

BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini akan dibahas tinjauan pustaka yang berisikan mengenai penelitian terdahulu yang memiliki relevansi dan juga teori-teori tentang komponen maupun *tools* yang dipakai dalam pembuatan rancang bangun sistem pengujian kualitas daging sapi otomatis menggunakan ESP32-Cam berbasis *You Only Look Once* (YOLO).

2.1 Tinjauan Pustaka

Setelah dilakukan studi literatur baik dari konferensi internasional maupun beberapa jurnal dan *paper*, didapatkan beberapa penelitian yang menjadi inspirasi. Beberapa penelitian bisa dilihat di **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka

NO	Judul Penelitian	Keterangan	Penulis
1	Identifikasi Kandungan Formalin dan Kesegaran Daging Sapi dengan Image Processing	Penelitian ini berhasil mengidentifikasi kandungan formalin dengan sensor HCHO dan mendeteksi tingkat kesegaran daging sapi menggunakan metode YOLO secara real-time dengan tingkat akurasi identifikasi yang menurun seiring waktu penyimpanan.	Sayyid Abdul Aziz, Zulaika, Aan Febriansyah, Nur Khasanah.
2	Klasifikasi Kesegaran Daging Sapi Menggunakan Deep Learning Arsitektur VGG16 dengan Augmentasi Citra.	Penelitian ini berhasil mengklasifikasikan kesegaran daging sapi menggunakan metode CNN arsitektur VGG16 dengan akurasi tertinggi sebesar 97,14% dan validasi mencapai 98,68% setelah dilakukan augmentasi citra dan pelatihan model.	Benny Elia, Dewa Made Bayu Atmaja Darmawan.

3	Sistem Identifikasi Kualitas Daging Sapi dengan Metode Pengolahan Citra Menggunakan Telepon Seluler dengan Sistem Operasi Android.	Penelitian ini berhasil mengidentifikasi kualitas daging sapi berdasarkan marbling score menggunakan pengolahan citra pada smartphone Android dengan algoritma pohon keputusan, menghasilkan akurasi sebesar 90% pada data pelatihan dan 84% pada data pengujian.	Nurul Huda Prasetyo dan Kusworo Adi.
4	Alat Pendeteksi Formalin Menggunakan Deret Sensor HCHO dan MQ-7 dengan Logika <i>Fuzzy</i>	Penelitian ini Membuat alat pendeteksi formalin yang cepat dan praktis dengan menggabungkan dua jenis sensor gas dan logika <i>fuzzy</i> untuk memberikan hasil yang lebih informatif (kadar PPM dan tingkat bahaya).	Cyntiya Laxmi Haura, Indri yanti, Muh pausan.

2.2 Daging

Daging merupakan bahan pangan hewani yang memiliki nilai gizi tinggi. Komposisinya terdiri atas sekitar 75% air, 19% protein, 3,5% senyawa non-protein terlarut, dan 2,5% lemak. Menurut Departemen Pertanian (2009), terdapat sejumlah parameter utama untuk menilai kualitas daging segar, yaitu:

1. Warna menjadi indikator visual pertama dalam menilai kesegaran daging. Warna ini ditentukan oleh kadar dan kondisi pigmen mioglobin, yang dipengaruhi oleh jenis dan umur hewan, pola pakan, aktivitas otot, serta reaksi kimia pasca pematangan. Daging sapi segar idealnya berwarna merah cerah. Segera setelah pematangan, warna daging biasanya tampak merah keunguan, lalu berubah menjadi merah cerah setelah terpapar udara selama 5–15 menit. Jika dibiarkan terlalu lama terkena udara, warnanya akan memudar menjadi merah kecoklatan atau coklat, menandakan penurunan kualitas.

2. Aroma

Daging segar memiliki aroma khas yang segar dan alami, tanpa bau busuk. Aroma ini dipengaruhi oleh jenis hewan, jenis kelamin, umur, pola makan, serta lama dan kondisi penyimpanan. Daging dari hewan jantan dan hewan tua cenderung memiliki aroma lebih kuat dibandingkan betina atau hewan muda. Kerusakan daging biasanya ditandai oleh munculnya bau menyengat akibat terbentuknya senyawa hasil dekomposisi protein oleh mikroorganisme, seperti amonia, hidrogen sulfida (H_2S), indol, dan amin (Kastanya, 2009).

3. Tekstur daging segar bersifat kenyal, tidak keras atau kaku, dan akan kembali ke bentuk semula saat ditekan. Daging yang mulai rusak akan terasa lunak, lembek, dan mudah hancur saat disentuh.
4. Daging segar memiliki permukaan yang kering, tidak berlendir, dan tidak lengket saat disentuh. Sebaliknya, daging busuk terasa lengket dan licin, disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme di permukaan daging.

Kualitas daging dapat dipengaruhi faktor sebelum dan sesudah di pemotongan. Faktor yang dapat mempengaruhi kualitas daging sebelum pemotongan seperti faktor genetik, spesies, jenis kelamin, umur, dan pakan ternak. Sementara faktor yang mempengaruhi kualitas daging setelah pemotongan meliputi metode pelayuan daging, metode pemasakan, kandungan PH daging, serta cara penyimpanan daging yang salah.[9]

Bisa dilihat pada **Gambar 2.1**



Gambar 2. 1 Daging sapi segar dan tidak segar

2.3 Formalin (Formaldehida)

Formalin (formaldehida) merupakan senyawa kimia yang mengandung sekitar 37% formaldehida dan 15% methanol. Formalin adalah cairan yang tidak memiliki warna namun memiliki bau yang sangat menyengat. Larutan formalin adalah senyawa kimia berbahaya dan beracun. Formalin mudah larut dalam air dan terdapat sekitar 37% formaldehida dalam air, digunakan sebagai disinfektan dan untuk mengawetkan spesies biologi. Formalin biasanya digunakan untuk mengawetkan hewan, serangga kecil bahkan manusia salah satunya digunakan untuk mengawet daging, baik itu daging sapi, ayam dan juga daging ikan. Penggunaan formalin pada makanan dapat menyebabkan kerusakan sel yang mengakibatkan kerusakan pada tubuh. Berikut contoh formalin dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2. 2 Formalin kadar 37%

2.4 Deep Learning

Deep Learning lewat arsitektur CNN sebenarnya bekerja mirip cara otak kita mengenali benda, yaitu secara bertahap. Alih-alih diberi instruksi kaku, sistem ini belajar sendiri membedah gambar—mulai dari melihat coretan garis sederhana di lapisan awal, sampai akhirnya paham bentuk utuh objek di lapisan yang lebih dalam. Hebatnya lagi, model ini bisa terus memperbaiki diri melalui proses *backpropagation* agar prediskinya makin akurat.

Kecepatan deteksinya pun makin luar biasa berkat algoritma seperti YOLOv11 yang mampu memindai seluruh bagian gambar secara instan lewat sistem *grid*. Supaya hasilnya maksimal, para pengembang biasanya mengutak-

atik *learning rate* dan *optimizer* untuk menekan tingkat kesalahan. Pada akhirnya, kualitas "kecerdasan" ini diukur lewat metrik seperti *Precision* dan *mAP* untuk menjamin mesin tetap tangguh mengenali objek meski kondisi cahaya atau latar belakangnya berantakan.

