

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Pada bagian ini berisi landasan teori yang akan digunakan sebagai dasar dalam proses pembuatan proyek akhir. Pada bagian ini, yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

2.1.1 Telur Ayam

Telur merupakan bahan pangan hewani yang populer karena memiliki kandungan gizi yang tinggi dan harga yang terjangkau menurut menurut Diky Kurniawan, (2021). Telur fertil adalah telur yang telah dibuahi dan berpotensi untuk menetas, sedangkan telur infertil tidak. Identifikasi fertilitas ini menjadi krusial dalam industri perternakan untuk memisahkan telur yang layak untuk inkubasi dari yang tidak. Gambar telur ayam dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Telur ayam¹

2.1.2 ESP32 CAM

Menurut Rahmadani dkk., (2023) ESP32-CAM adalah papan pengembang (*development board*) berbasis mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi modul kamera OV2640 dan konektivitas Wi-Fi, yang sangat efektif dimanfaatkan sebagai unit transmisi *live streaming* citra berbiaya rendah. Penelitian menjelaskan bahwa

¹ Bintang Telur Segar. (2026). *Telur Ayam Negeri Bandung Bintang Telur Segar [450g]*. Diakses pada 20 Februari 2026, dari: <https://www.blibli.com/p/telur-ayam-negeri-bandung-bintang-telur-segar-450g/ps--BIT-60061-00012>.

modul ini dapat difungsikan secara optimal sebagai nodus pengambil gambar (*visual capture node*) yang bertugas menangkap dan mengalirkan (*stream*) data video secara *real-time* melalui protokol jaringan menuju perangkat komputer atau *platform* pengolah data eksternal.

Dalam sistem ini, ESP32-CAM berfungsi khusus sebagai kamera pengambil citra secara *live streaming*. Kamera pada modul ini digunakan untuk menangkap dan mengirimkan alur video (*video stream*) secara *real-time* melalui Wi-Fi untuk diproses oleh perangkat lunak pada *Visual Studio Code* yang mengelola algoritma *image processing*. Setelah citra diolah dan menghasilkan data keputusan, hasil pemrosesan tersebut dikirimkan ke Arduino Uno untuk mengkonfigurasi dan mengendalikan kerja sistem alat secara keseluruhan. ESP32-CAM dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 ESP32 CAM²

2.1.3 Motor Servo

Menurut Autosou dkk, (2024) Motor servo (*servomotor*) adalah salah satu jenis aktuator yang dirancang untuk memberikan kontrol presisi terhadap posisi sudut, kecepatan, dan akselerasi dalam suatu sistem mekanik tertutup (*closed-loop control system*). Pada servomotor terdapat mekanisme umpan balik (*feedback*) yang memantau posisi aktual poros motor dan mengoreksinya agar sesuai dengan nilai *setpoint* atau perintah kontrol. Sistem umpan balik ini memungkinkan servomotor mencapai dan mempertahankan posisi yang diinginkan dengan akurasi tinggi. Setelah *microcontroller* berhasil mengidentifikasi fertilitas telur, ia akan

² HWLibre. (n.d.). *ESP32 Camera: Everything you need to know*. HWLibre. Diakses pada 29 Juli 2026, dari : <https://en.hwlibre.com/esp32-camera/>

mengirimkan sinyal ke motor servo untuk menggerakkan lengan atau mekanisme penyorong yang akan memisahkan telur ke jalur yang sesuai (jalur fertil atau infertil). Motor Servo dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Motor Servo MG996R³

Tabel 2.1 Karakteristik Motor Servo⁴

Kriteria	Karakteristik
<i>Operating speed</i>	0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)
<i>Operating voltage</i>	4.8 V a 7.2 V
<i>Running Current</i>	500 mA – 900 mA (6V)
<i>Weight</i>	55 g
<i>Temperature range</i>	0 °C – 55 °C

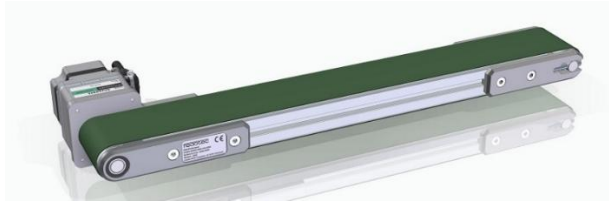
2.1.4 Conveyor

Conveyor atau *belt conveyor* adalah alat mekanis yang memindahkan material secara kontinu menggunakan sabuk fleksibel yang berputar di atas *pulley* menurut Rachim & Yulhendra, (2022). Dalam sistem sortir telur. *Conveyor* berfungsi sebagai jalur transportasi utama yang membawa telur satu per satu melewati area deteksi sensor inframerah dan kamera. Penggunaan *conveyor*

