondisi nyata yang sering muncul dalam proses *candling* industri.

Keterbatasan pada kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengembangan sistem deteksi embrio yang handal membutuhkan pendekatan yang lebih canggih dalam hal ekstraksi fitur dan normalisasi citra. Pada metode konvensional, fitur harus ditentukan secara manual, sehingga rentan terhadap noise dan perubahan lingkungan. Sebaliknya, teknologi *deep learning* khususnya model *convolutional neural network* (CNN) memiliki kemampuan untuk melakukan ekstraksi fitur secara otomatis dan adaptif, bahkan dalam kondisi pencahayaan atau tekstur yang kompleks. Hal ini memungkinkan model untuk memahami pola visual embrio secara lebih mendalam melalui ribuan iterasi pelatihan.

Dalam perkembangan terbaru, model deteksi objek modern seperti YOLO (*You Only Look Once*) semakin banyak digunakan dalam bidang visi komputer karena keunggulannya dalam kecepatan, efisiensi, dan akurasi deteksi. YOLOv11, sebagai generasi terbaru, menawarkan peningkatan signifikan dalam hal sensitivitas fitur, kemampuan multi-scale detection, serta stabilitas performa terhadap variasi pencahayaan. Model ini mampu membagi citra menjadi *grid*, lalu memprediksi *bounding box* dan kelas objek dalam satu langkah pemrosesan. Kecepatan ini sangat cocok untuk kegiatan *candling* otomatis yang membutuhkan analisis dalam jumlah besar secara real-time.

Selain itu, penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa kualitas citra *candling* dapat ditingkatkan melalui metode *preprocessing* modern seperti CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*), yang berfungsi memperjelas struktur internal telur tanpa menimbulkan noise berlebih. Kombinasi antara YOLOv11 dengan metode peningkatan kualitas citra seperti CLAHE mampu menghasilkan sistem deteksi embrio yang lebih stabil, *robust* terhadap variasi pencahayaan, dan memiliki tingkat generalisasi yang lebih baik dibandingkan metode konvensional.

Dengan demikian, arah penelitian ke depan perlu diarahkan pada integrasi teknologi *deep learning* dengan teknik peningkatan citra adaptif untuk menghasilkan sistem deteksi embrio otomatis yang akurat, efisien, dan siap diterapkan dalam industri penetasan modern.

Fondasi Solusi Visi Komputer CLAHE dan Evolusi YOLO

Kajian literatur menunjukkan bahwa kualitas citra merupakan faktor yang sangat menentukan performa model *deep learning*, terutama pada tugas deteksi objek yang melibatkan struktur kecil dan kontras rendah seperti embrio dalam telur bebek. Banyak penelitian melaporkan bahwa ketidakseragaman pencahayaan pada citra *candling* sering menjadi sumber utama kesalahan model, karena pola embrio yang seharusnya terlihat jelas justru tertutupi oleh noise atau perbedaan intensitas cahaya. Oleh karena itu, tahap *preprocessing* citra menjadi bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam pengembangan sistem deteksi embrio berbasis visi komputer.

Salah satu teknik *preprocessing* yang terbukti efektif untuk meningkatkan kualitas citra adalah CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*). CLAHE dirancang untuk meningkatkan kontras citra dengan cara membagi citra ke dalam beberapa region kecil (*tiles*) dan kemudian menerapkan proses *equalization* secara adaptif pada setiap region tersebut. Pendekatan ini memungkinkan peningkatan struktur pola lokal tanpa menyebabkan amplifikasi noise secara berlebihan, seperti yang umum terjadi pada metode histogram *equalization* klasik. Paloloang dkk. (2025) menunjukkan bahwa penggunaan CLAHE pada citra medis mampu meningkatkan visibilitas objek kecil seperti pembuluh darah dan jaringan halus, sehingga

akurasi model *deep learning* meningkat secara signifikan. Dengan mempertimbangkan kesamaan karakteristik antara citra medis dan citra *candling* keduanya memiliki kontras rendah, struktur internal halus, dan pencahayaan tidak homogen CLAHE menjadi kandidat teknik *preprocessing* yang sangat relevan untuk diadaptasi dalam pengolahan citra telur bebek.

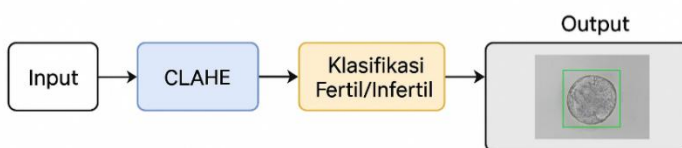
Pada sisi lain, perkembangan teknologi visi komputer menunjukkan bahwa algoritma deteksi objek telah berevolusi secara signifikan untuk menjawab kebutuhan industri terhadap sistem yang cepat, efisien, dan akurat. Salah satu algoritma yang paling banyak digunakan adalah YOLO (*You Only Look Once*), sebuah model *deep learning* yang dirancang untuk melakukan deteksi objek dalam satu langkah pemrosesan. Pendekatan ini berbeda dari model deteksi tradisional yang biasanya memerlukan dua tahap, yaitu region proposal dan *classification*. YOLO menyederhanakan kedua tahap tersebut dalam satu jaringan, sehingga mampu bekerja secara real-time tanpa mengurangi akurasi secara signifikan (Nafis Alfarizi dkk., 2023).

