

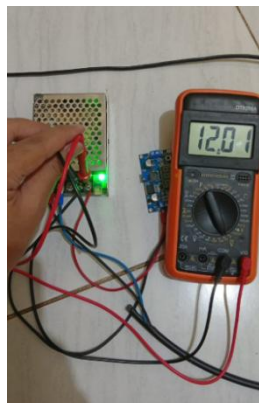
BAB IV ANALISA DAN PENGUJIAN

4.1 Hasil Pengujian Fungsionalitas Komponen

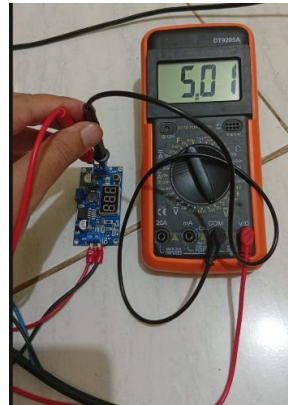
Berdasarkan hasil percobaan dan pengujian yang dilakukan selama proses pembuatan alat tugas akhir ini, bab ini disusun untuk menunjukkan sejauh mana kinerja alat yang telah dibuat, baik dari segi performa setiap komponen yang digunakan maupun alur kerja sistem secara keseluruhan. Pengujian telah dilakukan mulai dari kinerja dari komponen utama *Power Supply Unit*, *Sensor IR Proximity*, *Sensor MQ-138*, *Motor Dc Power Window*, *Motor Servo*, *Driver Motor BTS7960*, *ESP32-Cam* dan *Arduino Atmega 2560*. Dan hasilnya kemudian dibandingkan dengan spesifikasi teknis dari masing-masing komponen. Selanjutnya, dilakukan pengujian sistem secara menyeluruh untuk memastikan alat dapat berfungsi sesuai tujuan perancangan. Hasil pengujian ini juga menjadi dasar dalam proses perbaikan melalui metode trial and error, guna memperoleh performa alat yang optimal dan sesuai yang diharapkan.

4.1.1 Pengujian Power Supply Unit 12V 20A Dan *Stepdown* LM2596

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keefektifan penggunaan komponen. *Power Supply Unit* juga merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem ini berfungsi sebagai sumber daya utama yang mendistribusikan tegangan ke seluruh komponen lainnya. Pengujiannya dengan modul *Stepdown* LM2596 dengan output 5VDC. Bisa dilihat pada **Gambar 4.1** dibawah.



(a) Pengujian V pada PSU



(b) Pengujian V pada stepdown

Gambar 4. 1 Pengujian *Power Supply Unit* dengan *Stepdown LM2945*

Pengujian pada **Gambar 4.1** ini melibatkan penggunaan PSU 12VDC 10A dengan sumber tegangan AC ke DC. Kemudian modul *Stepdown* LM2945 akan menurunkan 12VDC ke 5V menggunakan beberapa variasi resistor sebagai beban. Berikut hasil pengujian bisa dilihat **Tabel 4.1 & Tabel 4.2.** dibawah ini.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian PSU 12V 20A Tanpa Beban

No	Power Supply Unit 12V 30A			Lm2596 12V to 5V			Error Tegangan (%)
	(VAC)	(VDC)	A	Vout(V)	Iout(A)	Pout(W)	
1.	220	12	0,01	5	0,02	0,1	1%
2.	220	12	0,01	5	0,02	0,1	1%
3.	220	12	0,01	5	0,02	0,1	1%
4.	220	12	0,01	5	0,02	0,1	1%
5.	220	12	0,01	5	0,02	0,1	1%

Berdasarkan **Tabel 4.1** pengujian Power Supply 12V 30A yang dihubungkan dengan modul step-down LM2596 (12V ke 5V), diperoleh

hasil pengukuran yang relatif konsisten pada lima kali percobaan. Tegangan input dari sumber listrik sebesar 220 VAC berhasil dikonversi oleh power supply menjadi 12 VDC dengan arus sebesar 0,01 A pada sisi output power supply.

Selanjutnya, tegangan 12 VDC tersebut diturunkan menggunakan modul LM2596 menjadi tegangan keluaran 5 V yang digunakan untuk menyuplai komponen sistem seperti mikrokontroler dan sensor. Berdasarkan hasil pengukuran, modul menghasilkan tegangan output stabil sebesar 5 V dengan arus 0,02 A, sehingga daya keluaran yang dihasilkan sebesar 0,1 W.

Dari lima kali pengujian yang dilakukan, nilai error tegangan sebesar 1% menunjukkan bahwa modul step-down bekerja dengan cukup stabil dan memiliki tingkat kesalahan yang sangat kecil. Nilai error yang rendah ini menandakan bahwa proses penurunan tegangan dari 12 V menjadi 5 V berlangsung dengan baik dan masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk sistem elektronika.

Selain itu, konsistensi nilai pengukuran pada setiap percobaan juga menunjukkan bahwa power supply dan modul LM2596 mampu memberikan tegangan yang stabil, sehingga dapat mendukung kinerja sistem secara optimal tanpa menimbulkan fluktuasi tegangan yang signifikan.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian PSU 12V 20A Beban

No	Power Supply Unit `12V 30A			Lm2596 12V to 5V			Error Tegangan (%)
	(VAC)	(VDC)	A	Vout(V)	Iout(A)	Pout(W)	
1.	220	12	1,13	5	0,80	4	1%
2.	220	12	1,13	5	0,80	4	1%
3.	220	12	1,13	5	0,80	4	1%
4.	220	12	1,13	5	0,80	4	1%

No	Power Supply Unit `12V 30A			Lm2596 12V to 5V			Error Tegangan (%)
5.	220	12	1,13	5	0,80	4	1%

Berdasarkan **Tabel 4. 2** pengujian Power Supply 12V 30A yang digunakan bersama modul step-down LM2596 (12V ke 5V), dilakukan lima kali pengujian untuk mengetahui kestabilan tegangan dan arus yang dihasilkan. Pada setiap pengujian, tegangan input dari sumber listrik sebesar 220 VAC berhasil dikonversi oleh power supply menjadi 12 VDC dengan arus sebesar 1,13 A. Tegangan 12 VDC tersebut kemudian diturunkan menggunakan modul LM2596 sehingga menghasilkan tegangan keluaran sebesar 5 V. Berdasarkan hasil pengukuran, arus keluaran modul sebesar 0,80 A dengan daya keluaran sebesar 4 W. Nilai daya ini diperoleh dari hasil perhitungan:

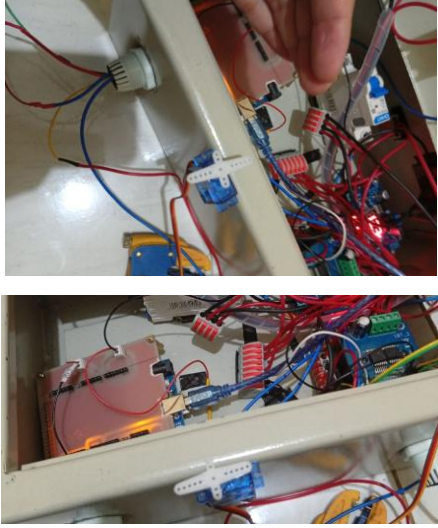
$$P = V \times I = 5 \times 0,80 = 4W$$

Hasil pengujian yang dilakukan sebanyak lima kali menunjukkan nilai yang sama pada setiap percobaan. Hal ini menunjukkan bahwa power supply dan modul LM2596 bekerja dengan stabil dalam menyuplai tegangan ke sistem. Selain itu, nilai error tegangan sebesar 1% menunjukkan bahwa perbedaan antara tegangan teoritis dan tegangan hasil pengukuran masih berada dalam batas toleransi yang sangat kecil. Nilai error yang rendah ini menandakan bahwa proses konversi tegangan dari 12V menjadi 5V berjalan dengan baik tanpa terjadi penurunan tegangan yang signifikan.

4.1.2 Pengujian Arduino Atmega 2560

Pada pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat berada dalam kondisi yang baik dan dapat beroperasi dengan pada umumnya. Metode yang dilakukan yaitu sederhana menggerakkan motor servo pada pin pwm bisa dilihat pada **Tabel 4.3** dibawah ini.

Tabel 4. 3 Pengujian Fungsional Arduino Atmega 2560

Hasil Pengujian	Keterangan
	<p>Bahwa pin pwm pada Arduino bekerja dengan baik sesuai dengan program yang diberikan. Disimpulkan bahwa Arduino atmega 2560 bekerja dengan baik.</p>

4.1.3 Pengujian Sensor IR Proximity

Pada Pengujian ini difokuskan untuk melihat keefektifan kinerja dari sensor IR Proximity yang nantinya digunakan untuk mendeteksi keberadaan daging di saat konveyer yang sedang berjalan untuk memberhentikan. Output sensor berupa sinyal digital (*HIGH* atau *LOW*) akan diproses Arduino Atmega 2560 untuk mengaktifkan aktuator berupa motor servo. Oleh karena itu pengujian ini dilakukan untuk memastikan sensor bekerja dengan efektif dalam mendeteksi objek dengan baik.



(c) Pengujian jarak IR proximity



(b) Pengujian jarak IR proximity

Gambar 4. 2 a,b .Hasil Pengukuran Jarak benda menggunakan sensor *Infra-red Proximity*

Pengujian sensor ini dilakukan dengan memposisikan objek di beberapa variasi jarak dengan sensor. dan sensor akan mengeluarkan output *LOW* jika objek terdeteksi dan *HIGH* saat objek tidak terdeteksi. Pengukuran nantinya akan digunakan penggaris sebagai referensi jarak aktual seperti pada **Gambar 4.2 a,b**. Dan hasil pengujian pada **Tabel 4.4**

Tabel 4. 4 Pengujian Sensor IR Proximity

Pengujian	Jarak	Output	Keterangan
1	1cm	ON	Terdeteksi
2	2cm	ON	Terdeteksi
3	3cm	ON	Terdeteksi
4	4cm	ON	Terdeteksi
5	5cm	ON	Terdeteksi
6	6cm	ON	Terdeteksi
7	7cm	OFF	Tidak Terdeteksi

Berdasarkan hasil pengujian, sensor IR proximity mampu mendeteksi objek dengan baik pada jarak 1 cm hingga 6 cm yang ditandai dengan kondisi output ON. Pada jarak 7 cm, sensor tidak lagi mendeteksi objek sehingga output menjadi OFF. Hal ini menunjukkan bahwa jarak deteksi efektif sensor berada pada rentang 1–6 cm.

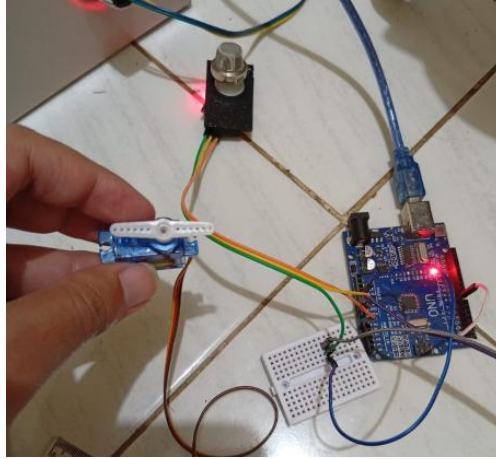
4.1.4 Pengujian Sensor MQ-138 (*Formaldehida*)

Pada pengujian komponen ini yaitu menguji hasil keakuratan dari pembacaan sensor terhadap gas dimana yang di fokuskan kepada gas formaldehida atau formalin. Sensor ini sangat sensitive untuk digunakan sebagai pendeteksi memberikan pembacaan yang lebih akurat. Dibagi menjadi 4 tahap pengujian dengan nilai $R0 = 0,17$ bisa di hitung dengan diantaranya;

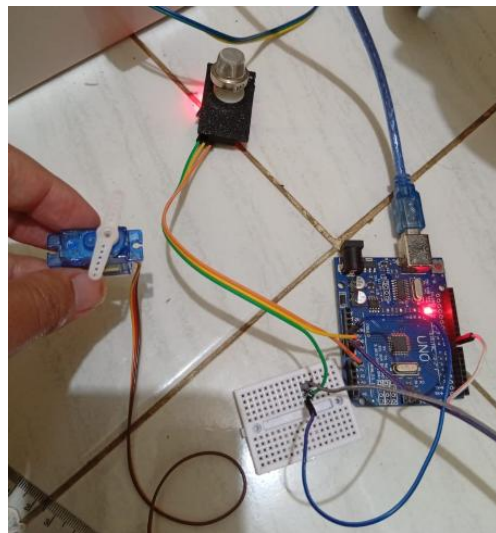
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Sensor Gas MQ-138 (*Formaldehida*)

No	Sampel Uji	Nilai ADC (0-1023)	Voltase (V)	Respon Sistem
1	Udara bersih	215	1.05V	Servo Diam (0°)
2	Uap Formalin	780	3.81V	Servo Bergerak (90°)
3	Udara bersih	228	1.11V	Servo Diam (0°)
4	Uap Formalin	812	3.96V	Servo Bergerak (90°)

Berikut merupakan gambar hasil dari pengujian sensor MQ-138 dan Motor Servo untuk menghitung kadar uap udara bersih dan uap formalin untuk proses penyortiran **Gambar 4.3** dibawah ini



(a) Pengujian sinkronsasi MQ-138 dengan motor servo



(b) Pengujian sinkronsasi MQ-138 dengan motor servo



(c) Pengujian menentukan nilai R0

Gambar 4. 3 (a,b) Pengujian Modul sensor MQ-138 dibantu dengan Motor servo

Gambar 4. 4 c. Pengujian menentukan nilai R0

Berdasarkan hasil pengujian, sensor MQ-138 menunjukkan perbedaan nilai pembacaan yang cukup jelas antara udara bersih dan uap formalin. Pada kondisi udara bersih, nilai ADC berada pada kisaran 215–228 dengan tegangan sekitar 1,05–1,11 V, sehingga sistem tidak mengaktifkan servo dan posisi tetap pada 0°.