³ KTechnics. (2026). *Servo Motor Micro Tower Pro Metal Geared MG90S* [Product page]. KTechnics. Diakses pada 20 Februari 2026, dari : <https://ktechnics.com/product/servo-motor-micro-tower-pro-metal-geared-mg90s/>

⁴ Tower Pro. (n.d.). *MG996R high torque metal gear dual ball bearing servo datasheet* [Data sheet]. Diakses pada 20 Februari 2026.

memastikan proses penyortiran berjalan secara sistematis, berurutan, dan efisien. *Conveyor* Mini dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Conveyor* Mini⁵

2.1.5 *Sensor Infrared (IR)*

Menurut Widoretno & Muhamad Alsa, (2024) Infra red (IR) detektor atau sensor infra merah adalah komponen elektronika yang dapat mengidentifikasi cahaya infra merah (infra red, IR). Sensor infra merah atau detektor infra merah saat ini ada yang dibuat khusus dalam satu modul dan dinamakan sebagai *IR Detector Photomodules*. Dalam proyek ini, sensor IR digunakan sebagai sensor keberadaan (*proximity sensor*) yang dipasang di sepanjang jalur *conveyor*. Fungsi utamanya adalah untuk mendeteksi apakah ada telur yang berada pada posisi yang tepat untuk dianalisis oleh kamera. Ketika telur melewati sensor, sensor akan mengirimkan sinyal digital ke ESP32-CAM, yang kemudian memicu proses pengambilan gambar dan pemrosesan. Sensor infrared dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sensor Infrared⁶

⁵ *Micro-Conveyors* (2025). Fity.club. Diakses pada 20 Februari 2026, dari : <https://fity.club/lists/2025/Micro-Conveyors/>

⁶ NicePNG. (n.d.). *IR sensor / Infrared sensor* [Image]. NicePNG. Diakses pada 20 Februari 2026, dari : https://www.nicepng.com/ourpic/u2t4r5a9w7a9y3a9_ir-sensor-infrared-sensor/

Tabel 2.2 Karakteristik Sensor Infrared⁷

Kriteria	Karakteristik
<i>Operating Voltage</i>	3~5VDC.
<i>Output type</i>	Digital (0 and 1).
<i>Detection Distance</i>	2~30cm. Potentiometer adjustment
<i>Mounting Hole</i>	Ø3mm.
<i>Board size</i>	3.2 x 1.4cm

2.1.6 LED (*Light Emitting Diode*)

Menurut Rofii & Ulul Azmi, (2020) LED atau kepanjangan dari *Light Emitting Diode* adalah sebuah lampu indikator dalam suatu perangkat elektronika yang memiliki fungsi untuk menunjukkan status dari perangkat elektronika tersebut. LED digunakan sebagai sumber cahaya tambahan untuk memastikan telur dapat tervisualisasi dengan jelas dan konsisten oleh kamera ESP32-CAM. Pencahayaan yang optimal membantu mengurangi bayangan, artefak, dan variasi warna yang dapat mengganggu akurasi algoritma *image processing* dalam mendeteksi embrio atau karakteristik telur lainnya. LED dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 LED⁸

⁷ Handson Technology. (n.d.). *InfraRed IR obstacle detector user guide* [User guide]. Diakses pada 20 Februari 2026, dari : <http://www.handsontec.com/>

⁸ SparkFun Electronics. (2026). *Light-Emitting Diodes (LEDs) tutorial* [Web tutorial]. *SparkFun Learn*. Diakses pada 20 Februari 2026, dari : <https://learn.sparkfun.com/tutorials/light-emitting-diodes-leds/all>

2.1.7 Image Processing Conventional Neural Network (CNN)

Image processing adalah teknik pengolahan sinyal digital dengan *input* berupa gambar yang ditransformasikan menjadi gambar lain melalui algoritma tertentu untuk meningkatkan kualitas visual, mengurangi *noise*, atau ekstraksi informasi menurut Mawarni dkk. (2020). Dalam penelitian ini, *image processing* digunakan untuk menganalisis gambar telur yang diambil oleh kamera ESP32-CAM. Metode *Convolutional Neural Network* (CNN) adalah salah satu jenis algoritma *deep learning* yang sangat efektif dalam mengklasifikasikan gambar. CNN dilatih menggunakan dataset gambar telur fertil dan infertil, sehingga mampu belajar dan mengenali pola-pola visual yang membedakan kedua jenis telur tersebut. Keunggulan CNN adalah kemampuannya untuk mendeteksi fitur-fitur kompleks pada citra, seperti pembuluh darah embrio yang sangat halus, dengan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional.