Evolusi YOLO dari versi pertama hingga yang terbaru menunjukkan adanya peningkatan bertahap pada sisi arsitektur, mekanisme *grid detection*, serta kestabilan model terhadap variasi kondisi pencahayaan. Setiap versi menghadirkan penyempurnaan pada *extractor features*, mekanisme *anchor box*, dan loss function yang digunakan. Generasi terbaru, yaitu YOLOv11, merupakan salah satu versi yang paling kuat dan efisien sejauh ini. YOLOv11 mengintegrasikan modul ekstraksi fitur dengan representasi multiskala yang lebih baik, sehingga mampu mendeteksi objek kecil seperti embrio yang hanya muncul sebagai pola halus pada citra *candling* secara lebih presisi. Khanam & Hussain (2024) melaporkan bahwa YOLOv11 memiliki ketahanan performa yang tinggi meskipun diuji pada kondisi pencahayaan bervariasi, sebuah karakteristik yang sangat penting dalam pemrosesan citra *candling* yang sering kali tidak seragam.

Selain keunggulan akurasi, YOLOv11 juga mengusung peningkatan efisiensi komputasi. Jiang dkk. (2024) menjelaskan bahwa YOLOv11 berhasil menurunkan beban komputasi melalui

optimalisasi struktur backbone dan penggunaan operator konvolusi yang lebih ringan namun tetap efektif. Hal ini menjadikan YOLOv11 mampu bekerja lebih cepat dibandingkan versi sebelumnya tanpa mengorbankan tingkat akurasi. Dalam konteks industri penetasan telur, kecepatan pemrosesan merupakan faktor yang sangat penting karena sistem harus mampu menganalisis ratusan hingga ribuan citra dalam waktu singkat agar dapat diterapkan secara praktis.

Melihat keunggulan tersebut, penerapan YOLOv11 untuk deteksi embrio telur bebek menjadi langkah inovatif yang sangat potensial untuk mengatasi keterbatasan metode *candling* manual. YOLOv11 memiliki kemampuan untuk melakukan klasifikasi fertil dan infertil secara otomatis, objektif, dan konsisten. Sistem ini dapat mengurangi ketergantungan pada pengalaman operator, menghilangkan subjektivitas visual, dan meningkatkan akurasi identifikasi embrio secara signifikan. Lebih jauh lagi, jika citra *candling* diproses terlebih dahulu menggunakan teknik peningkatan kualitas citra seperti CLAHE, struktur embrio akan menjadi lebih jelas sehingga model YOLOv11 dapat mengekstraksi fitur secara optimal. Kombinasi kedua pendekatan ini peningkatan kualitas citra melalui CLAHE dan deteksi objek berbasis YOLOv11 secara konseptual mampu menghasilkan sistem deteksi embrio yang jauh lebih stabil, akurat, dan siap diterapkan pada skala industri.



Gambar 1.1: Integrasi CLAHE dan YOLOv11

Dengan demikian, integrasi CLAHE dan YOLOv11 bukan hanya sekadar perbaikan teknis, tetapi juga representasi evolusi teknologi penetasan modern menuju sistem otomatis yang efisien dan berbasis kecerdasan buatan. Pendekatan ini membuka peluang peningkatan produktivitas penetasan, penghematan energi, pengurangan risiko kerugian ekonomi, serta mendukung transformasi digital dalam sektor peternakan unggas.

Tujuan Komprehensif dan Kontribusi Akademik

Secara konseptual dapat dipahami bahwa model deteksi embrio telur bebek berbasis YOLOv11 memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai sistem klasifikasi otomatis dalam membedakan telur fertil dan infertil melalui analisis citra *candling*. YOLOv11 sebagai model deteksi objek generasi terbaru memiliki kemampuan ekstraksi fitur yang lebih kuat, stabilitas performa yang tinggi, serta kemampuan mendeteksi objek kecil pada kondisi pencahayaan yang tidak homogen. Karakteristik ini menjadikannya sangat relevan untuk digunakan dalam konteks pendeteksian embrio, di mana pola yang diamati seringkali berupa struktur halus seperti pembuluh darah atau bayangan embrio yang samar. Dengan menerapkan arsitektur YOLOv11, proses identifikasi embrio dapat dilakukan secara cepat dan akurat sehingga mampu memenuhi kebutuhan industri penetasan modern yang membutuhkan efisiensi tinggi dan minim kesalahan.

Untuk memaksimalkan performa model YOLOv11, sebagian citra *candling* dapat diproses menggunakan teknik peningkatan kontras berbasis CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*). CLAHE bekerja dengan meningkatkan kualitas kontras lokal pada bagian-bagian kecil citra, sehingga pola embrio yang semula sulit terlihat menjadi lebih jelas tanpa meningkatkan noise secara berlebihan. Secara empiris, teknik ini telah terbukti efektif dalam meningkatkan performa deteksi objek kecil pada berbagai domain citra medis dan citra berkontras rendah. Dalam konteks penelitian ini, penggunaan CLAHE berfungsi sebagai tahap *preprocessing* yang dapat membantu model *deep learning* mengekstraksi fitur visual penting secara lebih optimal, terutama pada kondisi pencahayaan *candling* yang tidak seragam.