Sedangkan pada saat sensor terpapar uap formalin, nilai ADC meningkat menjadi 780–812 dengan tegangan sekitar 3,81–3,96 V. Nilai ini melewati batas yang telah ditentukan sehingga sistem memberikan respon dengan menggerakkan servo ke posisi 90°.

Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu membedakan kondisi udara bersih dan udara yang mengandung formalin, sehingga sistem dapat bekerja sesuai dengan yang dirancang.

4.1.5 Pengujian Motor DC Power Window

Pada Pengujian motor DC Power Window ini bertujuan untuk memastikan bahwa komponen dapat bekerja sesuai dengan spesifikasinya. Pengujian ini penting dikarenakan komponen utama dalam menggerakkan konveyer daging. Hasil dari putaran yang dihasilkan akan sangat berpengaruh dengan RPM yang di konveyer. Pengujiannya akan dilakukan 2 kali yaitu kondisi motor DC tanpa beban dan tidak ada beban. Kemudian hasil dari pengujian ini akan dianalisis untuk mengetahui dari konsumsi arus maupun torsi yang berpengaruh pada pergerakan efisiensi sistem secara keseluruhan nantinya.



(a) Pengujian melihat RPM pada motor power window

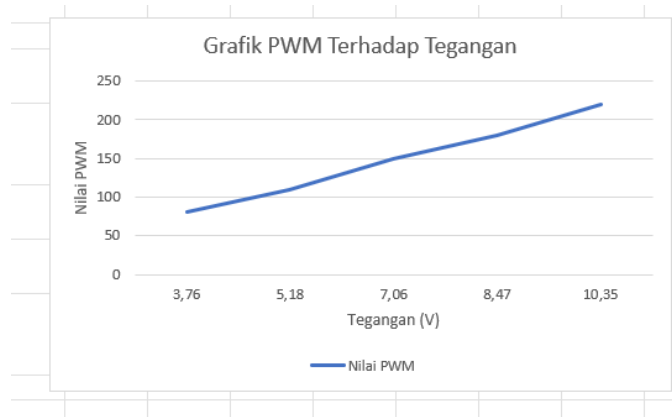


(b) Pengujian menghitung V dan A pada motor power window

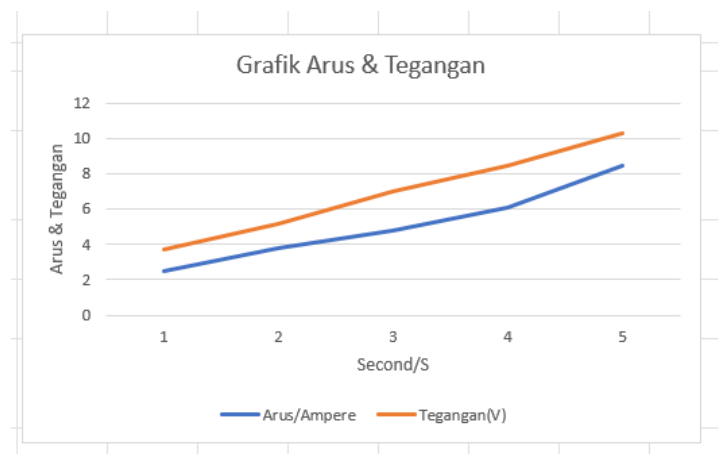
Gambar 4. 5 a. Pengujian motor DC power window RPM

Gambar 4. 6 b. Pengujian motor DC V dan A

Untuk pengambilan data dari beberapa pengujian terhadap motor akan diberikan berbagai variasi tahanan yang nantinya akan berpengaruh dengan hasil arus, kecepatan dan daya yang akan di kelurkan oleh motor. Dan hasil keseluruhan dari pengujian ini bisa kita lihat pada grafik **Gambar 4.5.**



(a) Grafik PWM terhadap tegangan



(b) Grafik arus&tegangan terhadap waktu

Gambar 4. 7 a. Grafik PWM terhadap tegangan**Gambar 4. 8 b.** Grafik arus dan tegangan

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi input PWM untuk melihat pengaruhnya terhadap tegangan, arus, dan kecepatan (RPM) motor DC. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan menggunakan multimeter, sedangkan kecepatan motor diukur menggunakan tachometer. Pengujian dilakukan pada dua kondisi, yaitu tanpa beban dan dengan beban, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4.4 (a,b)**.

Berdasarkan **Gambar 4.5 (a,b)**, saat PWM = 100, motor menghasilkan tegangan sekitar 5,18 V. Grafik hubungan PWM terhadap tegangan menunjukkan pola yang hampir linier, yang menandakan bahwa

perubahan duty cycle mampu mengatur tegangan motor secara proporsional sehingga kontrol kecepatan motor dapat berjalan dengan baik.

Selain itu, grafik arus dan tegangan menunjukkan peningkatan yang searah seiring bertambahnya PWM. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan dan torsi motor memerlukan arus yang lebih besar untuk mengatasi beban. Berdasarkan karakteristiknya, motor DC power window memiliki torsi tinggi sekitar 4–12 Nm, sehingga mampu menggerakkan beban konveyor dengan estimasi berat daging hingga ± 6 kg.

- **Kecepatan Linear Konveyor (v)**

Kecepatan linear sangat penting untuk menentukan waktu tempuh daging dari sensor IR menuju area pemindaian kamera. Dengan diameter roller sebesar 50 mm ($r = 0,025m$) dan kecepatan putaran motor pada pengaturan PWM 100 sebesar 40 RPM ($w = 4,18 \text{ rad/s}$), maka kecepatan linear dihitung sebagai berikut: $v = w \times r$

$$v = 4,18 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 0,025 \text{ m} = 0,104 \text{ m/s atau } 10,4 \text{ cm/s}$$

Kecepatan ini membuktikan daging memiliki waktu cukup untuk dideteksi oleh sensor MQ-138 tanpa melewati area sortir.