2.1.7.1 Processing Citra

Preprocessing citra merupakan tahap awal dalam pengolahan citra yang dilakukan untuk mempersiapkan gambar sebelum digunakan dalam proses klasifikasi. Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan citra dengan kondisi yang sesuai dengan kebutuhan model sehingga informasi penting pada gambar dapat digunakan secara optimal. *Preprocessing* juga dapat membantu mengurangi perbedaan kondisi citra yang dapat memengaruhi proses klasifikasi.

Secara umum, proses *preprocessing* dapat meliputi perubahan ukuran citra (*resize*), penyesuaian format warna, normalisasi nilai piksel, serta tahapan pengolahan lainnya sesuai dengan kebutuhan model yang digunakan. Tahapan tersebut dilakukan agar citra memiliki format dan karakteristik yang sesuai dengan masukan model *Convolutional Neural Network* (CNN).

Pada penelitian ini, citra telur diperoleh menggunakan ESP32-CAM melalui proses *candling* dengan bantuan LED sebagai sumber pencahayaan. Citra hasil pengambilan kamera kemudian dipersiapkan sebelum digunakan sebagai masukan model CNN

2.1.7.2 Tahapan Convolutional Neural Network (CNN)

Convolutional Neural Network (CNN) memproses citra secara bertahap untuk memperoleh karakteristik atau fitur yang dapat digunakan dalam proses klasifikasi. Secara umum, CNN terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu *convolution*, *activation function*, *pooling*, ekstraksi fitur, dan klasifikasi.

1. *Convolution*

Convolution merupakan proses utama pada CNN yang digunakan untuk memperoleh fitur dari sebuah citra. Proses ini menggunakan *filter* atau *kernel* yang bergerak pada bagian tertentu dari citra untuk mendeteksi pola visual. Hasil dari proses *convolution* berupa *feature map* yang berisi informasi mengenai fitur yang berhasil dideteksi dari citra.

Pada citra telur hasil *candling*, proses *convolution* digunakan untuk membantu model mengenali pola visual yang terdapat pada bagian dalam telur dan karakteristik lain yang dapat membedakan telur fertil dan non-fertil.

2. *Activation Function*

Activation function merupakan fungsi yang digunakan setelah proses *convolution* untuk memberikan sifat non-linear pada jaringan. Sifat *non-linear* tersebut memungkinkan CNN mempelajari pola yang lebih kompleks dari citra. Salah satu fungsi aktivasi yang umum digunakan pada CNN adalah *Rectified Linear Unit (ReLU)*.

ReLU mengubah nilai negatif menjadi nol, sedangkan nilai positif tetap dipertahankan. Penggunaan fungsi aktivasi membantu jaringan dalam mempelajari hubungan yang lebih kompleks pada data citra.

3. *Pooling*

Pooling merupakan proses yang digunakan untuk mengurangi ukuran *feature map* dengan tetap mempertahankan informasi penting yang telah diperoleh dari proses *convolution*. Pengurangan ukuran tersebut dapat membantu mengurangi jumlah data yang harus diproses oleh jaringan.

Salah satu metode *pooling* yang umum digunakan adalah *Max Pooling*. Metode ini memilih nilai terbesar dari suatu area tertentu pada *feature map*. Dengan demikian, fitur yang memiliki nilai paling kuat dapat dipertahankan untuk proses berikutnya.

4. Feature Extraction

Feature extraction merupakan proses memperoleh karakteristik penting dari citra berdasarkan hasil pengolahan pada lapisan-lapisan CNN. Pada tahap awal, jaringan dapat mengenali fitur sederhana, sedangkan pada tahap berikutnya fitur tersebut dapat dikombinasikan menjadi pola yang lebih kompleks.

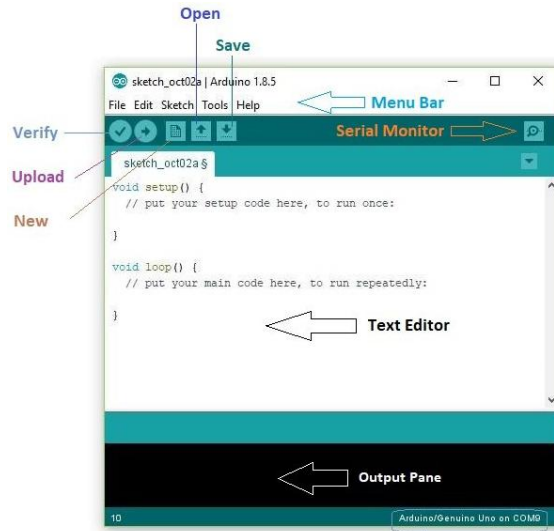
Dalam penelitian ini, fitur yang diperoleh dari citra hasil *candling* digunakan untuk membantu membedakan karakteristik visual telur fertil dan non-fertil. Fitur tersebut dapat berupa pola, bentuk, tekstur, maupun perbedaan intensitas cahaya yang terdapat pada citra.