2.5 Deteksi Objek

Deteksi objek merupakan salah satu aspek penting dalam bidang *computer vision*, di mana sistem dirancang untuk mengenali dan menentukan posisi objek-objek tertentu dalam suatu gambar. Dengan kemajuan teknologi *deep learning*, pendekatan yang paling banyak digunakan untuk melakukan tugas ini adalah dengan memanfaatkan jaringan saraf konvolusional (*Convolutional Neural Network* atau CNN). CNN berperan dalam mengekstraksi fitur visual dari gambar, yang kemudian digunakan untuk mengenali objek di dalamnya. Beberapa arsitektur CNN yang sering digunakan dalam deteksi objek antara lain R-CNN (*Region-Based Convolutional Neural Network*), SSD (*Single Shot MultiBox Detector*), serta YOLO (*You Only Look Once*). Masing-masing dari model ini dirancang untuk menghasilkan *bounding box*, yaitu kotak pembatas yang menunjukkan lokasi objek yang berhasil terdeteksi dalam gambar. Selain *bounding box*, deteksi objek juga melibatkan *ground truth*, yaitu informasi lokasi sebenarnya dari objek yang digunakan sebagai acuan.

Deteksi objek merupakan pengembangan dari klasifikasi gambar yang bertujuan untuk mengidentifikasi kategori sekaligus melokalisasi posisi objek dalam sebuah bingkai visual. Proses ini dibagi menjadi 2 yang dikerjakan sistem yaitu:

1. Klasifikasi Objek (*Object Clasification*) proses ini menentukan label atau indentitas benda yang tertangkap kamera, Seperti membedakan daging segar dan tidak segar.
2. Lokalisasi Objek (*Object Localization*) proses ini menentukan kordinat spesifik keberadaan benda, yang biasanya direpresentasikan dalam bentuk kotak pembatas atau *Bounding Box*.

Untuk menilai seberapa akurat prediksi lokasi objek tersebut, digunakan suatu metrik evaluasi yang dikenal sebagai *Intersection over Union* (IoU). Nilai IoU dihitung berdasarkan perbandingan antara area tumpang tindih antara *bounding box* hasil prediksi dan *ground truth*, terhadap gabungan area keduanya. Rumus matematisnya adalah:

$$\text{IoU} = \frac{|\text{Predicted Box} \cap \text{Ground Truth}|}{|\text{Predicted Box} \cup \text{Ground Truth}|} \quad (2.1)$$

Nilai IoU berkisar antara 0 hingga 1. Semakin mendekati 1, maka semakin akurat deteksi objek yang dilakukan oleh model. Berdasarkan nilai IoU dan hubungannya dengan data *ground truth*, deteksi objek diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori:

1. *True Positive* (TP): Objek terdeteksi dengan benar, dan nilai IoU melebihi ambang batas yang telah ditentukan.
2. *False Positive* (FP): Sistem mendeteksi objek, namun tidak ada objek yang sesuai (IoU rendah atau tidak ada padanan di *ground truth*).
3. *False Negative* (FN): Objek sebenarnya ada, tetapi tidak berhasil terdeteksi karena tidak ada prediksi yang memenuhi nilai ambang batas IoU.
4. *True Negative* (TN): Umumnya tidak digunakan dalam konteks deteksi objek, karena area kosong atau tanpa objek biasanya tidak masuk dalam perhitungan evaluasi [10].

Alur Proses Deteksi (Image Processing) proses ini menjelaskan apa yang terjadi dari kamera (ESP32-Cam) hingga perintah dikirim ke Arduino:

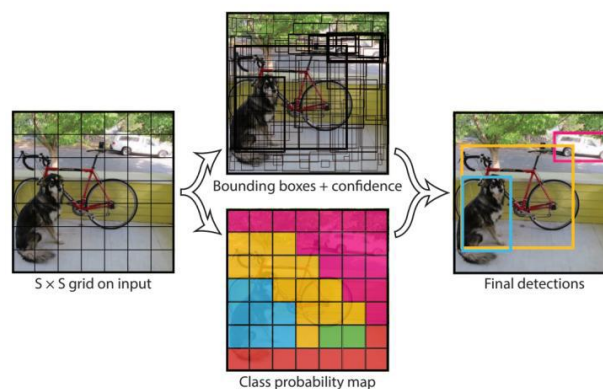
1. Preprocessing dimana gambar dari ESP32-CAM diubah ukurannya (*resize*) menjadi 640 x 640 piksel (standar YOLOv5s).
2. Inference model *best.pt* melakukan pemindaian fitur pada gambar tersebut di Laptop.

3. Non-Maximum Suppression (NMS) bekerja menghapus kotak deteksi yang tumpang tindih sehingga hanya satu kotak terbaik yang muncul di setiap potongan daging.
4. Output *Logic* jika label yang muncul adalah "Busuk" dengan *confidence* di atas 0.5 (50%), Python mengirim sinyal 'N' ke Arduino.

2.4.1 Algoritma Yolo (You Only Look Once)

YOLO adalah algoritma deteksi objek real-time yang menggabungkan proses klasifikasi dan pelokalan objek dalam satu tahap komputasi. Tidak seperti metode dua tahap seperti R-CNN yang memanfaatkan *region proposals* (misalnya Selective Search) sebelum klasifikasi dan regresi, YOLO langsung membagi gambar menjadi grid dan setiap grid cell memprediksi bounding box, confidence score, dan kelas objek secara langsung.

Pendekatan ini menjadikan deteksi objek sebagai masalah regresi tunggal, sehingga jauh lebih cepat dan efisien. Setiap bounding box terdiri dari lima nilai: koordinat pusat (x, y), dimensi (w, h), dan confidence score. Karena bersifat end-to-end, YOLO sangat cocok untuk aplikasi waktu nyata. Bisa dilihat dibawah untuk prinsip dasar ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.

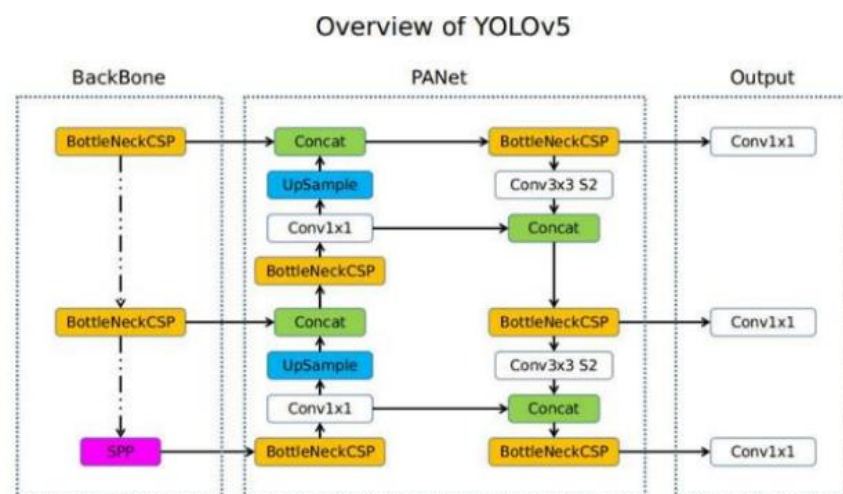


Gambar 2.3 Deteksi objek algoritma yolo.