Selain *preprocessing*, secara konseptual dapat dipahami bahwa diperlukan perbandingan konfigurasi model yang berbeda untuk menentukan pendekatan paling optimal dalam mendeteksi embrio. Perbandingan ini mencakup pengujian beberapa skenario pelatihan, yaitu model tanpa *preprocessing*, model dengan *preprocessing* CLAHE, model dengan data augmentasi tertentu, serta kombinasi *preprocessing* dan augmented training. Data augmentasi berfungsi

memperbesar keragaman dataset dan membantu model beradaptasi terhadap variasi kondisi nyata seperti perubahan intensitas cahaya, tekstur cangkang, dan posisi telur. Dengan melakukan evaluasi komprehensif terhadap berbagai konfigurasi tersebut, penelitian ini dapat menentukan teknik yang paling stabil dan akurat untuk mendeteksi telur fertil dan infertil dalam kondisi operasional industri.

Pemanfaatan *deep learning* dalam deteksi embrio memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan efisiensi di industri penetasan telur bebek. Proses identifikasi yang sebelumnya memakan waktu cukup lama apabila dilakukan secara manual kini dapat dilakukan secara otomatis dalam hitungan detik. Kecepatan ini sangat mendukung proses produksi dalam skala besar, di mana ratusan hingga ribuan telur perlu dianalisis secara rutin. Dengan sistem otomatis yang akurat, operator tidak lagi harus bergantung pada ketelitian visual manusia yang bersifat subjektif dan rentan mengalami kelelahan. Sebaliknya, sistem berbasis YOLOv11 dapat memberikan hasil yang objektif dan konsisten pada setiap pemeriksaan, sehingga mengurangi peluang kesalahan klasifikasi.

Secara operasional, sistem deteksi embrio otomatis juga mampu meningkatkan tingkat penetasan melalui identifikasi dini terhadap telur infertil. Telur infertil yang tetap diinkubasi berpotensi mengalami pembusukan dan menyebabkan kontaminasi pada telur lain yang masih berkembang. Dengan teknologi deteksi otomatis, telur infertil dapat dipisahkan sejak awal, sehingga kapasitas inkubator dapat digunakan secara optimal hanya untuk telur fertil yang memiliki peluang menetas. Hal ini dapat menurunkan tingkat kegagalan penetasan, meningkatkan utilisasi energi inkubator, dan memperbaiki efisiensi biaya produksi peternak.

Selain manfaat langsung terhadap efisiensi produksi, penelitian ini juga memiliki kontribusi jangka panjang terhadap perkembangan teknologi peternakan modern. Secara konseptual dapat dipahami bahwa hasil kajian ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem *candling* otomatis berbasis kamera yang terintegrasi dengan kecerdasan buatan. Sistem ini dapat dirancang untuk bekerja secara mandiri, di mana kamera menangkap citra *candling* secara *real-time*, lalu model YOLOv11 menganalisis citra tersebut dan menentukan

status embrio secara otomatis. Teknologi ini berpotensi menjadi produk komersial yang dapat digunakan oleh industri penetasan unggas, baik skala besar maupun skala menengah, dalam upaya meningkatkan produktivitas dan mencapai standar penetasan yang lebih modern dan efisien.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berperan dalam mengatasi keterbatasan metode *candling* manual, tetapi juga mendorong transformasi digital dalam industri peternakan unggas. Melalui integrasi antara teknik peningkatan kualitas citra seperti CLAHE, algoritma deteksi modern YOLOv11, serta strategi pelatihan model yang adaptif, sistem deteksi embrio otomatis yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan solusi yang inovatif, akurat, dan aplikatif bagi peningkatan produktivitas sektor penetasan telur bebek.

BAB 2

DASAR BIOLOGI DAN KUALITAS TELUR BEBEK

Struktur Biologis Telur Bebek

Telur bebek merupakan salah satu produk unggas yang memiliki struktur biologis kompleks dan dirancang secara alami untuk mendukung perkembangan embrio sejak proses pembuahan hingga penetasan. Struktur ini bukan hanya berfungsi sebagai wadah fisik, tetapi juga sebagai sistem biologis terintegrasi yang menyediakan perlindungan, nutrisi, dan mekanisme regulasi fisiologis bagi embrio. Secara umum, telur bebek tersusun atas beberapa komponen utama, yaitu cangkang, membran telur, putih telur (*albumen*), kuning telur (*yolk*), dan kantung udara. Masing-masing komponen memiliki fungsi khusus yang saling melengkapi, dan keseluruhan struktur tersebut berperan besar dalam menentukan viabilitas embrio selama proses inkubasi.

Cangkang telur bebek merupakan lapisan terluar yang tersusun terutama dari kalsium karbonat (CaCO_3) dengan struktur kristalin yang cukup kuat. Ketebalan cangkang telur bebek diketahui lebih tinggi dibandingkan telur ayam, memberikan keunggulan dalam hal perlindungan mekanis dan ketahanan selama penanganan serta transportasi (Zhao dkk., 2019). Selain memberikan perlindungan fisik, cangkang juga berfungsi sebagai penghalang biologis yang mencegah masuknya mikroorganisme penyebab infeksi. Namun demikian, cangkang tetap memiliki ribuan pori mikroskopis yang memungkinkan terjadinya pertukaran gas antara lingkungan luar dan bagian dalam telur. Pertukaran gas ini sangat penting untuk respirasi