5. Classification

Tahap klasifikasi merupakan tahap akhir dalam proses CNN yang digunakan untuk menentukan kelas dari citra yang telah diproses. Informasi fitur yang telah diperoleh sebelumnya digunakan untuk menentukan kategori citra berdasarkan kelas yang telah ditentukan pada proses pelatihan.

2.1.8 Arduino Integrated Development Environment (IDE)

Arduino IDE adalah lingkungan pengembangan terintegrasi *open-source* untuk memprogram mikrokontroler Arduino menggunakan bahasa pemrograman berbasis C/C++ yang disederhanakan menurut Sinaga, (2022). Perangkat lunak ini bersifat *open source* dan dapat diunduh serta diinstal secara gratis di berbagai sistem operasi seperti Windows, Mac OS X, dan Linux. Arduino IDE mendukung bahasa pemrograman C dan C++, serta memungkinkan pengguna menulis program yang disebut *sketch*. *Sketch* yang dibuat di Arduino IDE disimpan dengan ekstensi “.ino.” Untuk mengunggah *sketch* ke papan Arduino atau Genuino, perangkat harus dihubungkan ke komputer menggunakan kabel USB. Ketersediaan modul pendukung dan kemudahan penggunaan menjadikan Arduino IDE populer di kalangan profesional maupun hobiis elektronika (Santoso & Wijayanto, 2022). Bisa dilihat untuk detail *toolbar software*nya pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Arduino Integrated Development Environment (IDE)⁹

2.1.9 Motor Gearbox

Motor gearbox adalah motor listrik DC yang terintegrasi dengan sistem reduksi gigi (gearbox) untuk mengubah putaran tinggi menjadi torsi tinggi dengan kecepatan rendah menurut Arif dkk, (2023). Roda gigi ini dirancang untuk mengubah karakteristik keluaran motor. Motor DC standar memiliki kecepatan putaran yang sangat tinggi tetapi menghasilkan torsi yang rendah. Motor *gearbox* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Motor Gearbox¹⁰

⁹ The Engineering Projects. (2018, October 9). *Introduction to Arduino IDE*. Diakses pada 20 Februari 2026, dari : <https://www.theengineeringprojects.com/2018/10/introduction-to-arduino-ide.html>

¹⁰ Micro DC Motors. (2026). *31 mm 12 V 40 RPM DC worm geared motor, 8 mm shaft, 15 kg·cm (Model: NFP-5840-31ZYS-S-1240)* [Product page]. Microdcmotors.com. Diakses pada 20 Februari 2026, dari : <https://microdcmotors.com/product/31mm-12v-40rpm-dc-worm-geared-motor-8mm-shaft-15kg-cm-model-nfp-5840-31zys-s-1240>

Tabel 2.3 Karakteristik Motor *Gearbox*¹¹

Kriteria	Karakteristik
<i>Rated Voltage</i>	12VDC.
<i>Rated Current</i>	650 mA.
<i>Starting Voltage</i>	4VDC
<i>Rated Torque</i>	80kg.cm

2.1.10 *Candling* Telur

Menurut Paloloang dkk, (2025) Metode *Candling* Telur adalah teknik pemeriksaan kualitas dan perkembangan embrio dalam telur dengan meneropong telur menggunakan sumber cahaya untuk mengamati struktur internal seperti posisi embrio, pembuluh darah, rongga udara, dan cacat telur.

Dalam penerapannya pada sistem berbasis digital, metode *candling* dikombinasikan dengan proses pengambilan citra menggunakan kamera, seperti ESP32-CAM. Sumber cahaya LED ditempatkan sebagai media penetrasi cahaya, kemudian citra hasil transmisi cahaya melalui cangkang telur ditangkap dan diproses secara digital. Perbedaan pola intensitas cahaya antara telur fertil dan infertil menjadi dasar analisis lebih lanjut menggunakan metode pengolahan citra atau algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN), sehingga proses identifikasi dapat dilakukan secara otomatis, lebih objektif, dan memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan pengamatan manual. Metode *Candling* digital dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Perbandingan Hasil Citra Candling Telur Fertil dan Non-Fertil

¹¹ Need-For-Power Motor Co., Ltd. (n.d.). *Gear motor data sheet: Model NFP-5840R-520105-31-4.0DZ* [Data sheet]. Diakses pada 20 Februari 2026, dari : <https://www.nfpmotor.com>

2.1.11 Dimmer DC

Menurut Rifdian I.S. dan Hartono (2018), *Pulse Width Modulation* (PWM) merupakan teknik pengendalian daya yang banyak digunakan pada sistem arus searah (DC) dengan cara mengatur *duty cycle* sinyal digital yang dibangkitkan oleh mikrokontroler. Perubahan nilai *duty cycle* menyebabkan perubahan nilai daya rata-rata yang diterima oleh beban sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor DC maupun mengatur besar kecilnya daya yang disalurkan ke perangkat elektronik DC.