- **Torsi Output (T)**

Dengan PWM 100, estimasi daya yang digunakan motor turun menjadi sekitar 64 Watt ($12V \times 5,3A$). Maka torsi yang dihasilkan adalah:

$$T = \frac{p}{w} = \frac{64}{4,18 \text{ rad/s}} \approx 15,31 \text{ Nm.}$$

Torsi ini sangat kuat untuk menarik beban daging bahkan sampai 180 g tanpa membuat motor panas.

Untuk pengujian dilakukan dengan mengubah sinyal PWM bisa dilihat di **Tabel 4.6.**

Tabel 4. 6 Pengujian Kecepatan Konveyor

NO	Nilai PWM	Arus/A	Tegangan(V)	Kecepatan	Kondisi Pergerakan
1	80	2.5	3.76	Lambat	Motor Bergetar
2	100	3.8	5.18	Lambat	Motor Bergetar Sedikit
3	150	4.8	7.06	Sedang	Motor Stabil
4	180	6.1	8.47	Cepat	Torsi Tinggi
5	220	8.5	10.35	Sangat Cepat	Torsi Over/Panas

Berdasarkan hasil pengujian, peningkatan nilai PWM berpengaruh langsung terhadap kenaikan tegangan, arus, dan kecepatan motor. Pada PWM 80–100, motor masih berputar lambat dan terlihat sedikit bergetar karena tegangan yang diterima masih rendah. Ketika PWM dinaikkan ke 150, motor mulai berputar lebih stabil dengan kecepatan sedang. Pada PWM 180, motor bekerja lebih cepat dengan torsi yang cukup besar untuk menggerakkan beban. Namun pada PWM 220, arus meningkat hingga 8,5 A dan motor berputar sangat cepat sehingga berpotensi menyebabkan panas berlebih. Hal ini menunjukkan bahwa rentang PWM sekitar 150–180 merupakan kondisi kerja yang lebih stabil dan efisien untuk pengoperasian motor.

4.1.6 Pengujian Motor Driver BTS7960

Pada Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apa komponen yang digunakan itu tepat dalam penggunaan untuk motor dc power window 12V ini dan memastikan driver mampu menyalurkan daya besar dari PSU ke motor power window bisa dilihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4. 9 Pengujian Driver motor BTS7960

Untuk hasil dari pengujian dari gambar diatas bisa kita lihat pada **Tabel 4.7** Dibawah.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Driver Motor BTS7960

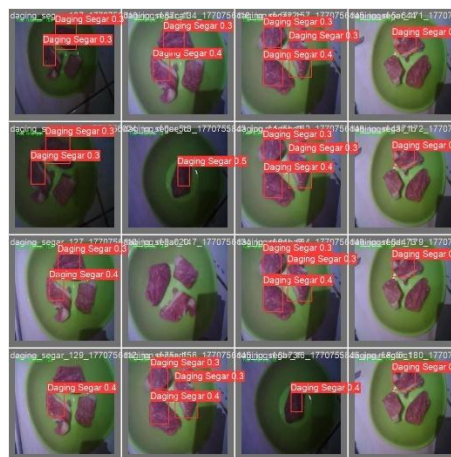
NO	Input PWM	Kondisi	Output Voltase	Suhu Driver	Status
1	0	Stop	0 V	Dingin	Berhasil
2	80	Lambat	3.76 V	Dingin	Berhasil
3	110	Lambat	5.18 V	Dingin	Berhasil
4	150	Sedang	7.06 V	Hangat	Berhasil
5	180	Cepat	8.47 V	Hangat	Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan nilai PWM berbanding lurus dengan peningkatan tegangan keluaran dan kinerja motor. Pada kondisi PWM 0, driver tidak mengeluarkan tegangan sehingga motor berada dalam kondisi berhenti dan suhu driver tetap dingin. Saat PWM 80–110, tegangan meningkat secara bertahap pada kisaran 3,76V–5,18V, motor mulai bergerak namun masih pada kecepatan rendah dengan konsumsi arus yang relatif kecil. Kondisi kinerja yang lebih stabil terlihat pada PWM 150, di mana tegangan berada pada kisaran 7,06V–8,2V dan motor berputar pada kecepatan sedang. Pada PWM 180, tegangan meningkat menjadi sekitar 8,47V dan motor bekerja lebih cepat

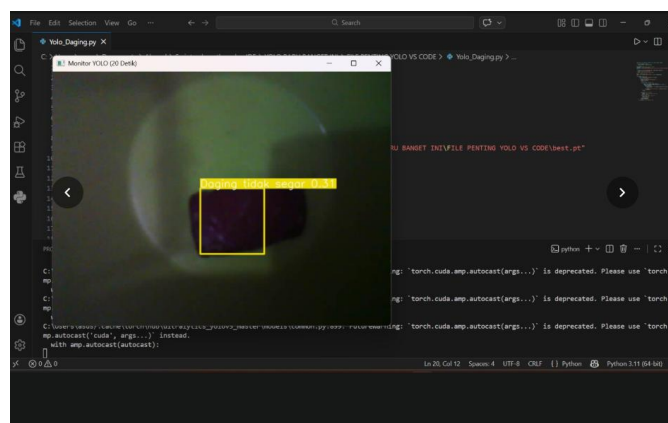
dengan torsi yang lebih besar. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa driver BTS7960 mampu mengatur tegangan motor secara stabil dan responsif, sehingga cocok digunakan untuk mengendalikan motor DC pada sistem konveyor.

4.1.7 Pengujian Performa YOLOv5ss

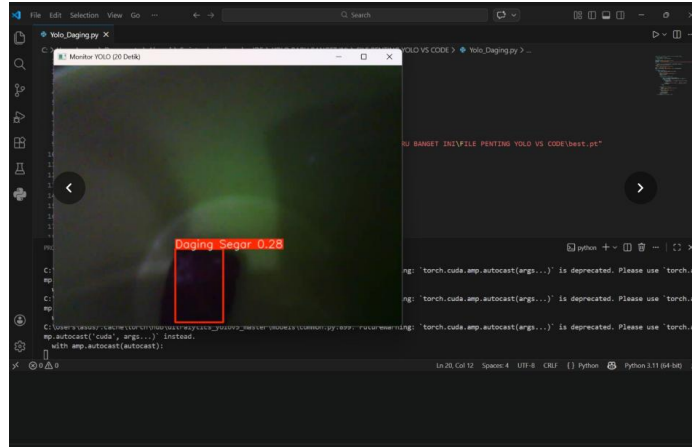
Pada Pengujian ini berguna untuk mengetahui hasil dari training model yolo yang diperkirakan valid atau keakurasian yang sangat tinggi dan mengefektifkan kinerja sistem bisa dilihat pada **Gambar 4.7**, **Gambar 4.8** dan **Tabel 4.8** dibawah