Setiap *bounding box* yang diprediksi oleh YOLO terdiri dari lima elemen utama: koordinat pusat (x, y), lebar (w), tinggi (h), serta *confidence score* yang menunjukkan tingkat keyakinan terhadap keberadaan objek. Pendekatan ini menjadikan deteksi objek sebagai satu permasalahan regresi terpadu, bukan kombinasi klasifikasi dan pelokalan terpisah. Inilah yang membuat YOLO sangat efisien dan cepat dalam melakukan deteksi secara menyeluruh.[11]

2.4.2 YOLOv5ss

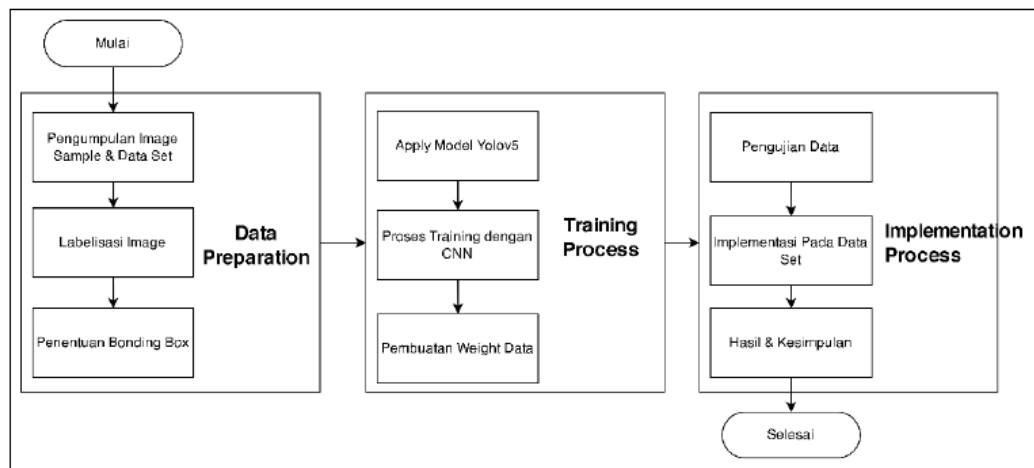
YOLOv5ss merupakan algoritma deteksi objek ganda yang dikembangkan oleh Ultralytics. Secara keseluruhan, arsitektur YOLOv5s terdiri dari tiga komponen utama: backbone, neck dan head. Dalam YOLOv5s, berbagai teknik augmentasi data diterapkan untuk meningkatkan kemampuan model dalam melakukan generalisasi dan mengurangi overfitting. Proses dimulai saat kamera ESP32-CAM secara otomatis mengambil citra daging setelah sensor infrared proximity mendeteksi keberadaan objek di belt konveyor. Citra yang diperoleh kemudian dikirim ke perangkat pemroses seperti komputer atau server yang telah dilengkapi model YOLOv5s. Untuk arsitektur YOLOv5s bisa dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Arsitektur YOLOv5ss

Pada **Gambar 2.4** sebelum masuk ke tahap inferensi, gambar melalui proses pra-pemrosesan: ukuran diubah menjadi 640×640 piksel, format warna dikonversi ke RGB, dan nilai piksel dinormalisasi. Gambar yang telah disiapkan kemudian dianalisis oleh model yang sebelumnya telah dilatih untuk mengenali ciri visual daging segar dan tidak segar.

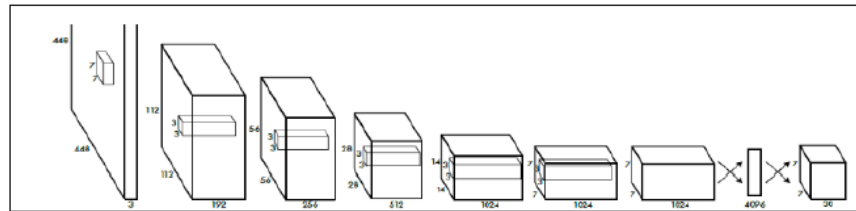
Model menghasilkan *bounding box*, nilai confidence, dan label klasifikasi untuk setiap objek yang terdeteksi. Selanjutnya, sistem menerapkan *Non-Maximum Suppression* (NMS) untuk mengeliminasi deteksi ganda dan mempertahankan hasil dengan tingkat kepercayaan tertinggi. Output akhir berupa label seperti “daging_segar” atau “daging_busuk” beserta skor confidence dikirim ke mikrokontroler Arduino Mega melalui koneksi serial. Berdasarkan informasi ini, Arduino mengendalikan motor servo untuk menyortir daging ke tempat yang ditentukan. Berikut tahapan penelitian yang akan di terapkan pada YOLOv5s ditunjukkan pada gambar **Gambar 2.5**. [12]



Gambar 2. 5 Tahap penelitian YOLOv5s.s

Terdapat 3 tahapan yang akan dilakukan yaitu: data preparation, *training* process, dan implementation. Cara kerja YOLOv5ss adalah tambahan terbaru untuk seri YOLO. YOLOv5ss ditingkatkan di atas dasar YOLOv4 dan kecepatan eksekusi sangat ditingkatkan, kecepatan tercepat mencapai 10 fps. Sementara itu, ukuran YOLOv5s kecil dan ukuran file

hampir 90% lebih kecil dari YOLOv4, yang memungkinkan implementasi YOLOv5s untuk perangkat terintegrasi. Dibandingkan dengan YOLOv4, YOLOv5s memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dan pengenalan objek kecil yang lebih baik. Cara kerja kedua dalam implementasi algoritma yolo adalah membagi objek menjadi beberapa bagian atau, *grid* tersebut bisa menjadi 9 *grid* atau lebih. dari setiap *grid* dilakukan konvolusi-konvolusi untuk mendapatkan garis-garis prediksi yang digunakan yolo untuk mendeteksi benda yang terdapat didalam *grid*.



Gambar 2. 6 Arsitektur jaringan saraf konvolusi (CNN) *Convolutional Neural Network*

Pada **Gambar 2.6** diberitahukan proses konvolusi gambar Setelah mendapatkan *grid* pada objek maka disetiap *grid* dilakukan proses perhitungan matriks, masing-masing *grid* memiliki matriks. Proses selanjutnya yakni melakukan pengisian matriks pada setiap *grid*, dalam 1 *grid* akan dilakukan pengecekan jumlah objek didalam *grid*, kemudian *grid* beberapa, titik engker dan pencarian kriteria. Proses selanjutnya adalah mengisi matriks yang memiliki prediksi objek dengan propabilitas tinggi didalam *grid*. Seperti mendapatkan ciri-ciri yang dimiliki oleh objek yang dicari. Setelah mendapatkn bonderis disetiap *grid* maka dilakukan proses menghilangkan prediksi yang memiliki propabilitas rendah dan menjadikan 1 bonderis, YOLOv5s menggunakan pendekatan *single-stage detector* yang membagi gambar ke dalam kisi-kisi (*grids*). Setiap kisi bertanggung jawab untuk memprediksi kotak pembatas (*bounding box*) dan probabilitas kelas secara bersamaan.

- Backbone (CSP-Darknet53) Berfungsi sebagai pengekstrak fitur utama dari gambar daging yang ditangkap ESP32-CAM.

- *Neck (PANet)* Menggabungkan fitur-fitur dari berbagai skala gambar agar objek kecil (1 x 1 cm) tetap terdeteksi dengan akurat.
- *Head* atau bagian akhir yang memprediksi lokasi objek, skor kepercayaan (*confidence score*), dan klasifikasi ("Segar" atau "Busuk").

Dan terakhir adalah menggunakan teknologi *INTERSECTION OVER UNION AND NON-MAX* Untuk menghasilkan prediksi akhir [13]

2.4.3 Evaluasi Performa Object Detection

Untuk menilai kinerja dan kemampuan suatu model deteksi objek, digunakan sejumlah metrik evaluasi seperti *precision*, *recall*, *mean Average Precision* (mAP), serta metode *confusion matrix* yang umum digunakan dalam evaluasi klasifikasi. Confusion matrix menyajikan informasi dalam bentuk tabel yang memperlihatkan perbandingan antara prediksi model dengan kondisi aktual (*ground truth*), sehingga dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai akurasi dan ketepatan klasifikasi model tersebut. Penilaian performa model memerlukan empat komponen utama, yaitu:

- True Positive (TP): Prediksi benar saat objek memang ada.
- True Negative (TN): Prediksi benar saat objek memang tidak ada.
- False Positive (FP): Model salah memprediksi ada objek, padahal tidak ada.
- False Negative (FN): Model gagal mendeteksi objek yang sebenarnya ada.