DC Dimmer merupakan modul elektronik yang menerapkan prinsip PWM untuk mengatur besarnya daya keluaran menuju beban DC tanpa mengubah tegangan sumber secara langsung. Teknik ini memiliki efisiensi yang tinggi karena komponen *switching* hanya bekerja pada kondisi *ON* dan *OFF*, sehingga rugi-rugi daya relatif kecil dibandingkan metode pengaturan tegangan secara linier. Selain itu, pengaturan berbasis PWM mampu menghasilkan pengendalian intensitas yang lebih stabil dan presisi.

Pada penelitian ini, DC Dimmer digunakan untuk mengatur intensitas cahaya LED putih yang berfungsi sebagai sumber pencahayaan pada proses *candling* telur ayam. Pengaturan intensitas cahaya diperlukan agar cahaya yang menembus cangkang telur berada pada kondisi optimal sehingga kamera ESP32-CAM dapat memperoleh citra dengan kualitas yang baik. Intensitas cahaya yang terlalu rendah menyebabkan struktur bagian dalam telur sulit diamati, sedangkan intensitas yang terlalu tinggi dapat menimbulkan pantulan cahaya (*glare*) yang mengurangi kualitas citra. Oleh karena itu, penggunaan DC Dimmer berperan dalam menghasilkan pencahayaan yang stabil sehingga proses klasifikasi telur fertil dan infertil menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dapat dilakukan dengan lebih akurat. Dimmer DC dapat dilihat pada Gambar 2.10.

PWM DIMMER
DC Motor Speed Controller
12-40VDC 10A



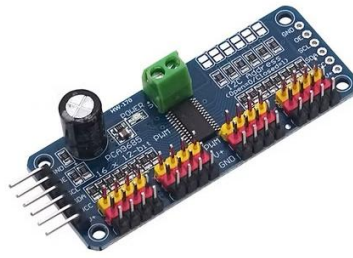
Gambar 2.10 PWM Dimmer¹²

2.1.12 PCA9685 PWM Driver

Menurut Putra, Piarsa, dan Wibawa (2026), PCA9685 merupakan modul *Pulse Width Modulation* (PWM) driver yang digunakan sebagai pengendali beberapa motor servo melalui komunikasi *Inter-Integrated Circuit* (I²C). Penggunaan modul PCA9685 memungkinkan mikrokontroler, seperti ESP8266 atau ESP32, mengendalikan banyak motor servo secara bersamaan tanpa harus menghasilkan sinyal PWM secara langsung pada setiap pin keluaran. Dengan demikian, beban pemrosesan mikrokontroler dapat dikurangi sehingga kinerja sistem menjadi lebih efisien.

Dalam penelitian ini, PCA9685 PWM Driver digunakan sebagai pengendali motor servo yang berfungsi menggerakkan mekanisme *gate* dan pengarah telur pada sistem monitoring dan sortir telur ayam fertil otomatis. Penggunaan PCA9685 dipilih karena mampu menghasilkan sinyal PWM yang lebih stabil sehingga pergerakan motor servo menjadi lebih presisi. Selain itu, modul ini membantu mengurangi beban kerja mikrokontroler selama proses pengolahan citra menggunakan ESP32-CAM dan Arduino UNO, sehingga keseluruhan sistem dapat bekerja dengan lebih optimal. PCA9685 dapat dilihat pada Gambar 2.11.

¹² Dutapart. (n.d.). *PWM DC 12-40V 10A Dimmer Motor Speed Controller 12-40VDC Lampu LED*. Tokopedia. Diakses pada 29 Juli 2026, dari : <https://www.tokopedia.com/dutapart/pwm-dc-12-40v-10a-dimmer-motor-speed-controller-12-40vdc-lampu-led>



Gambar 2.11 PCA9685¹³

2.1.13 Arduino Uno

Menurut Rindo (2025), Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler (*microcontroller board*) berbasis ATmega328P yang dirancang sebagai platform *open-source* untuk mempermudah pengembangan sistem elektronika dan otomasi. Arduino Uno dilengkapi dengan 14 pin digital *input/output*, dimana 6 pin dapat digunakan sebagai keluaran *Pulse Width Modulation* (PWM), serta memiliki 6 pin analog *input* yang dapat digunakan untuk membaca sinyal analog dari berbagai sensor. Selain itu, Arduino Uno juga dilengkapi dengan osilator kristal 16 MHz, konektor USB, jack catu daya, header ICSP, dan tombol reset sehingga mendukung proses pemrograman maupun komunikasi dengan komputer.