BAB 3

FONDASI VISI KOMPUTER DAN *DEEP LEARNING*

Analisis Citra Digital dan Teknik *Preprocessing*

Analisis citra digital merupakan serangkaian proses komputasi yang digunakan untuk mengekstraksi, mengolah, dan menafsirkan informasi visual dari suatu gambar. Dalam penelitian deteksi embrio telur bebek, analisis citra digital berperan sangat krusial sebagai fondasi untuk mengenali karakteristik visual yang membedakan telur fertil dan infertil berdasarkan citra *candling*. Proses *candling* sendiri menghasilkan citra yang menampilkan struktur internal telur melalui paparan cahaya, sehingga pola-pola yang berhubungan dengan perkembangan embrio dapat diamati secara sistematis. Melalui analisis citra digital, fitur-fitur seperti pembuluh darah, tingkat kekeruhan *albumen*, ukuran rongga udara, intensitas cahaya yang tembus, hingga variasi warna dapat dikenali dan diekstraksi menggunakan algoritma visi komputer dan model *deep learning* modern (Hidayat & Nuralam, 2020).

Penerapan analisis citra pada deteksi embrio menjadi semakin relevan karena metode *candling* konvensional sering bergantung pada interpretasi visual manusia, yang bersifat subjektif, tidak konsisten, dan sulit dilakukan dengan cepat pada skala industri. Citra *candling* juga kerap dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan yang tidak seragam, pantulan cahaya pada cangkang, noise sensor kamera, serta variasi posisi telur saat pemotretan. Faktor-faktor tersebut berpotensi mengurangi akurasi identifikasi apabila analisis dilakukan secara

BAB 4

PERKEMBANGAN TEKNOLOGI DETEKSI EMBRIO BERBASIS CITRA *CANDLING*

Proses identifikasi embrio pada telur bebek telah mengalami perkembangan yang signifikan seiring kemajuan teknologi pengolahan citra dan kecerdasan buatan. Secara tradisional, metode *candling* dilakukan melalui pengamatan visual dengan bantuan sumber cahaya untuk menilai keberadaan embrio. Pendekatan manual ini cukup efektif untuk pemeriksaan dasar, namun sangat bergantung pada pengalaman operator, kondisi pencahayaan, serta kemampuan mata manusia dalam mengenali detail halus pada tahap awal perkembangan embrio. Hal inilah yang menyebabkan proses *candling* sering kali bersifat subjektif dan tidak konsisten ketika diaplikasikan dalam skala besar.

Evolusi Teknik Identifikasi Embrio

Perkembangan teknologi pengolahan citra digital telah menjadi titik balik yang sangat signifikan dalam otomasi proses identifikasi embrio, terutama pada komoditas peternakan unggas seperti telur bebek. Pada tahap awal, penilaian fertilitas sepenuhnya bergantung pada metode *candling* manual yang menuntut pengalaman serta ketelitian peternak. Namun seiring meningkatnya kebutuhan akan efisiensi dan akurasi, teknik-teknik komputasi mulai diperkenalkan untuk mengurangi subjektivitas penilaian dan memastikan konsistensi hasil.

BAB 5

PENDEKATAN TEKNIS DAN ALUR PENGEMBANGAN SISTEM

Rancangan Pendekatan

Dalam membangun sistem deteksi embrio dengan YOLOv11, digunakan pendekatan berbasis eksperimen teknis untuk merancang dan mengevaluasi konfigurasi model. Metode eksperimen dipilih karena memungkinkan pengujian berbagai konfigurasi model secara sistematis, sehingga performa terbaik dapat diidentifikasi berdasarkan kombinasi arsitektur dan teknik *preprocessing* yang digunakan. Seluruh rangkaian penelitian terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu pengumpulan dataset, pelabelan, pembagian data, *preprocessing*, pelatihan model, dan evaluasi performa.

Dataset diperoleh melalui proses pemotretan langsung menggunakan kamera iPhone 13 yang memiliki kemampuan pencitraan tajam dan stabil. Proses pengambilan gambar dilakukan di ruangan gelap dengan bantuan alat *candling* untuk memastikan sumber cahaya terfokus pada bagian dalam telur, sehingga struktur embrio maupun indikasi infertilitas dapat terlihat jelas. Setiap telur difoto dari sudut yang konsisten untuk meminimalkan variasi visual yang tidak relevan. Tahap ini bertujuan menghasilkan citra berkualitas tinggi yang dapat mendukung proses pelatihan model deteksi objek.

Setelah citra dikumpulkan, dilakukan proses *preprocessing* awal menggunakan teknik *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE). Teknik ini digunakan untuk meningkatkan kontras pada area yang memiliki intensitas cahaya rendah, sehingga

BAB 6

METODE AKUISISI DATA DAN OPTIMASI KUALITAS CITRA

Metode Akuisisi Data dan Struktur Dataset

1. Akuisisi Citra dan Lingkungan Pemotretan

Proses pengambilan data pada pengembangan sistem ini dilakukan secara langsung melalui pemotretan telur bebek menggunakan kamera ponsel iPhone 13. Kamera ini dipilih karena memiliki kualitas pencitraan yang tinggi, stabilitas fokus yang baik, serta kemampuan menangkap detail visual secara jelas meskipun dalam kondisi pencahayaan rendah. Pengambilan gambar dilakukan dengan bantuan alat *candling* yang berfungsi memancarkan cahaya terfokus ke bagian dalam telur. Teknik *candling* ini memungkinkan struktur internal telur terlihat lebih jelas, seperti pola embrio, kontur kuning telur, serta indikasi awal perkembangan vaskular, sehingga perbedaan antara telur fertil dan infertil dapat diamati dengan baik.