Keempat parameter ini kemudian disusun dalam sebuah confusion matrix seperti yang ditampilkan pada **Gambar 2.7** dibawah ini.[14]

TABEL 1
CONFUSION MATRIX

		Actual Class	
		Positive	Negative
Predicted Class	Positive	True Positive (TP)	False Positive (FP)
	Negative	False Negative (FN)	True negative (TN)

Gambar 2. 7 Tabel confusion matrix.

Dan untuk mengetahui performa sebuah model, maka dibutuhkan suatu persamaan untuk mengetahui nilai *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F-1 score*. Berikut persamaan dari nilai-nilai tersebut diantaranya:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{(TP+TN+FP+FN)} \times 100\% \quad (2. 2)$$

$$Precision = \frac{TP}{(TP+FP)} \quad (2. 3)$$

$$Recall = \frac{TP}{(TP+FN)} \quad (2. 4)$$

$$F1 - Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision+Recall} \quad (2. 5)$$

Nilai-nilai di atas menjadi dasar dalam menghitung *Average Precision* (AP), yang diperoleh dari area di bawah kurva *precision-recall*. Untuk mendapatkan nilai keseluruhan dari performa model terhadap semua kelas, digunakan *mean Average Precision* (mAP). Nilai mAP diperoleh dengan menghitung rata-rata dari AP pada setiap kelas, yang dapat dituliskan sebagai:

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \int_0^1 p_i(r) dr \quad (2. 6)$$

2.4.4 OpenCV

OpenCV (OpenSource Computer Vision Library) adalah pustaka pemrograman open-source yang ditujukan untuk aplikasi pengolahan citra dan visi komputer secara real-time. OpenCV digunakan untuk mendukung proses preprocessing citra yang diambil dari ESP32-CAM sebelum dimasukkan ke dalam model YOLOv5s. Operasi utama dalam preprocessing mencakup resizing, konversi warna, dan normalisasi nilai piksel. Berikut tahapan dalam penggunaan Open CV:

1. Membaca gambar pada tahapan ini OpenCV akan membaca gambar terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam model YOLOv5snya.
2. *Resize* gambar pada tahap ini gambar akan di ubah ukurannya terlebih dahulu agar nantinya bisa ditampilkan ke dalam yolonya dengan rumus; $I'(x, y) = I\left(\frac{x \cdot W}{w'}, \frac{y \cdot H}{H'}\right)$, Dimana $W' \times H'$ adalah ukuran dari target (misalkan 640x640) sesuaikan dengan keperluan YOLOv5s.
3. Konversi Warna OpenCV menggunakan format BGR, tapi YOLOv5s s membutuhkan format RGB: `img_rgb = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2RGB)`. Codingan dari Bahasa python untuk merubah format ke RGB.
4. Normalisasi ini penting agar nilai piksel berada pada rentang 0–1 untuk mempercepat proses komputasi pada model deep learning.
5. Bounding Box Visualisasi, dengan code seperti dibawah:

`cv2.rectangle(img, (xq, x2), color, thickness)` (2. 7)

2.6 Komponen dan Software Yang Digunakan

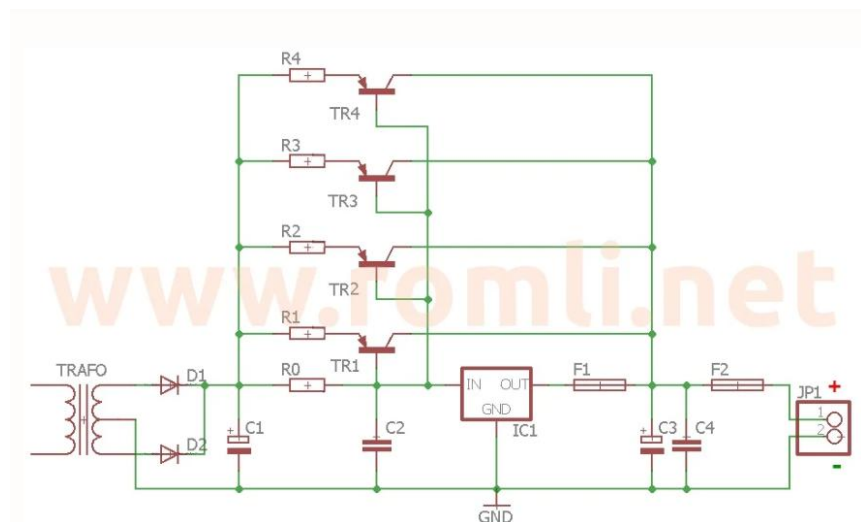
2.6.1 Power Supply Unit

Power Supply Unit atau catu daya merupakan komponen elektronik yang menyuplai energi listrik ke perangkat yang terhubung. Secara fundamental, catu daya berfungsi sebagai penyearah dan filter karena mengonversi arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Dalam penelitian ini digunakan switching power supply 12 V 20 A, yang bekerja

melalui empat tahap utama penyearahan, penyaringan, regulasi, dan proteksi internal.



(a) Power Supply Unit



(b) Skematik rangkaian PSU

Gambar 2.8. *Power Supply 12V 30A* (a) Modul PSU; (b) Skematik PSU

PSU ini dipilih karena mampu menyediakan arus besar secara kontinu, serta memiliki stabilitas tegangan yang baik untuk supply mesin sortir daging. Tegangan keluaran 12 V dari PSU selanjutnya didistribusikan jalur daya terpisah agar setiap kelompok aktuator memperoleh suplai yang sesuai dengan spesifikasi komponennya. Dengan

desain seperti ini, sistem catu daya mampu memberikan suplai yang stabil meskipun seluruh aktuator bekerja secara bersamaan. Spesifikasi Power Supply disajikan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Spesifikasi *Power Supply 12V 20A*

Parameter	Deskripsi
Output Voltage	12 Volt DC
Max Output Current	10 Ampere
Daya Maksimum (Power Output)	240 Watt
Jenis Output	DC Regulated Output

2.6.2 Arduino Atmega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega2560. Papan ini dilengkapi dengan 54 pin digital input/output (di antaranya 15 dapat diatur sebagai output PWM), 16 input analog, 4 UART untuk port serial perangkat keras, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, jack daya, header ICSP, dan tombol reset. Papan ini menyediakan semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler; cukup hubungkan ke komputer menggunakan kabel USB atau nyalakan dengan adaptor AC-ke-DC atau baterai untuk memulai seperti **Gambar 2.9** contoh fisik dari Arduino Atmega 2560.



Gambar 2. 9 Arduino Atmega 2560.

Tentunya *board* mikrokontroler Arduino Mega 2560 ini memiliki spesifikasi untuk dapat memudahkan penggunaanya mengetahui bagian dari *board*. **Tabel 2.3** merupakan spesifikasi *bard* mikrokontroler Arduino Mega 2560.

Tabel 2.3 Spesifikasi Arduino Atmega 2560.

Parameter	Nilai
Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20mA
DC Current for 3,3V Pin	50mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101,52 mm
Width	53,3 mm
Weight	37 g

Arduino Mega 2560 ini dapat dikoneksikan atau dihubungkan dengan laptop maupun PC (*Personal Computer*), pengkoneksian antara *board* mikrokontroler ini adalah dengan menghubungkannya menggunakan kabel

USB. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk memprogram *board* mikrokontroler pada *software* Arduino IDE agar *board* mikrokontroler dapat berjalan sesuai dengan keinginan.