Arduino Uno dikembangkan untuk memberikan kemudahan dalam proses perancangan sistem berbasis mikrokontroler karena didukung oleh Arduino IDE yang menggunakan bahasa pemrograman berbasis C/C++. Platform ini juga menyediakan berbagai pustaka (*library*) yang memudahkan integrasi dengan sensor, aktuator, maupun modul komunikasi sehingga banyak digunakan pada bidang robotika, sistem kendali, serta otomasi industri.

Pada penelitian ini, Arduino Uno digunakan sebagai pengendali utama beberapa perangkat keras, seperti sensor dan aktuator, yang bekerja secara terintegrasi dengan sistem monitoring serta proses penyortiran telur ayam fertil otomatis. Arduino Uno bertugas menerima data dari sensor, mengolah informasi sesuai program yang telah dibuat, kemudian mengendalikan perangkat keluaran

¹³ Shenzhen Zhenghongtong Technology Co., Ltd. (n.d.). *PCA9685 16-channel 12-bit PWM servo motor driver I2C module*. Made-in-China. Diakses pada 29 Juli 2026, dari : https://id.made-in-china.com/co_szhenghongtong/product_PCA9685-16-Channel-12-Bit-PWM-Servo-Motor-Driver-I2c-Module_yshhogoseg.html

sehingga keseluruhan sistem dapat bekerja secara otomatis dan terkoordinasi. Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Arduino Uno R3¹⁴

2.1.14 Visual Code Studio

Menurut Murani dkk. (2025), *Visual Studio Code* (VS Code) merupakan editor kode sumber (*source code editor*) yang dikembangkan oleh Microsoft dan dirancang untuk mendukung berbagai bahasa pemrograman melalui sistem ekstensi. *Visual Studio Code* menyediakan antarmuka yang ringan, mudah digunakan, serta memiliki berbagai fitur seperti *syntax highlighting*, *IntelliSense*, *code completion*, *debugging*, dan integrasi dengan Git, sehingga mampu meningkatkan produktivitas pengembang perangkat lunak.

Visual Studio Code banyak digunakan dalam proses pengembangan aplikasi karena mendukung berbagai platform sistem operasi, seperti Windows, Linux, dan macOS. Selain itu, editor ini menyediakan ribuan ekstensi yang memungkinkan pengguna menyesuaikan lingkungan pengembangan sesuai dengan kebutuhan proyek, baik untuk pengembangan aplikasi web, desktop, maupun sistem berbasis *Internet of Things* (IoT). Berdasarkan hasil penelitian Murani dkk. (2025), penggunaan *Visual Studio Code* memberikan kemudahan bagi pengguna, khususnya mahasiswa pemula, dalam memahami pemrograman karena memiliki tampilan yang sederhana, fitur pelengkap yang lengkap, serta proses instalasi dan konfigurasi yang relatif mudah.

Pada penelitian ini, *Visual Studio Code* digunakan sebagai perangkat lunak untuk mengembangkan program pada sistem monitoring dan sortir telur ayam fertil otomatis. *Visual Studio Code* dimanfaatkan dalam proses penulisan, pengeditan, serta pengujian kode program yang berkaitan dengan pengolahan citra, komunikasi

¹⁴ Wikipedia contributors. (2026). *Arduino Uno*. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Diakses pada 29 Juli 2026, dari : https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno

data, dan integrasi sistem sehingga proses pengembangan perangkat lunak menjadi lebih efektif dan terstruktur. *Visual Studio Code* dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 *Visual Studio Code*¹⁵

2.2 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitiannya yang berjudul Astuti dkk.,(2025) dalam penelitiannya yang berjudul "Rancang Bangun Pemilah Telur Fertil dan Infertil Pada Telur Bebek Menggunakan Sensor Infrared dan *Image Processing*" mengembangkan sebuah sistem yang mampu memilah telur bebek fertil dan infertil secara otomatis. Alat ini menggunakan sensor inframerah untuk mendeteksi keberadaan objek dan webcam untuk mengambil gambar yang kemudian diproses menggunakan *image processing*. Berdasarkan 45 kali pengujian, sistem ini mencapai akurasi sebesar 88,8%.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Noviani dkk.,(2024) dalam penelitian "Rancang Bangun Sistem Pemisah Telur Fertil dan Infertil Otomatis dengan Metode *Convolutional Neural Network* (CNN)" bertujuan untuk membuat sistem otomatis yang bisa membedakan telur fertil dan infertil. Alat ini berfungsi untuk mengklasifikasi kondisi telur berdasarkan gambar yang diolah menggunakan metode CNN.