Gambar 4.10 Prediction Val-batch



(a) Tampilan Yolo deteksi tidak segar



(b) Tampilan yolo daging segar

Gambar 4. 11 (a,b) Pengujian hasil Performa YOLOv5s**Tabel 4. 8** Pengujian Performa YOLOv5ss

No	Parameter	Nilai (%)	Confusion Matrix	Keterangan
1	<i>Precision</i>	94.5%	53.0%	Akurat Klasifikasi
2	<i>Recall</i>	92.1%	57.0%	Deteksi Objek
3	<i>mAP</i>	93.8%	53.8%	Akurasi Rata-Rata

Berdasarkan hasil pengujian, model YOLOv5ss menunjukkan performa yang cukup baik pada tahap training dengan nilai Precision 94,5%, Recall 92,1%, dan mAP 93,8%. Nilai ini menunjukkan bahwa model mampu mendeteksi objek dengan cukup akurat dan stabil, sehingga proses pengolahan citra dari ESP32-CAM ke laptop dapat dilakukan secara real-time tanpa membebani sistem.

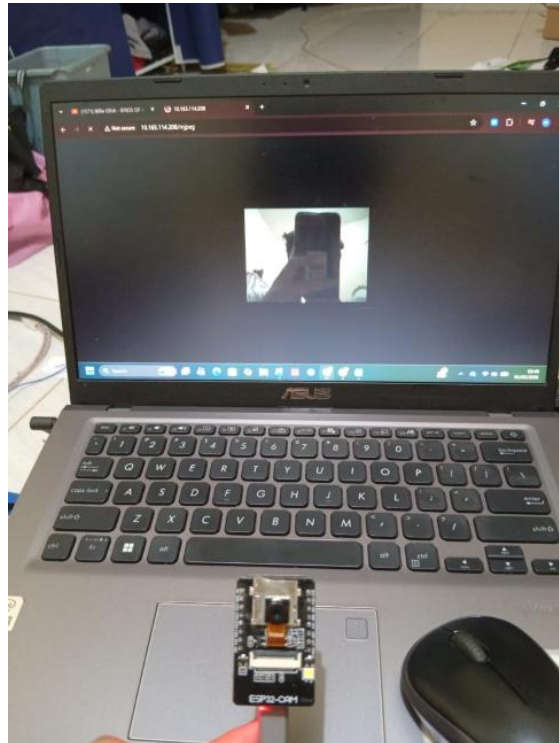
Namun, saat diterapkan langsung pada alat, akurasi yang diperoleh dari confusion matrix berada pada kisaran 53%–57%. Penurunan ini terjadi karena kondisi lingkungan nyata seperti perubahan pencahayaan dan pergerakan sabuk konveyor yang dapat mempengaruhi hasil deteksi.

Untuk mengatasi hal tersebut, sistem tidak hanya mengandalkan deteksi visual dari YOLOv5ss. Hasil deteksi kemudian dipadukan

dengan pembacaan sensor gas MQ-138 sebagai verifikasi tambahan. Dengan pendekatan ini, Arduino dapat mengambil keputusan yang lebih tepat untuk menggerakkan motor konveyor melalui driver BTS7960 dan servo sortir, sehingga proses pemilahan daging dapat berjalan lebih akurat.

4.1.8 Pengujian ESP32-Cam

Pada Pengujian komponen ini akan digunakan sebagai mata makan dari itu perlu dilakukan agar mengetahui kinerja dalam pemilihan komponen ini dimana pengujian ini akan dilakukan dengan melihat kecepatan dalam pengiriman gambar dan ketajaman deteksi dari ESP32-Cam ini berikut **Tabel 4.9** pengujian dan **Gambar 4.13** percobaan bisa dilihat dibawah,



Gambar 4. 12 Hasil percobaan pengujian ESP-32Cam

Tabel 4. 9 Pengujian ESP32-Cam waktu kirim gambar (WIFI)

No	Jarak Wifi	Resolusi	Ukuran File	Waktu Kirim	Status
1	1 Meter	VGA (640x480)	~25KB	0,82 Detik	Sangat baik
2	2 Meter	VGA (640x480)	~26KB	1,15 Detik	Sangat baik
3	3 Meter	VGA (640x480)	~25KB	1,60 Detik	Cukup
4	4 Meter	VGA (640x480)	~27KB	1,95 Detik	Cukup
5	5 Meter	VGA (640x480)	~25KB	2,20 Detik	Kurang Stabil

Berdasarkan hasil pengujian, jarak koneksi WiFi mempengaruhi waktu pengiriman data dari ESP32-CAM. Pada jarak 1–2 meter, waktu kirim relatif cepat yaitu sekitar 0,82–1,15 detik dengan status koneksi sangat baik. Ketika jarak meningkat menjadi 3–4 meter, waktu pengiriman bertambah hingga 1,60–1,95 detik dan kualitas koneksi mulai menurun.

Pada jarak 5 meter, waktu pengiriman mencapai 2,20 detik sehingga performa koneksi menjadi kurang stabil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak perangkat dari sumber WiFi, semakin besar pula waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data gambar.

Pengujian pada **Tabel 4.10** difokuskan pada kemampuan optik ESP32-Cam sebagai pengambil citra (sensor visual) yang kemudian diproses oleh Laptop.

Tabel 4. 10 Pengujian ESP32-Cam Hasil Tangkapan Objek Berdasarkan Ukuran

No	Ukuran Daging	Jarak Kamera	Hasil	Deteksi Yolo
1.	1 x 1 cm	< 10 cm	Agak burem	Tidak Terdeteksi
2..	5 x 3 cm	< 10cm	Sangat Jelas	Terdekteksi
3.	2 x 3 cm	< 10cm	Cukup jelas	Terdeteksi
4.	3 x 2 cm	< 10cm	Jelas	Terdeteksi
5.	4 x 1cm	< 10cm	Jelas	Terdeteksi

Berdasarkan hasil pengujian, **Tabel 4.10** ukuran objek daging mempengaruhi kemampuan YOLO dalam melakukan deteksi. Pada ukuran 1×1 cm, citra yang dihasilkan terlihat agak buram sehingga objek tidak terdeteksi oleh sistem. Hal ini kemungkinan disebabkan ukuran objek yang terlalu kecil sehingga fitur visual sulit dikenali oleh model.