1. Pin 5V merupakan sebuah pin yang mengeluarkan tegangan sebesar 5V. Tegangan 5V akan aktif apabila Arduino Mega 2560 mendapatkan daya yang sesuai dengan batas minimalnya yaitu 7-12 Volt.
2. Pin 3,3V merupakan sebuah pin yang mengeluarkan tegangan sebesar 3,3 Volt dan arus maksimum yang keluar dari pin ini sebesar 50 mA.
3. Pin Vin merupakan pin input tegangan untuk *board* Arduino Mega 2560.
4. GND merupakan pin massa atau *ground*.
5. IOREF merupakan sebuah pin yang berfungsi sebagai referensi tegangan yang beroperasi pada Arduino Mega 2560.
6. Pin Serial merupakan pin yang digunakan untuk menerima (RX) dan juga mengirimkan (TX) data serial TTL. Port Serial: pin 0 (RX), pin 1 (TX); Port Serial 1: pin 19 (RX), pin 18 (TX); Port Serial 2: pin 17 (RX), pin 16 (TX); Port Serial 3: pin 15 (RX), pin 14 (TX).
7. Pin *Interrupt* merupakan pin untuk *triggered* sebuah *interrupt* pada nilai yang rendah dan juga fluktuasi nilai. Pin *interrupt* 0 (pin 2), pin *interrupt* 1 (pin 3), pin *interrupt* 5 (pin 18), pin *interrupt* 4 (pin 19), pin *interrupt* 3 (pin 20), pin *interrupt* 2 (pin 21).
8. Pin TWI merupakan pin yang mendukung komunikasi TWI. Pin SDA (pin 20), pin SCL (pin 21).
9. Pin SPI merupakan pin yang mendukung komunikasi SPI. Pin 50 (MISO), pin 51 (MOSI), pin 52 (SCK), pin 53 (SS).
10. Pin PWM merupakan pin yang mendukung untuk sinyal PWM. Pin 2, pin 3, pin 4, pin 5, pin 6, pin 7, pin 8, pin 9, pin 10, pin 11, pin 12, pin 13, pin 44, pin 45, pin 46.

Spesifikasi	ESP32-Cam
Chip	ESP32-D0WDQ^
Suhu Operasi	-20°C hingga 85°C (Rekomendasi: -10°C hingga 55°C)
Daya	5V DC, 180-200 mA
Memori	520 KB SRAM, 448 KB ROM, 4 MB flash
Sensor Kamera	OV2640 (2 MP)
Berat	10gram
Dimensi	27 × 40.5 × 4.5 mm
Resolusi	1600×1200 (UXGA), 800×600 (SVGA), 640×480 (VGA)
Jangkauan Wi-Fi	50 m (indoor), 100 m (outdoor)
Slot Penyimpanan	MicroSD (hingga 4 GB)
Port I/O	GPIO, I2C, UART, SPI, ADC, DAC

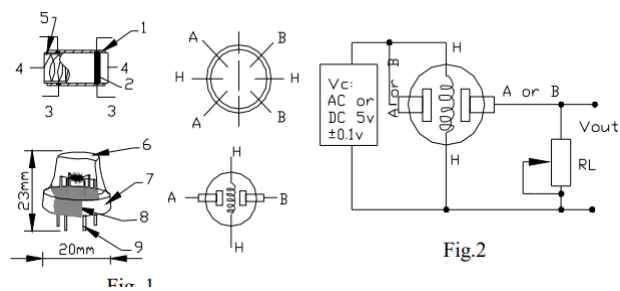
2.6.4 Sensor MQ-138

Sensor gas MQ138 adalah SnO₂, yang memiliki konduktivitas lebih rendah di udara bersih. Ketika ada gas VOC, konduktivitas sensor semakin tinggi seiring dengan meningkatnya konsentrasi gas. Pengguna dapat mengubah perubahan konduktivitas agar sesuai dengan sinyal keluaran konsentrasi.

Sensor gas MQ138 memiliki sensitivitas tinggi terhadap toluena, aseton, alkohol, metanol, juga dapat memantau hidrogen dan uap organik lainnya dengan baik. **Gambar 2.11** merupakan modul MQ-138 dan skematik elektriknya.



(a) Sensor MQ-138



(b) Skematik MQ-138

Gambar 2. 11 MQ-138 (a) Modul Sensor Mq-138; (b) Skematik Mq-138.

Untuk spesifikasi dari sensor MQ-138 atau sensor gas (*formaldehida*) bisa dilihat pada **Tabel 2.6**. Di halaman berikutnya

Tabel 2.5 Spesifikasi modul sensor MQ-138 (*formaldehida*).

Spesifikasi	Nilai/Keterangan
Model	MQ-138
Jenis Sensor	Gas (semikonduktor, resistif)
Gas yang Terdeteksi	Formaldehida (HCHO), Benzena, Alkohol, Aseton, VOC
Tegangan Kerja	DC 5V

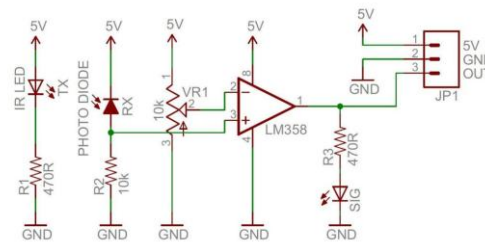
Spesifikasi	Nilai/Keterangan
Arus Kerja	150 mA (maks.)
Keluaran	Analog (AO) & Digital (DO, jika pakai modul)
Rentang Konsentrasi	1–50 ppm (tergantung jenis gas)
Waktu Pemanasan Awal	24jam (untuk kalibrasi optimal)
Waktu Respons	< 10 detik (cepat)
Waktu Pemulihan	< 30 detik
Suhu Operasional	-10 °C ~ 50 °C
Kelembaban Operasional	65 ±5% RH
Ukuran Sensor	Diameter ±16 mm (jika dalam modul)

2.6.5 Sensor IR (*infra-red*) Proximity

Sensor inframerah proximity adalah perangkat elektronik, yang memancarkan untuk merasakan beberapa aspek lingkungan. Sensor IR dapat mengukur panas suatu benda serta mendeteksi gerakan. jenis sensor ini hanya mengukur radiasi infra merah, daripada memancarkannya yang disebut a sensor IR pasif . Biasanya, dalam spektrum infra merah, semua benda memancarkan beberapa bentuk radiasi termal. Untuk bentuk dari sensor IR dan skematik elektriknya bisa dilihat pada **Gambar 2.12** dibawah ini.



(a) Infrared Proximity Sensor



(b) Rangkaian Skematik Infrared Proximity Sensor

Gambar 2.12 . (a) Modul IR proximity Sensor; (b) Rangkaian skematik IR proximity sensor.

Adapun juga untuk spesifikasi dari modul IR proximity ini dapat dilihat pada **Tabel 2.7** dihalaman selanjutnya.

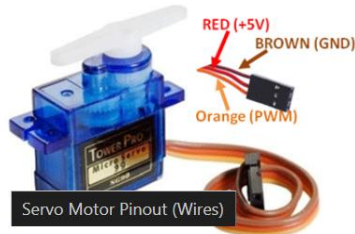
Tabel 2.6 Spesifikasi modul *IR proximity*.

Spesifikasi	IR sensor
Tegangan Operasi	5V DC
Kompatibilitas I/O	5V dan 3.3V
Jarak Deteksi	Hingga 20 cm
Arus Suplai	20 mA
Dimensi	50 × 20 × 10 mm (P × L × T)
Ukuran Lubang	∅ 2.5 mm

2.6.6 Motor Servo

Motor servo adalah motor yang dilengkapi dengan sistem umpan balik (feedback) berupa potensiometer atau encoder untuk mengontrol posisi sudut shaft secara akurat. Servo bekerja berdasarkan sinyal PWM

dengan duty cycle. Digunakan untuk menentukan hasil dari pembacaan dari data yang telah dianalisa di YOLO untuk memilah daging segar atau tidak segar. Untuk jenis yang digunakan motor servonya yaitu SG90 360° seperti pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2. 13 Modul Motor servo SG90 360°.