Seluruh proses pemotretan dilakukan di ruangan gelap untuk meminimalkan interferensi cahaya dari lingkungan. Dengan demikian, cahaya *candling* menjadi satu-satunya sumber iluminasi yang masuk ke dalam telur, menghasilkan kontras visual yang optimal. Dari rangkaian proses tersebut berhasil dikumpulkan sebanyak 224 citra telur bebek. Seluruh citra awal direkam dalam format HEIC, format bawaan iPhone yang memberikan kualitas tinggi dengan ukuran *file* lebih kecil. Namun, karena beberapa perangkat lunak tidak mendukung format HEIC secara langsung, seluruh citra kemudian dikonversi ke format JPEG agar

BAB 7

PEMROSESAN DATA DAN DESAIN EKSPERIMEN MODEL YOLOv11

Pelabelan Dataset

Pelabelan *dataset* dilakukan menggunakan *platform* Roboflow dengan menambahkan *bounding box* pada setiap citra untuk menandai kategori telur fertil maupun infertil. Proses anotasi ini menjadi tahap penting karena memungkinkan model YOLOv11 mempelajari perbedaan karakteristik visual di antara kedua kelas secara terarah. Pada citra telur fertil, *bounding box* diarahkan pada area yang menunjukkan keberadaan embrio atau pola pembuluh darah, sedangkan pada telur infertil anotasi diberikan pada area yang tidak menampilkan struktur embrio.

Setelah seluruh citra selesai diberi label, *dataset* diekspor dalam format yang kompatibel dengan arsitektur YOLOv11, yaitu YOLO format yang berisi *file* teks untuk koordinat *bounding box* dan kelas, serta *folder* citra yang telah diproses. Format ini memudahkan proses integrasi dan mempercepat pelatihan model karena strukturnya telah sesuai dengan standar input YOLO.

Selanjutnya, *dataset* yang telah dilabel dihubungkan dengan Google Colaboratory melalui API Roboflow. Integrasi menggunakan API memberikan keuntungan berupa efisiensi pemuatan data, konsistensi struktur *dataset*, serta kemudahan dalam mengelola versi *dataset* tanpa perlu melakukan pengunggahan manual. Dengan mekanisme ini, *dataset* dapat dimuat secara otomatis ke lingkungan

BAB 8

PELATIHAN DAN ANALISIS KINERJA SISTEM DETEKSI

Model Pelatihan (*Training Model*)

Dataset yang telah melalui tahap *preprocessing* kemudian diekspor dari Roboflow untuk digunakan pada proses pelatihan model di Google Colaboratory. Proses ekspor ini menghasilkan sebuah API khusus yang berfungsi sebagai penghubung otomatis antara *platform* Roboflow dan lingkungan kerja Google Colab. API tersebut memungkinkan *dataset* dimuat secara langsung ke dalam *notebook* pelatihan tanpa perlu melakukan pengunduhan dan pengunggahan manual, sehingga alur kerja menjadi lebih efisien dan bebas dari risiko inkonsistensi data.

Dengan memanfaatkan API yang dihasilkan, *dataset* dapat diintegrasikan secara cepat ke dalam skrip pelatihan YOLOv11. Selain itu, API memastikan bahwa struktur *file*, anotasi *bounding box*, dan konfigurasi *dataset* tetap sesuai dengan format yang diperlukan oleh model. Proses ini juga mempermudah pembaruan *dataset* apabila diperlukan, karena perubahan pada Roboflow dapat langsung disinkronkan melalui pemanggilan ulang API di Google Colab.

1. Ekspor Dataset

Setelah proses anotasi selesai, *dataset* diekspor ke dalam format yang sesuai untuk digunakan pada model YOLOv11 seperti yang tercantum pada Gambar 8.1.

BAB 9

PERANCANGAN DAN INTEGRASI SISTEM OTOMATIS

Berdasarkan hasil pengembangan sistem yang telah dilakukan mengenai penerapan model YOLOv11 untuk mendeteksi embrio telur bebek melalui citra *candling*, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting. Pertama, penerapan model YOLOv11 untuk deteksi embrio telur bebek dilakukan melalui serangkaian tahapan yang terstruktur, meliputi pengumpulan *dataset*, pelabelan menggunakan Roboflow, *preprocessing* (yang mencakup *resize*, augmentasi, dan teknik *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* atau CLAHE), pelatihan model di Google Colaboratory, serta evaluasi menggunakan metrik *precision*, *recall*, dan mAP.

Model YOLOv11 terbukti mampu mengenali dan membedakan telur fertil dari telur infertil berdasarkan pola visual dari hasil *candling*. Citra telur fertil ditandai dengan adanya area gelap yang tidak beraturan, mengindikasikan keberadaan embrio, sementara citra infertil memiliki pencahayaan yang terang dan merata tanpa pola embrio. Hasil keseluruhan ini menegaskan bahwa YOLOv11 dapat diterapkan secara efektif untuk mendeteksi embrio telur bebek secara otomatis.