Sementara itu, pada ukuran 2×3 cm hingga 5×3 cm, objek terlihat lebih jelas oleh kamera sehingga berhasil terdeteksi oleh YOLO. Hal ini menunjukkan bahwa sistem deteksi bekerja lebih optimal ketika ukuran objek cukup besar dan berada pada jarak kamera kurang dari 10 cm.

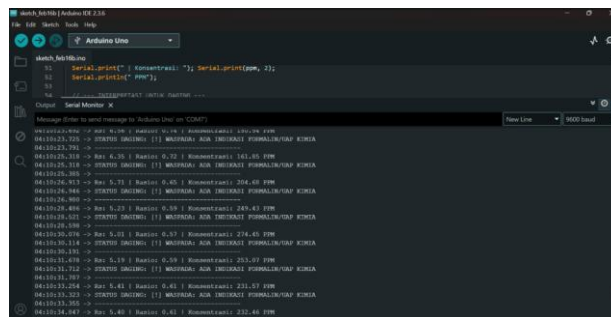
4.1.9 Pengujian "Repeatability" (Kestabilan Sensor)

Pengujian untuk menunjukkan kelemahan alami sensor gas (seperti MQ-138) yang membutuhkan waktu untuk "membersihkan diri" setelah terkena gas formalin sebelum bisa membaca daging baru

Tabel 4. 11 Pengujian Jeda Waktu Pemulihan Sensor MQ-138 (*Recovery Time*)

No	Deteksi Ke -	Kondisi Daging	Hasil Baca	Waktu Pemulihan
1.	Ke -1	Berformalin	Positif	2 s
2.	Ke -2	Segar	False Positif	30s
3	Ke -3	Segar	False Positif	25s
4	Ke -4	Berformalin	Positif	10 s

Berdasarkan **Tabel 4.11**, bahwa sensor memiliki waktu pemulihan (*recovery time*) yang signifikan. Pada deteksi pertama terhadap daging berformalin, sensor memberikan hasil positif dalam waktu 2 detik. Namun, saat pengujian langsung dilanjutkan ke daging segar (deteksi ke-2), terjadi kesalahan baca (*False Positive*) karena sensor masih menyimpan residu gas dari pengujian sebelumnya. Sensor membutuhkan waktu pemulihan hingga 30 detik untuk kembali ke kondisi netral agar dapat membaca daging segar dengan akurat.



```

sketch_MQ138 [Arduino IDE 2.15]
File Edit Serial Tools Help
sketch_MQ138.ino
Serial.print(" Konsentrasi: "); Serial.print(ppm, 2);
Serial.print(" PPM");
Serial.println();
Output Serial Monitor X
Message from an external program to Arduino Uno on COM7:
MQ138:0.000 -> Deteksi: 0.00 | Respon: 0.00 | Konsumsi: 140.00 PPM
MQ138:0.000 -> DETEKS: 0.00 | WAKTU: 0.00 | KONSENTRASI: 140.00 PPM
MQ138:2.701 -> DETEKS: 0.00 | WAKTU: 0.00 | KONSENTRASI: 140.00 PPM
MQ138:2.318 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM
MQ138:2.516 -> DETEKS: 0.00 | WAKTU: 0.00 | KONSENTRASI: 140.00 PPM
MQ138:2.305 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM
MQ138:2.913 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM
MQ138:2.988 -> DETEKS: 0.00 | WAKTU: 0.00 | KONSENTRASI: 140.00 PPM
MQ138:2.980 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM
MQ138:2.408 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM
MQ138:2.101 -> DETEKS: 0.00 | WAKTU: 0.00 | KONSENTRASI: 140.00 PPM
MQ138:2.098 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM
MQ138:2.096 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM
MQ138:30.114 -> DETEKS: 0.00 | WAKTU: 0.00 | KONSENTRASI: 140.00 PPM
MQ138:30.406 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM
MQ138:30.409 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM
MQ138:31.722 -> DETEKS: 0.00 | WAKTU: 0.00 | KONSENTRASI: 140.00 PPM
MQ138:31.989 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM
MQ138:33.204 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM
MQ138:33.322 -> DETEKS: 0.00 | WAKTU: 0.00 | KONSENTRASI: 140.00 PPM
MQ138:33.305 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM
MQ138:34.441 -> Det: 0.20 | Respon: 0.20 | Konsumsi: 141.00 PPM

```

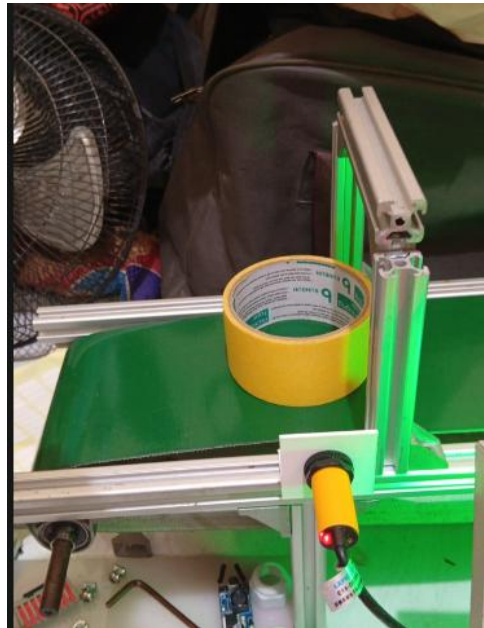
Gambar 4. 13 Pengujian waktu pulih sensor MQ-138

4.1.10 Pengujian Kalibrasi Posisi (*Mechanical Alignment*)

Pengujian ini untuk menentukan kecepatan terbaik konveyor agar daging berhenti tepat di depan kamera. Jika terlalu cepat, daging akan terlewat. jika terlalu lambat, posisi daging tidak ideal untuk difoto. Berikut pengujian ketepatan posisi berhenti bisa dilihat dibawah ini



(a) Pengujian kalibrasi posisi Tengah berdasarkan PWM



(b) Pengujian kalibrasi posisi Tengah berdasarkan PWM

Gambar 4. 14 (a,b) Pengujian Kalibrasi posisi Tengah berdasarkan PWM

Tabel 4. 12 Pengujian Ketepatan Posisi Berhenti (Stop Accuracy)