Penelitian yang dilakukan Arini dkk.,(2020) berjudul "Identifikasi Embrio dalam Telur Berbasis *Image Processing*". Fungsi dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan memisahkan telur yang berembrio (fertil) dari yang tidak berembrio (infertil) dengan memanfaatkan digital *image processing* untuk mencapai hasil yang lebih akurat daripada metode konvensional.

Selanjutnya, Ahmad Abdullah Ranu Sentono.,(2020) melakukan penelitian

¹⁵ Yukcoding, "Tentang Visual Studio Code," *Yukcoding*, diakses pada 29 Juli 2026, <https://yukcoding.id/tentang-visual-studio-code/>.

berjudul "Rancang Bangun Inkubator Penetas Telur Berbasis *Internet of Things*". Penelitian ini bertujuan untuk membuat inkubator penetas telur ayam yang memanfaatkan teknologi IoT sebagai pengganti peran induk ayam dalam mengerami telurnya.

Penelitian oleh Dian Suandi dkk.,(2023) berjudul "Implementasi ESP32 CAM pada Pemantauan Penetasan Telur Ayam Berbasis Notifikasi Telegram" bertujuan untuk mengembangkan mesin penetas telur berkapasitas 50 butir. Alat ini menggunakan ESP32-CAM untuk mengambil gambar di dalam mesin penetasan dan mengirimkan notifikasi melalui Telegram ketika telur menetas.

Penelitian yang dilakukan oleh Davison Musara dkk., (2024) dalam penelitian "*Design of an AI-based egg fertility detection system for incubators*" bertujuan untuk mengembangkan sistem pendeteksi fertilitas telur yang lebih andal, akurat, dan berkelanjutan menggunakan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). Sistem ini berfungsi dengan menggunakan kamera untuk mengambil gambar telur di awal masa inkubasi. Persentase keberhasilan dari penelitian ini tidak disebutkan dalam dokumen.

Penelitian "*Fertility Detection of Hatching Eggs Based on a Convolutional Neural Network*" Geng dkk., (2019) bertujuan untuk mendeteksi fertilitas telur tetas secara akurat. Alat ini berfungsi dengan menggabungkan *Convolutional Neural Network* (CNN) dan sinyal detak jantung telur. Penelitian ini menunjukkan keberhasilan dengan dua model yang dilatih, E-CNN dan SR-CNN, yang masing masing mencapai akurasi 99,50% dan 99,62% pada set pengujian.

Selanjutnya, Çevik dkk., (2022) dalam penelitian "*Deep Learning Based Egg Fertility Detection*" menggunakan teknik Mask R-CNN dan model transfer *learning* untuk mendeteksi telur fertil dan infertil. Alat ini berfungsi untuk melakukan deteksi, klasifikasi, dan segmentasi telur berdasarkan gambar inkubator dengan satu model *deep learning*.

Penelitian yang dilakukan oleh Saifullah dkk., (2021) dalam penelitian "*Identification of chicken egg fertility using SVM classifier based on first-order statistical feature extraction*" bertujuan untuk mengidentifikasi fertilitas telur ayam. Alat ini berfungsi dengan menggunakan metode *Support Vector Machine* (SVM) untuk klasifikasi berdasarkan ekstraksi fitur *first-order statistical* (FOS).

Terakhir, dalam penelitiannya yang berjudul "Penerapan Algoritma *Convolutional Neural Network* dalam Klasifikasi Telur Ayam Fertil dan Infertil Berdasarkan Hasil *Candling*", Firdaus, (2021) bertujuan untuk melakukan klasifikasi telur ayam fertil dan infertil. Penelitian ini berfungsi dengan menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk klasifikasi berdasarkan gambar hasil *candling*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem ini berhasil mencapai akurasi sebesar 98% dan tingkat kesalahan sebesar 5% dalam membedakan kedua jenis telur.