Kedua, performa deteksi terbaik diperoleh pada konfigurasi model YOLOv11s yang dikombinasikan dengan penerapan teknik CLAHE, menghasilkan metrik evaluasi yang sangat tinggi, yaitu *precision* sebesar 0.991, *recall* 0.992, mAP50 0.995, dan mAP50-95

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Hack, M. E., Hurtado, C. B., Toro, D. M., Alagawany, M., Abdelfattah, E. M., & Elnesr, S. S. (2019). Fertility and hatchability in duck eggs. *World's Poultry Science Journal*, 75(4), 599–608. <https://doi.org/10.1017/S0043933919000060>
- Aini, Q., Lutfiani, N., Kusumah, H., & Zahran, M. S. (2021). Deteksi dan Pengenalan Objek Dengan Model *Machine learning*: Model Yolo. *CESS (Journal of Computer Engineering, System and Science)*, 6(2), 192. <https://doi.org/10.24114/cess.v6i2.25840>
- Apriliansah, Y., Kurniawan, E., & Vidyastari, R. I. (2023). Rancang Bangun Alat Deteksi Fertilitas Telur Unggas Berbasis Image Processing. *Digital Transformation Technology (Digitech)*, 3(1), 270–278. <https://jurnal.itscience.org/index.php/digitech/article/view/2624/2124>
- Astuti, R., Rismawan, T., & Suhery, C. (2025). Rancang Bangun Pemilah Telur Fertil dan Infertil Pada Telur Bebek Menggunakan Sensor Infrared dan Image Processing. *Coding: Jurnal Komputer dan Aplikasi*, 13(1), 13–24. <https://doi.org/10.26418/coding.v13i1.88332>
- Ghaderi, M., Mireei, S. A., Masoumi, A., Sedghi, M., & Nazeri, M. (2024). Fertility detection of unincubated chicken eggs by hyperspectral transmission imaging in the Vis-SWNIR region. *Scientific Reports*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51874-2>
- Hidayat, T., & Nuralam, N. (2020). Prototype Machine Vision Untuk Pemilah Kualitas Telur Bebek Berbasis Image Processing. *Faktor Exacta*, 13(1), 54. <https://doi.org/10.30998/faktorexacta.v13i1.5318>
- Huda, M. M., Prasetyo, K. A., Ariel, M., & Vieri, R. (2025). *Identifikasi Mangga Berdasarkan Tingkat Kematangan Menggunakan Yolo 11.4*, 175–182.
- Indra, J., Agani, N., & Handayani, H. (2018a). Klasifikasi Fertilitas Telur Itik dengan Pengolahan Citra Digital menggunakan Raspberry Pi.

- Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, 3(2), 68–76.
https://i.ytimg.com/vi/_1Y74pXWIS8/maxresdefault.jpg
- Indra, J., Agani, N., & Handayani, H. H. (2018b). KLASIFIKASI FERTILITAS TELUR ITIK DENGAN PENGOLAHAN CITRA DIGITAL MENGGUNAKAN RASPBERRY PI. *Techno Xplore Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, 3(2), 68–76.
- Irfan, A. A. F. N. (2024). *Indonesia Produksi 358 Ribu Ton Telur Itik di 2023*. data.goodstats.id. <https://data.goodstats.id/statistic/indonesia-produksi-358-ribu-ton-telur-itik-di-2023-p6xjz>
- Jalal, A., Salman, A., Mian, A., Ghafoor, S., & Shafait, F. (2025). DeepFins: Capturing dynamics in underwater videos for fish detection. *Ecological Informatics*, 86(January), 103013. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103013>
- Jiang, T., Zhou, J., Xie, B., Liu, L., Ji, C., Liu, Y., Liu, B., & Zhang, B. (2024). Improved YOLOv8 Model for Lightweight Pigeon Egg Detection. *Animals*, 14(8), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ani14081226>
- Kamil, M. A., & Djaksana, Y. M. (2024). PERBANDINGAN ALGORITMA CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN) DAN ALGORITMA YOU ONLY LOOK ONCE (YOLO) UNTUK DETEKSI WAJAH COMPARISON OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN) ALGORITHM AND YOU ONLY LOOK ONCE (YOLO) ALGORITHM FOR JIIC : JURNAL INTELEK INSA. *JIIC: JURNAL INTELEK INSAN CENDIKIA*, November.
- Khanam, R., & Hussain, M. (2024). *YOLOv11: An Overview of the Key Architectural Enhancements*. 2024, 1–9. <http://arxiv.org/abs/2410.17725>
- Li, Q., Zhou, W., Wang, Q., & Fu, D. (2023). Research on Online Nondestructive Detection Technology of Duck Egg Origin Based on Visible/Near-Infrared Spectroscopy. *Foods*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/foods12091900>
- Nafis Alfarizi, D., Agung Pangestu, R., Aditya, D., Adi Setiawan, M., & Rosyani, P. (2023). Penggunaan Metode YOLO Pada Deteksi Objek: Sebuah Tinjauan Literatur Sistematis. *Jurnal Artificial Intelligent dan Sistem Penunjang Keputusan*, 1(1), 54–63. <https://jurnalmahasiswa.com/index.php/aidanspk>
- Ningsih, S. A., Sutiani, R. A., Made, N., Ulandari, S., Saputra, R. A., Informatika, T., Teknik, F., & Oleo, U. H. (2024). *Penerapan*

algoritma yolo untuk mendeteksi kualitas telur ayam berdasarkan warna cangkang. 10(2), 35–39.