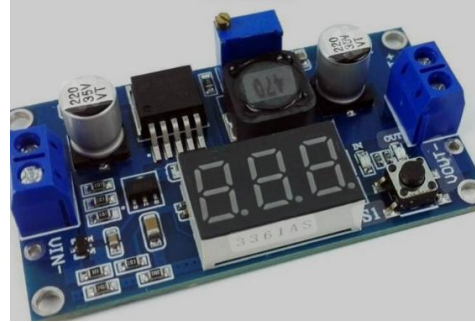
Untuk spesifikasinya bisa dilihat pada **Tabel 2.7** dibawah.

Tabel 2. 7 Spesifikasi *motor servo sg90*.

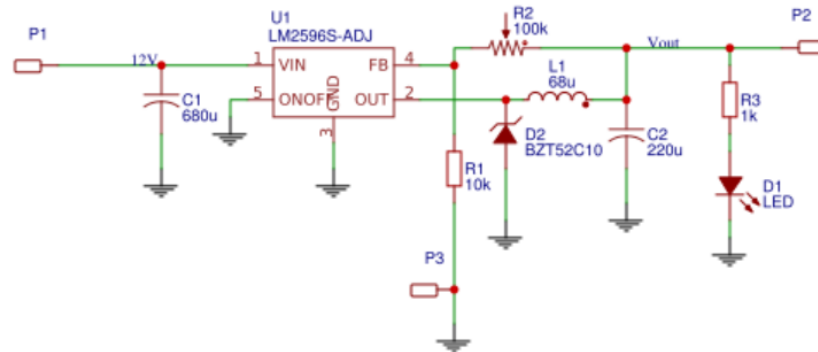
Spesifikasi	Motor Servo SG90
Tegangan	+5V (typical), Toleransi $\pm 0.5V$
Torsi	2.5 kg/cm
Kecepatan operasi	0.1 detik/60°
Tipe gear	Plastic (Nylon)
Range Rotasi	0° - 360°
Berat	9gram

2.6.7 LM2596 (Konverter Buck Dc-Dc Stepdown)

Merupakan IC monolitik merupakan komponen utama dalam rangkaian step down DC power supply, komponen ini menyediakan semua fungsi aktif untuk regulator switching step-down (buck), beban arus maksimal yang dapat dilewatkan pada komponen ini adalah 3A. Digunakan untuk menurunkan tegangan 12V ke tegangan 5V. Bisa dilihat pada **Gambar 2.14** dibawah contoh komponen dan skema elektriknya.



(a) Modul Stepdown Lm2596



(b) Skematik Stepdown Lm2596

Gambar 2. 14 (a) Modul stepdown 12v-3.3; (b) Skematik Stepdown LM2596

Untuk spesifikasi dari komponen ini bisa dilihat pada **Tabel 2.9**.

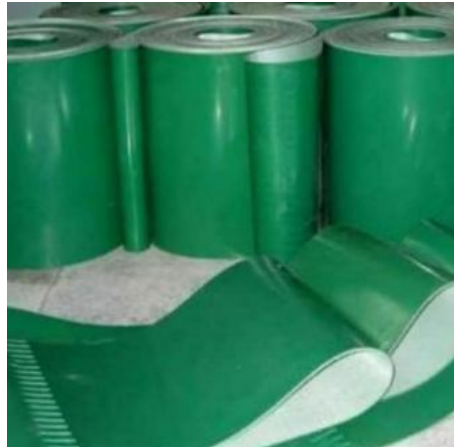
Tabel 2.8 Spesifikasi modul *stepdown* lm2596

Spesifikasi	LM2596
V _{In}	4.4 – 40 VDC
V _{out}	1,23V – 37 dc (adjustable)
Arus output max	2A (stabil) hingga 3A (dengan pendingin tambahan)
Efisiensi	90%
Frekuensi switching	±150 kHz
Fitur Proteksi	Overcurrent, overheat, short-circuit

2.6.8 Belt Konveyer

Merupakan sistem pemindahan barang menggunakan sabuk (belt) yang bergerak terus menerus. Sabuk ini digerakan oleh motor power window yang dipasangkan roller dan pulley sehingga dapat memindahkan

barang atau daging sapi dengan stabil dan cepat. Bisa dilihat dari **Gambar 2.15**.



Gambar 2. 15 Belt Konveyer

2.6.9 Timming belt dan Pulley

Timming belt dan pulley merupakan transmisi sinkron yang esensial dalam konveyer yang mentransfer daya dan pemeliharaan rasio kecepatan sudut secara konstan, karena gigi pada sabuk (belt) berinter-lock secara pas dengan roda (pulley), sehingga secara inheren akan menghilangkan slip yang terjadi pada V-belt. Bisa kita lihat pada **Gambar 2.16**. Merupakan bentuk dari komponennya.



Gambar 2. 16 *Timing Belt and Pulley*

2.6.10 Motor DC Power Window

Motor *power window* adalah Motor DC Magnet Permanen (PMDC) 12V yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi gerak putar. Motor ini menggunakan energi listrik dan magnet untuk menghasilkan gaya mekanis, Operasi motor tergantung pada interaksi dua medan magnet secara

sederhanadikatakan bahwa motor listrik bekerja dengan prinsip bahwa dua medan magnet dapat dibuat berinteraksi untuk menghasilkan gerakan. Tujuan motor dc power window ini untuk menghasilkan gaya yang menggerakkan (torsi), Pada perancangan tugas akhir ini, Penulis menggunakan motor DC ini sebagai motor utama penggerak pada konveyer, Motor bergerak apabila sensor IR- Proximity mengenai daging sapi untuk menghentikan sementara saat proses image processing. Seperti pada gambar motor DC bisa di lihat di **Gambar 2.17**.



Gambar 2. 17 Motor DC Power Window.

Untuk spesifikasi dari komponen ini bisa dilihat pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2.9 Spesifikasi *motor dc power window*.

Parameter	Nilai
Tegangan Nominal	12VDC
Arus operasi normal	3A-8A
Arus Puncak (<i>Starting Current</i>)	30A – 30A
Kecepatan tanpa beban	70 Rpm – 100 Rpm
Torsi maksimum	4 Nm – 15Nm

Pada **Tabel.2.10** diatas menunjukkan motor DC power window memiliki kekuatan torsi yang cukup tinggi. Dimana bisa memungkinkan menggerakkan beban secara stabil. Untuk menentukan suatu beban maksimum pada motor DC, perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus dasar Torsi dan Gaya. Jika mencari torsi output yang dihasilkan setelah melewati *gearbox* dapat kita hitung dengan:

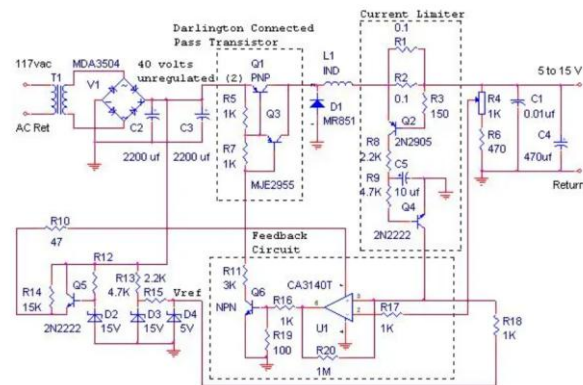
$$\tau_{Out} = \tau_{Motor} \times R_{gearbox} \quad (2.8)$$

2.6.11 Power Supply Unit 12V 30A

Power supply 12V 30A merupakan komponen penting dalam dunia elektronika. Power supply ini berfungsi sebagai sumber daya listrik yang stabil dan handal untuk menjalankan berbagai perangkat elektronik dengan kebutuhan daya 12volt dan arus mencapai 30 ampere seperti **Gambar 2.18 (a,b)** contoh komponen yang digunakan.