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Tujuan/Fungsi	Kelebihan	Kekurangan
1.	Rancang Bangun Pemilah Telur Fertil dan Infertil Pada Telur Bebek Menggunakan Sensor Infrared dan <i>Image Processing</i> (Astuti , 2025)	Memilah telur fertil dan infertil secara otomatis menggunakan sensor inframerah dan <i>image processing</i> .	Pada System ini memiliki keunggulan dalam membuat <i>website</i> sebagai pengecekan data telur.	Pada penelitian ini tidak menampilkan nilai akurasi dan <i>error</i> saat pengujian serta tidak ada <i>system</i> sortir
2.	Rancang Bangun Sistem Pemisah Telur Fertil dan Infertil Otomatis dengan Metode <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN) (Noviani, 2024)	Melakukan Klasifikasi telur fertil dan infertil dengan menggunakan metode CNN untuk klasifikasi gambar.	Menggunakan metode <i>Conventional Neural Network</i> mendapatkan akurasi yang tinggi	Pada Penelitian ini belum mempunyai <i>system</i> sortir otomatis dan peletakan otomatis
3.	Identifikasi Embrio dalam Telur Berbasis <i>Image Processing</i> (Arini ,2020)	Mengidentifikasi dan memisahkan telur berembrio (fertil) dari yang tidak berembrio	Menggunakan Metode <i>Thining</i> yang berfokus pada object yang	Pada Penelitian ini belum adanya <i>system</i> sortir otomatis dan tidak ada

No.	Judul Penelitian	Tujuan/Fungsi	Kelebihan	Kekurangan
		(infertil) dengan digital <i>image processing</i> .	terdapat pada dalam telur	menampilkan nilai akurasi
4.	Rancang Bangun Inkubator Penetas Telur Berbasis <i>Internet of Things</i> (Ahmad Abdullah, 2020)	Merancang dan membangun inkubator penetas telur ayam berbasis IoT sebagai pengganti induk ayam.	Sistem nya sudah berbasis iot dengan melakukan pengontrolan suhu inkubator	Sistem ini bukan merupakan system klasifikasi telur fertile dan infertil
5.	Implementasi ESP32-CAM pada Pemantauan Penetasan Telur Ayam Berbasis Notifikasi Telegram (Dian Suandi, 2023)	Mengembangkan mesin penetas telur dengan ESP32-CAM untuk memantau penetasan dan mengirimkan notifikasi via Telegram.	Memungkinkan pemantauan visual secara <i>real-time</i> dan notifikasi otomatis.	Penelitian ini peneliti lebih berfokus pada <i>system</i> pemantauan penetasan telur
6.	<i>Design of an AI-based egg fertility detection system for incubators</i> (Davison Musara, 2024)	Mengembangkan sistem pendeteksi fertilitas telur yang andal menggunakan Metode CNN	Memiliki <i>dashboard</i> pengujian CNN yang baik dalam klasifikasi	Penelitian ini masih tidak memiliki <i>system</i> sortir dan peletakan telur yang manual
7.	<i>Fertility Detection of Hatching Eggs Based on a Convolutional Neural Network</i> (Geng, 2019)	Mendeteksi fertilitas telur tetap secara akurat dengan	Penelitian ini berfokus pada <i>image processing</i> menggunakan	Penelitian ini tidak memiliki alat sortir dan masuknya telur hanya

No.	Judul Penelitian	Tujuan/Fungsi	Kelebihan	Kekurangan
		menggunakan metode CNN	CNN saja dan mendapatkan akurasi yang baik	menggunakan metode penyinaran.
8.	<i>Deep Learning Based Egg Fertility Detection</i> (Çevik, 2022)	Mendeteksi, mengklasifikasi, dan mensegmentasi telur fertil dan infertil menggunakan metode <i>Mask R-CNN</i>	Menggunakan model <i>deep learning</i> canggih untuk beberapa tugas dalam satu model.	Pada Penelitian ini belum adanya system sortir otomatis dan juga masih memerlukan bantuan dari manusia
9.	<i>Identification of chicken egg fertility using SVM classifier based on first-order statistical feature extraction</i> (Saifullah, 2021)	Mengidentifikasi fertilitas telur ayam menggunakan metode <i>image Processing Support Vector Machine</i> (SVM)	Menggunakan metode SVM yang mempunyai nilai akurasi yang baik dengan rata rata 84,57%	Pada Penelitian ini belum melakukan pembuatan alat sortir dan peletakan hanya klasifikasi.
10	Penerapan Algoritma <i>Convolutional Neural Network</i> dalam Klasifikasi Telur Ayam Fertil dan Infertil Berdasarkan Hasil <i>Candling</i> (Firdaus, 2021)	Mengklasifikasikan telur ayam fertil dan infertil secara otomatis menggunakan <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN).	Memiliki nilai akurasi percobaan yang tinggi 98%	Hanya Melakukan Uji Pembacaan Telur Fertil / Tidak dan tidak membuat alat