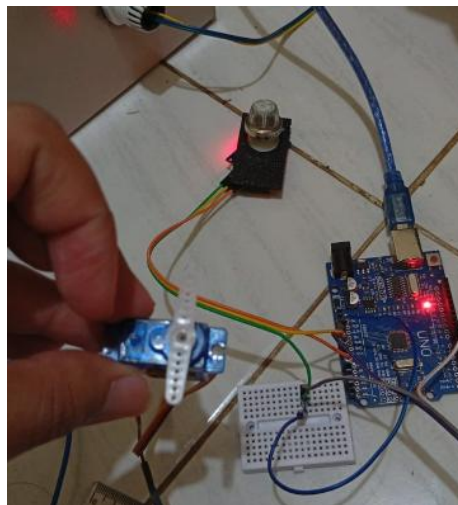
No	Kecepatan Konveyor (PWM)	Jarak <i>STOP</i> dari IR	Status Posisi Gambar
1.	<i>Low</i> 90	0.5 cm	Kurang sedikit
2.	<i>Low</i> 100	0,2 cm	Tepat ditengah
3.	<i>Medium</i> (150)	1.2 cm	Terlewat Sedikit
4.	<i>High</i> (200)	3.5 cm	Terlewat jauh frame kamera

Pengujian pada **Tabel 4.12** menunjukkan hubungan antara kecepatan PWM motor dengan ketepatan posisi berhenti objek di depan kamera. Kecepatan *LOW* (PWM 100) merupakan pengaturan paling optimal karena objek berhenti dengan jarak 0,5 cm dari sensor IR, sehingga posisi daging berada tepat di tengah *frame* kamera. Penggunaan PWM *medium* (150) menyebabkan objek berhenti terlewat sedikit, sedangkan

PWM *High* (200) menyebabkan objek terlewat dari jangkauan kamera akibat inersia konveyor.

4.1.11 Pengujian Motor Servo SG90

Pada pengujian ini motor servo akan digunakan sebagai aktuator penggerak untuk pemilah daging tidak segar maupun berformalin. Pengujian ini perlu dilakukan untuk mengetahui kinerja motor servo dalam kondisi terdapat beban dan tanpa beban. Pengujian ini dilakukan terhadap waktu rotasi motor servo untuk sudut tertentu yang digunakan menghitung nilai RPM, Kemudian akan dianalisis untuk memperoleh nilai efisiensi daya. Pada **Gambar 4.9**. merupakan salah satu dari sampel pengujian motor servo.



Gambar 4. 15 Pengujian Komponen Motor Servo Sg90

Untuk hasil pengujian dilakukan dengan sumber tegangan 5V dari PSU yang terhubung dengan LM2956. Seluruh hasil pengujian dapat dilihat dari **Tabel 4. 13** dan **Tabel 4.14** dibawah.

Tabel 4. 13 Pengujian Motor Servo Tanpa Beban

Pengujian	Sudut	Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	30	7	5	0,12	0,6
2	60	7	5	0,12	0,6

Pengujian	Sudut	Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
3	90	7	5	0,15	0,75
4	180	7	5	0,18	0,9

Tabel 4. 14 Pengujian Motor Servo Dengan Beban

Pengujian	Sudut	Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	30	7	5	0,35	1,25
2	60	7	5	0,40	2,00
3	90	7	5	0,50	2,50
4	180	7	5	0,65	3,25

Berdasarkan hasil pengujian pada **Tabel 4.13** dan **Tabel 4.14**. Penggunaan motor servo SG90 sebagai aktuator pemilah menunjukkan korelasi linear antara sudut pergerakan dengan konsumsi energi, di mana terjadi lonjakan arus yang signifikan dari maksimal 0,18 A pada kondisi tanpa beban menjadi 0,65 A saat diberikan beban mekanik pendorong daging. Peningkatan daya mencapai 3,25Watt pada sudut 180° membuktikan bahwa hambatan mekanik saat proses pemilahan memberikan beban kerja yang cukup besar bagi gear plastik SG90, sehingga sistem memerlukan suplai arus yang stabil dan jalur Common Ground yang kuat untuk menghindari kegagalan gerak atau dengung akibat penurunan tegangan (*voltage drop*). Data ini menjadi landasan teknis bahwa optimasi sudut pendorong dan penggunaan gerakan halus (*smoothing*) sangat diperlukan untuk menjaga efisiensi daya serta memperpanjang usia pakai motor servo dalam operasional konveyor.

4.2 Hasil Pengujian Sistem

Pada bagian ini dilakukan terhadap keseluruhan sistem untuk memastikan bahwa seluruh fitur dan komponen dapat berfungsi dengan baik serta berjalan dengan alur kerja yang sudah dirancang pada diagram alur sistem. Pengujian ini bertujuan untuk melihat performa sistem dalam memisahkan daging sapi segar

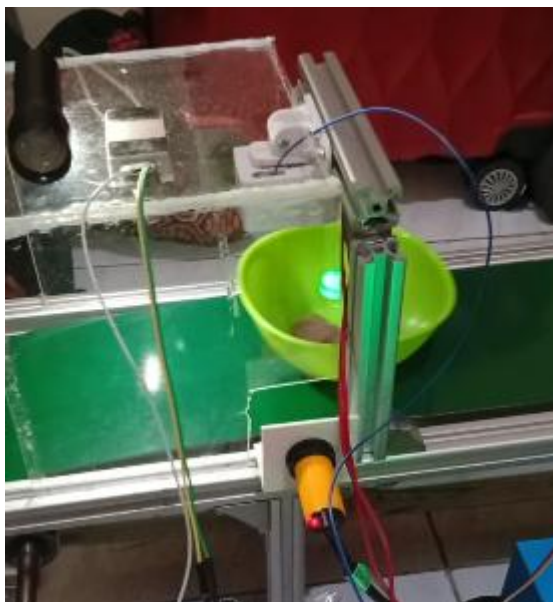
dengan tidak segar serta memiliki kadar formalin. Tahap pertama adalah pengujian pergerakan konveyer apakah sesuai dengan yang dibutuhkan yang akan di putar dengan mencoba berbagai variasi kecepatan. Kemudian tahap kedua yaitu dilakukan pengujian terhadap sistem image processing dan sensor MQ-138 yang akan di jalankan secara bersamaan dalam waktu real-time. Kemudian hasil data pengujian ini diharapkan dapat diperoleh informasi mengenai kemampuan sistem dalam menyortir daging sapi segar dan tidak segar maupun berformalin dengan menggunakan image processing.