(a) Power Supply Unit 12v 30A



(b) Skematik PSU 12V 30A

Gambar 2. 18 (a) Power supply 12V 30A; (b) Skematik PSU 12V 30A

Untuk spesifikasi dari komponen ini bisa dilihat pada **Tabel 2.11**

Tabel 2.10 Spesifikasi *power supply* 12V 30A.

Spesifikasi	PSU 12V 30A
Tegangan Output	12V DC
Arus Output	30A
Daya Maksimum	120W
Input	100–240V AC
Tipe	Switching Power Supply
Proteksi	Overload, short circuit

2.6.12 Push Button

Push Button merupakan saklar tekan yang berfungsi sebagai penyambung atau pemutus arus listrik dari sumber arus ke beban listrik. Suatu system saklar jika ditekan push button terdiri dari saklar start, stop, reset dan saklar tekan untuk *emergency*. Push button memiliki kontak NC (Normally Close) dan NO (Normally Open). Disini penulis menggunakan push button sebagai penanda system ON, OFF conveyer, Membuka menutup motor dc. **Gambar 2.17** diatas.

**Gambar 2. 19** Komponen pushbutton

2.6.13 Driver Motor BTS7960

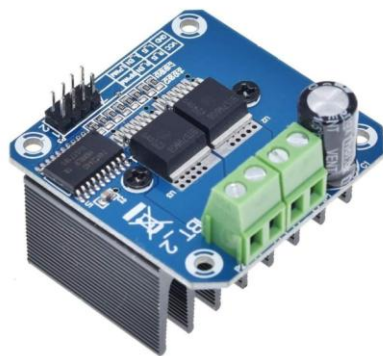
Driver BTS7960 adalah modul half-bridge terintegrasi yang dirancang untuk mengendalikan motor arus tinggi. Modul ini termasuk dalam keluarga NovalithIC™ dan menggabungkan MOSFET *high-side tipe p-channel*, MOSFET *low-side tipe n-channel*, serta IC driver dalam satu kemasan. Penggunaan MOSFET p-channel pada sisi high-side

menghilangkan kebutuhan charge pump, sehingga mengurangi EMI dan menyederhanakan rangkaian. Modul ini kompatibel dengan mikrokontroler dan mendukung kontrol motor berbasis PWM.

Fitur utama BTS7960 meliputi:

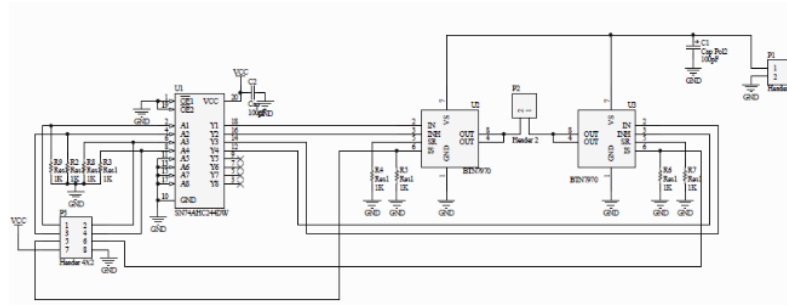
- Input logika level TTL
- Pengukuran arus (*current sensing*)
- Kontrol *slew rate* dan *dead time*
- Proteksi terhadap *overcurrent*, *overvoltage*, *undervoltage*, *overtemperature*, dan short circuit

BTS7960 menjadi solusi efisien dan andal untuk aplikasi motor arus tinggi seperti yang dipakai yaitu motor dc power window yang membutuhkan start arus yang cukup tinggi. **Gambar 2.20** contoh komponen Driver Motor BTS7960.



Gambar 2. 20 Driver Motor BTS7960.

Untuk lebih lengkapnya, **Gambar 2.21** merupakan gambar *schematic* dari *driver* BTS7960 dibawah ini.



Gambar 2. 21 Schematic BTS7960.

Selain dari *schematic* yang menjadikan kita tahu bagaimana cara kerja terperinci dari *driver* BTS7960, Tabel 2.11 merupakan spesifikasi dari driver motor BTS7960:

Untuk spesifikasi dari komponen ini bisa dilihat pada **Tabel 2.12** dibawah ini.(dilanjutkan pada page selanjutnya dibawah)

Tabel 2.11 Spesifikasi driver motor BTS7960.

Parameter	Nilai
Resistansi	16 mΩ pada 25 ° C
Arus Diam	7 μA pada 25 ° C
Catu Daya	5V
PWM freq current	Hingga 25 kHz dengan freewheeling aktif
Batas Arus kuat	43 A
Pengaman Suhu & Tegangan	Pemutusan karena Suhu Berlebih (<i>Over Temperature shutdown</i>), penguncian tegangan berlebih (<i>overvoltage lockout</i>), pemutusan tegangan kurang (<i>undervoltage shutdown</i>)

2.6.14 Google Colab

Google Colaboratory (Colab) merupakan layanan cloud berbasis Jupyter Notebook yang disediakan oleh Google untuk menulis dan mengeksekusi kode Python langsung dari browser tanpa perlu instalasi perangkat lunak tambahan. Google collab digunakan untuk menjalankan proses training dengan menggunakan GPU gratis yang lebih cepat dibandingkan dengan CPU di laptop. Ada beberapa tahap untuk mematangkan model yolo agar bisa di jalankan di python, diantaranya;

- Persiapan Lingkungan collab terlebih dahulu dengan 3 tahap; Pertama Akses GPU merubah *runtime type* colab menjadi GPU seperti T4 GPU, Kedua *Clone repository* atau melakukan *clone* YOLOv5s ke dalam lingkungan colab, Ketiga Instalasi *Dependencies* atau menjalankan perintah pip untuk menginstal semua *liberally* python yang dibutuhkan seperti (PyTorchm OpenCV).
- *Training* dibagi menjadi 4 tahap; Pertama mengunggah dataset ke folder dataset YOLOv5s yang telah di-*export* dari roboflow ke folder *project* YOLOv5s di colab. Kedua memeriksa file data.yaml dengan memastikan *path* ke data *Training* dan *Validation* pada file data.yaml sesuai dengan struktur pada colab. Ketiga mengeksekusi *Training* dengan menjalankan *Script train.py* dengan menggunakan perintah :

```
python train.py --img 640 --batch 16 --epochs 50 --data data.yaml --weights yolov5s.pt
```

- a. weights YOLOv5s.pt: Menggunakan bobot awal YOLOv5s (Transfer Learning)
 - b. epochs: Jumlah perulangan pelatihan.
 - c. data: Merujuk ke file konfigurasi dataset yang dibuat.
- *Output* bobot setelah *training* selesai, model akan menghasilkan file bobot terbaik atau file **best.pt** disimpan pada path *runs/train/exp/weights/* jangan sampai salah dalam menyalin pathnya.

- Kemudian konversi dan optimasi kedalam ONNX dimana file **best.pt** harus diubah formatnya menjadi INNX agar bisa dibaca di pc dengan menggunakan code:

```
python export.py --weights runs/train/expX/weights/best.pt --include onnx
```

- Setelah itu file akan berubah menjadi **best,onnx** ditempatkan sama dengan path **best.pt** sebelumnya.