- Nurhakiki, J., Yahfizham, Y., William, J., Ps, I. V., Estate, M., Percut, K., Tuan, S., & Serdang, K. D. (2024). Studi Kepustakaan: Pengenalan 4 Algoritma Pada Pembelajaran *Deep learning* Beserta Implikasinya. *Jurnal Pendidikan Berkarakter, 1*, 270–281. <https://doi.org/10.51903/pendekar.v2i1.598>
- Paloloang, M. F. A. B., Lapatta, N. T. T., Yazdi, M., & Anshori, Y. (2025). Identifikasi Telur Ayam Fertil dan Infertil Melalui Citra *Candling* Menggunakan Algoritma Vision Transformer. *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika), 10(3)*, 2079–2089. <https://doi.org/10.29100/jipi.v10i3.6298>
- Perkasa, B. R., Sularsa, A., & Pratondo, A. (2022). Implementasi Klasifikasi Citra Untuk Mendeteksi Embrio Bebek Pada Aplikasi Mobile Menggunakan Artificial Intelligence Image Classification Implementation for Detecting Duck Embryos on Mobile Application With Artificial Intelligence. *e-Proceeding of Applied Science, 8(1)*, 1–7.
- Pradana, A. I. (2024). *Deteksi Rambu Lalu Lintas Real-Time di Indonesia dengan Penerapan YOLOv11 : Solusi Untuk Keamanan Berkendara. 145–155.* <https://doi.org/10.33364/algoritma/v.21-2.2106>
- Putri Lestari, Pradipta Bayu Aji Pramono, & Mikael Sihite. (2021). Pengaruh Letak Telur terhadap Persentase Daya Hidup Embrio, Lama Menetas dan Gagal Menetas. *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan dan Pendidikan Vokasi Pertanian, 2(1)*, 177–185. <https://doi.org/10.47687/snppvp.v2i1.185>
- Ramadhan, I., Rahul Isbar, M., Abidin, Z., & Pangerang, F. (2021). Rancang Bangun Pendeteksi dan Penyortir Telur Ayam Infentril dan Fertil. *Prosiding 5th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat, 134–138.*
- Sujana, N., Mutoffar, M. M., & Haryanto, A. A. (2024). *UNTUK DETEKSI EKSPRESI WAJAH EMOSIONAL. 06(02), 115–124.*
- Wei, W., Huang, Y., Zheng, J., Rao, Y., Wei, Y., & Tan, X. (2025). YOLOv11-based multi-task learning for enhanced bone fracture detection and classification in X-ray images. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 18(1)*, 101309. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2025.101309>

Zhao, Q., Ban, L., Zheng, J., Xu, G., Ning, Z., & Qu, L. (2019). Potential use of spectroscopic techniques for assessing table eggs and hatching eggs. *World's Poultry Science Journal*, 75(3), 445–456. <https://doi.org/10.1017/s0043933919000424>

PROFIL PENULIS



Ir. Andi Nur Rachman, S.T., M.T.

adalah akademisi dan peneliti di bidang Sistem Informasi yang berpengalaman lebih dari satu dekade. Lahir di Tasikmalaya, 12 Agustus 1985, Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana di Universitas Siliwangi dan meraih gelar magister dari Institut Teknologi Bandung (ITB). Saat ini Penulis menjabat sebagai Lektor Kepala dan Sekretaris Jurusan Sistem Informasi di Universitas Siliwangi.

Keahliannya meliputi *machine learning*, *deep learning*, Internet of Things, sistem informasi, dan pengembangan aplikasi. Dalam tiga tahun terakhir, ia aktif menghasilkan penelitian mengenai klasifikasi citra, optimasi algoritma, prediksi penyakit, hingga *human activity recognition*, dengan sejumlah penelitian memperoleh dukungan pendanaan hibah. Produktivitas Penulis juga tercermin dari berbagai publikasi nasional dan internasional serta karya buku, termasuk “Pengantar Ilmu Komputer” (2024).

publikasi global seperti SCOPUS, Google Scholar, ORCID, dan SINTA. Penulis juga memegang sejumlah HaKI, mulai dari aplikasi *virtual tour*, algoritma prediksi penyakit, hingga sistem informasi berbasis web. Atas kontribusinya, Penulis meraih beberapa penghargaan dari Rektor Universitas Siliwangi dalam bidang inovasi dan Hak Kekayaan Intelektual.

Sebagai akademisi, peneliti, dan inovator, Penulis terus berkomitmen mengembangkan teknologi yang bermanfaat bagi pendidikan dan masyarakat luas.

Email Penulis: andy.rachman@unsil.ac.id



Euis Nur Fitriani Dewi, S.T., M.Kom.

Penulis tertarik pada bidang Informatika saat memasuki jenjang Pendidikan SMA, yaitu di SMAN 1 Banjar. Setelah lulus dari SMA, penulis berkeinginan untuk menjadi guru TIK, namun hal itu diurungkan dan akhirnya penulis melanjutkan ke jenjang S1 pada tahun 2007 di Universitas Siliwangi di Kota Tasikmalaya. Lulus S1 kemudian bekerja di sebuah bank swasta,

selama 1,5 tahun.

Setelah resign, penulis mengikuti seleksi beasiswa Pendidikan Profesi Guru (PPG) Pra Jabatan di Universitas Negeri Jakarta selama satu tahun (2013-2014). Lulus PPG mengajar di satu SMK swasta dan satu SMK Negeri di Kota Tasikmalaya. Sembari mengajar di SMK, kemudian melanjutkan Pendidikan jenjang S2 di STMIK Likmi Bandung dan lulus pada tahun 2018.