Gambar 2. 22 Software pendukung Google Collab.

2.6.15 RoboFlow

Roboflow merupakan *platform web* yang memiliki fungsi berhubungan dengan kumpulan dataset. *Roboflow* adalah kerangka kerja pengembang *computer vision* untuk pengumpulan data yang lebih baik hingga prapemrosesan, dan teknik pelatihan model. Dengan menggunakan *Roboflow* dapat membagikan dataset sekaligus memproses dataset tersebut melakukan annotate atau menandai objek yang akan di deteksi menggunakan *bounding box*, selain itu dapat digunakan juga pre-processing pada dataset misalnya melakukan *grayscale*, dan juga *augmentasi* dengan menggunakan *Roboflow*. Digunakan untuk tahap image processing YOLOv5s, **Gambar 2.23** merupakan tampilan logo dari roboflow.



Gambar 2. 23 Software pendukung roboflow.

Berikut tahap pembuatan modul YOLO dan versi yang digunakan yaitu YOLOv5s pada roboflow:

2. Pengumpulan *Datasheet*

- Pengumpulan Gambar yaitu mengambil sejumlah gambar seperti foto daging sapi (Segar dan Tidak Segar) sesuai yang diinginkan lebih banyak lebih baik, dari segi pencahayaan, sudut. Dan latar belakang untuk memastikan model berjalan dengan baik.
- Pembuatan *Project* tahap ini hanya membuat *project* baru dan mengunggah semua gambar mentah pada roboflow.
- Anotasi gambar yaitu pemberian label pada gambar mentah dimana; menggambar *Bounding Box* secara akurat di sekeliling setiap objek daging yang akan di deteksi, Kemudian memberikan label kelas yang konsisten di setiap kotak (Segar dan Tidak Segar).

3. Pra-pemrosesan (*Preprocessing*)

- Langkah ini memastikan semua data memiliki format dan ukuran yang sama, Resize wajib dilakukan untuk masuk kedalam format standar dalam yolo agar performanya lebih efisien dan untuk resolusi semua gambar harus menjadi 640x640 piksel.
- Pembagian data yaitu membagi dataset yang telah dianotasi menjadi 3 set dengan rasio: *Training Set (70%)*, *Validation Set (20%)*, *Testing (10%)*.

4. Augmentasi dan *Export*

- Augmentasi data dengan menerapkan transformasi acak pada *Training set* untuk menciptakan variasi, Seperti *Rotate ($\pm 15^\circ$)*, *Horizontal Flip*, *Brightness ($\pm 10\%$)*.
- *Generate* versi baru untuk menghasilkan dataset baru yang telah diperbanyak dan diperkaya dengan *Augmentation*.
- *Export* format tahap akhir dalam memilih format YOLOv5s Pytorch untuk diunduh. Dan file terpenting dalam model ini yaitu file **data.yaml** yang berisikan konfigurasi kelas dan Lokasi data.

2.6.16 Python

Python merupakan bahasa pemrograman komputer yang biasa dipakai untuk membangun situs, software/aplikasi, mengotomatiskan tugas dan melakukan analisis data. Python berfungsi sebagai Server Logika Utama dan Jembatan Komunikasi yang esensial dalam sistem pengujian kualitas daging Anda, bertanggung jawab untuk semua komputasi berat. Secara *real-time*, *script* Python menggunakan *library* *pyserial* untuk mendengarkan perintah analisis dari Arduino Mega melalui USB, dan pada saat yang sama, menggunakan *library* jaringan untuk mengambil *frame* gambar terbaru dari ESP32-CAM melalui Wi-Fi. Setelah gambar diakuisisi, *script* memuat model YOLO (ONNX/TFLite) yang dioptimalkan untuk menjalankan inferensi visual di PC, menganalisis pola RGB dan tekstur daging.

Hasil klasifikasi akhir ("SEGAR" atau "TIDAK_SEGAR") kemudian segera dikirimkan kembali ke Arduino melalui serial untuk memicu aksi fisik Motor Servo dan menyelesaikan siklus penyortiran.



Gambar 2. 24 Software pendukung python.

2.6.17 Firebase (opsional)

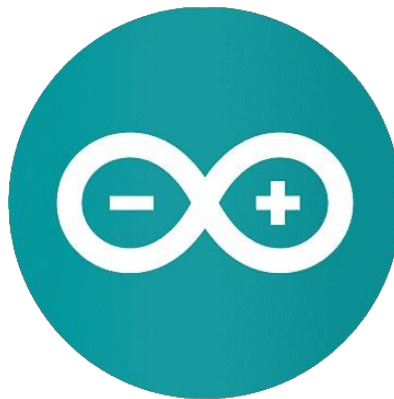
Firebase merupakan platform layanan backend dari Google yang dirancang untuk memudahkan pengembangan aplikasi, terutama dalam hal penyimpanan data, autentikasi pengguna, notifikasi, dan hosting. Platform ini akan digunakan jika nantinya akan memodifikasi terhadap yolo.



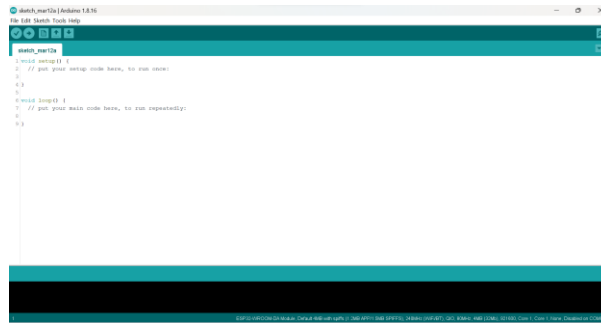
Gambar 2. 25 Software pendukung firebase.

2.6.18 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) merupakan software open-source untuk memprogram mikrokontroler Arduino menggunakan bahasa C/C++ dengan library khusus. *Integrated Development Environment* (IDE) sangat berperan penting dalam pemrograman karena terdapat banyak modul atau *library* yang bisa diunduh dan digunakan sehingga sangat memudahkan ketika membuat program saat sistem di ubah maupun dirancang. Berikut gambar software Arduino IDE ditunjukkan pada **Gambar 2.26**.



Gambar 2. 26 Arduino IDE.



Gambar 2. 27 Tampilan Arduino IDE.

Gambar 2.27 merupakan tampilan dari *software* Arduino IDE. Pada *software* Arduino IDE ini pengguna dapat menuliskan program atau coding yang biasa disebut dengan “*sketch*”, dalam *software* tersebut juga terdapat pilihan *board* serta pengaturan lainnya yang dapat disesuaikan dengan penggunaan.

2.6.19 Ultralytics

Ultralytics adalah perusahaan yang dikenal karena pengembangan model deteksi objek berbasis algoritma YOLO (You Only Look Once). Didirikan oleh Glenn Jocher, Ultralytics telah merilis beberapa versi dari YOLO, termasuk YOLOv11. Model-model ini dirancang untuk memberikan kinerja tinggi dalam deteksi objek secara *real time*, dengan fokus pada efisiensi komputasi dan akurasi yang lebih baik dibandingkan versi sebelumnya.

2.6.20 Visual Studio Code

VS Code adalah editor kode ringan open-source dari Microsoft yang berfungsi sebagai Hub Komputasi Utama pada PC. Dalam sistem ini, menjalankan logika Python dan inferensi AI (YOLO) untuk deteksi daging, serta memonitor komunikasi data serial secara real-time. Solusi ini mengatasi keterbatasan memori Arduino Mega dengan memindahkan pemrosesan citra (dari ESP32-CAM) ke PC, lalu mengirimkan instruksi balik. VS Code sangat vital, karena tanpanya pemrosesan visual AI berat tidak dapat dilakukan.