Pada akhir 2018, penulis mengikuti seleksi dosen tetap non PNS di Universitas Siliwangi Tasikmalaya dan selang 3 tahun, lulus menjadi Dosen PNS Prodi Informatika di Kampus yang sama. Saat ini Penulis aktif sebagai Dosen dengan Kelompok Keahlian di bidang Teknologi Multimedia dan Game serta memiliki berbagai publikasi baik nasional maupun internasional pada jurnal yang bereputasi, memiliki beberapa karya buku, dan memegang sejumlah HaKI.

Email Penulis: euis.nurfitriani@unsil.ac.id



Ir. Rahmi Nur Shofa, S.T., M.T.

Penulis lahir di Tasikmalaya pada tahun 1984. Sejak usia muda penulis menunjukkan minat terhadap dunia teknologi dan sistem informasi. Ketertarikan tersebut mengantarkan penulis berhasil menempuh pendidikan tinggi pada Program Studi Teknik Informatika di Fakultas Teknik Universitas Siliwangi tahun 2008.

Berkeinginan untuk terus mengembangkan wawasan dan keilmuan mendorong penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang magister pada Program Studi Magister Informatika di Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, tempat dimana penulis memperdalam pengetahuan dan keterampilan dalam bidang informatika secara lebih komprehensif. Pada saat ini penulis sedang menempuh Pendidikan Doktor pada Program Studi Doktor Ilmu Teknik di Fakultas Teknik Universitas Udayana.

Perjalanan akademik tersebut menjadi wujud komitmennya untuk terus berkembang dan memberikan kontribusi signifikan bagi dunia pendidikan serta ilmu pengetahuan. Penulis merupakan salah satu dosen di Universitas Siliwangi yang memiliki kepakaran dan penelitian pada bidang *Information System Management and Strategy*. Penulis aktif menulis artikel yang dipublikasikan pada jurnal nasional maupun jurnal internasional, serta melakukan pengabdian kepada Masyarakat sebagai wujud pelaksanaan tri dharma perguruan tinggi.

Email penulis : rahmi.shofa@unsil.ac.id



Zulfi Septia Anzana

Ketertarikan penulis terhadap dunia teknologi dan komputasi menjadi dasar bagi perjalanan akademiknya. Pada tahun 2021, penulis memulai studi pada Program Studi Informatika di Universitas Siliwangi. Selama menempuh pendidikan, penulis menunjukkan perhatian besar pada bidang Artificial Intelligence, khususnya *Machine learning* dan *Deep learning*, dengan fokus penelitian pada Natural Language Processing (NLP) dan Computer Vision.

Berbagai penelitian telah dilakukan penulis sebagai upaya dalam memperdalam bidang keilmuannya, di antaranya penelitian mengenai analisis sentimen, klasifikasi citra, serta object detection. Keterlibatan penulis dalam penelitian tersebut menjadi landasan penting bagi pengembangan kompetensi dan kontribusi penulis di dunia akademik dan penelitian.

Melalui karya ini, penulis berharap dapat memberikan manfaat bagi dunia pendidikan dan masyarakat luas, serta berkontribusi dalam mendukung perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia.

Email Penulis: zulfianzana25@gmail.com



INOVASI DEEP LEARNING DALAM HATCHERY

Klasifikasi Embrio Telur Bebek Melalui Pengolahan Citra Candling

Candling sebagai teknik tradisional memang telah digunakan selama puluhan tahun, namun ketergantungannya pada pengalaman operator membuat proses ini rentan terhadap kesalahan identifikasi, terutama pada fase awal perkembangan embrio yang ditandai pola visual halus dan kontras rendah. Dalam konteks industri penetasan berskala besar, kesalahan dalam membedakan telur fertil dan infertil dapat menimbulkan konsekuensi serius, seperti inefisiensi penggunaan ruang inkubator, peningkatan risiko kontaminasi, serta kerugian finansial akibat menurunnya tingkat keberhasilan penetasan. Tantangan inilah yang menjadi dasar pentingnya inovasi berbasis teknologi untuk meningkatkan kualitas proses seleksi telur secara lebih ilmiah, konsisten, dan terstandar.

Buku ini disusun untuk memberikan landasan teoretis, metodologis, sekaligus aplikasi praktis terkait bagaimana teknologi *deep learning* khususnya model deteksi objek generasi terbaru seperti YOLOv11 dapat dimanfaatkan dalam mengotomatiskan proses identifikasi embrio melalui citra *candling*. Dengan pendekatan ini, proses deteksi embrio dapat dilakukan secara cepat, presisi, dan objektif tanpa ketergantungan pada persepsi visual manusia. Penggabungan teknik *preprocessing* citra seperti CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) dengan kemampuan ekstraksi fitur multi-skala dari YOLOv11 menghasilkan sistem yang mampu menangani kompleksitas visual citra *candling*, mulai dari variasi pencahayaan, *noise*, hingga struktur embrio berukuran kecil yang sulit terlihat secara kasat mata. Selain memaparkan konsep *deep learning* dan visi komputer secara komprehensif, buku ini juga menyajikan rangkaian proses penelitian mulai dari akuisisi dataset, pelabelan citra, desain eksperimen, pelatihan model, evaluasi performa, hingga implementasi sistem deteksi otomatis.