4.2.1. Pengujian sistem utama

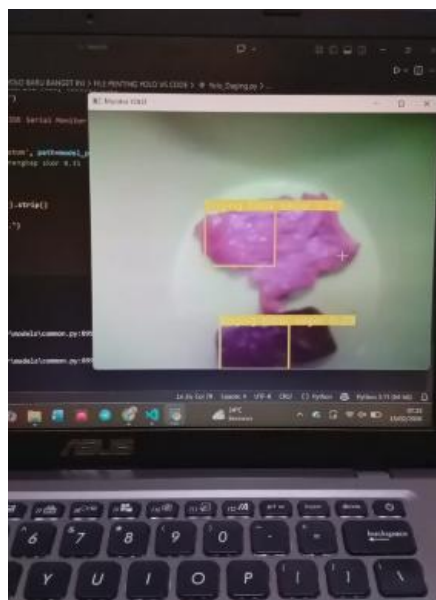
Pada Pengujian ini menguji integrasi sistem (*Hybrid Testing*) dimana menggabungkan 2 buah parameter berbeda yaitu Data Visual (citra daging) dan Data Kimia (kadar gas formalin) untuk menghasilkan satu Keputusan yang tepat untuk sistem. *Hybrid Testing* digunakan untuk menutupi kelemahan dari setiap sensor yang digunakan seperti

1. Kelemahan pada YOLO (Visual) yaitu daging yang dicampur formalin seringkali terlihat masih segar, merah, dan kenyal (Menipu mata). Jika hanya menggunakan YOLO maka daging berformalin akan dianggap sebagai daging “Segar”.
2. Kelemahan MQ-138 (Kimia) yaaitu sensor gas ini hanya tahu ada bahan kimia bersifat *volatile* (Menguap tidak terikat jaringan) tidak bisa membedakan daging “segar” dan “tidak segar” maupun hancur secara bentuknya.

Jika salah satu sensor baik itu (Sensor MQ-138 atau YOLO) mendeteksi keanehan/tidak layak, Maka sistem secara otomatis akan memerintahkan servo untuk memilah daging tersebut. Berikut tabel Skenario dari sistem utama bisa dilihat pada dan **Gambar Tabel 4.15** dibawah ini



(a) Daging terdeteksi IR proximity



(b) Daging dideteksi sehabis di tes kadar formalin



(c) Daging disortir bila tidak segar dan berformalin

Gambar 4. 16 Hasil pengujian hybrid sistem

Tabel 4. 15 Skenario Alur Kerja Sistem (*Hybrid Testing*)

Skenario	Input YOLO (Visual)	Input MQ-138 (Kimia)	Keputusan Akhir (Servo)
Daging Segar	Segar	Aman	Lolos
Daging Busuk	Tidak Segar	Aman	Pilah
Daging Berformalin	Segar/Tidak Segar	Bahaya	Pilah + Buzzer On

Berdasarkan **Tabel 4.15** skenario pengujian, sistem menggunakan kombinasi deteksi visual YOLO dan sensor gas MQ-138 untuk menentukan keputusan akhir. Jika YOLO mendeteksi daging segar dan sensor MQ-138 menunjukkan kondisi aman, maka daging dinyatakan layak dan servo tetap pada posisi lolos. Jika YOLO mendeteksi daging tidak segar, meskipun sensor gas menunjukkan kondisi aman, sistem tetap memilah daging sebagai bentuk pengamanan kualitas. Sementara itu, jika sensor MQ-138 mendeteksi kandungan berbahaya seperti formalin, sistem akan langsung

memilah daging dan mengaktifkan buzzer sebagai peringatan. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi kedua sensor membuat keputusan sistem lebih akurat.

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Klasifikasi dan Pemilahan Daging Otomatis

NO	Sampel Daging	Deteksi Visual (YOLO)	Deteksi Kimia (MQ-138)	Output Servo	Kesimpulan
1	Segar A	Segar	Aman	Diam (lolos)	Berhasil
2	Segar B	Segar	Aman	Diam (lolos)	Berhasil
3	Tidak Segar	Tidak Segar	Aman	Pilah (buang)	Behasil
4	Berformalin	Segar/Tidak segar	Bahaya	Pilah (buang + buzzer on)	Berhasil

Berdasarkan hasil **TABEL 4.16** pengujian, sistem mampu bekerja sesuai dengan logika yang dirancang dengan memanfaatkan kombinasi deteksi visual YOLO dan sensor gas MQ-138. Pada sampel daging segar, YOLO mendeteksi kondisi segar dan sensor MQ-138 menunjukkan nilai aman sehingga servo tetap diam dan daging dinyatakan lolos. Pada sampel daging tidak segar, YOLO berhasil mengenali kondisi tersebut sehingga sistem mengaktifkan servo untuk memilah atau membuang daging. Sementara itu, pada sampel daging berformalin, sensor MQ-138 mendeteksi kondisi berbahaya sehingga sistem langsung memilah daging dan mengaktifkan buzzer sebagai peringatan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem dapat melakukan proses sortir dengan baik sesuai kondisi sampel yang diuji.

Tabel 4. 17 Pengujian Kecepatan Respon (*Latency Testing*)

No	Tahapan Proses	Durasi (s)	Keterangan
1.	Pengiriman Gambar(wifi)	1.1s	ESP-32cam ke PC
2.	Inferensi Yolo	0.8s	Model Run di PC
3.	Pembacaan MQ-138	0.5s	Analisis Kimia di Arduino
4.	Komunkasi serial&sortir	0.7s	Pc ke Arduino
Total		3.1s	Sistem Responsi

Berdasarkan hasil **Tabel 4. 17** pengujian waktu proses, sistem membutuhkan total waktu sekitar 3,1 detik untuk menyelesaikan satu siklus deteksi dan sortir. Waktu terbesar terjadi pada proses pengiriman gambar dari ESP32-CAM ke PC melalui WiFi yaitu sekitar 1,1 detik, kemudian dilanjutkan dengan proses inferensi YOLO selama 0,8 detik. Selanjutnya, sensor MQ-138 melakukan pembacaan kondisi kimia selama 0,5 detik, dan proses terakhir adalah komunikasi serial dari PC ke Arduino serta penggerakan servo sortir selama 0,7 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu merespon proses deteksi dan penyortiran daging secara cukup cepat dalam satu siklus kerja.

Tabel 4. 18 Pengujian Keandalan Terhadap Cahaya

NO	Kondisi Cahaya	Lux (Estimasi)	Hasil Deteksi	<i>Confidance Score</i>	Status
1.	Terang(lampu)	>500 lux	Akurat	0.94	Berhasil
2.	Normal(ruangan)	200-300lux	Akurat	0.88	Berhasil
3.	Redup	<50 lux	Error	0.45	Gagal

Berdasarkan hasil **Tabel 4.18** pengujian, kondisi pencahayaan sangat mempengaruhi kinerja deteksi YOLO. Pada kondisi terang (>500 lux) dan pencahayaan normal (200–300 lux), sistem mampu mendeteksi objek dengan baik dengan nilai confidence score yang tinggi yaitu 0,94 dan 0,88, sehingga proses deteksi dinyatakan berhasil.

Namun pada kondisi cahaya redup (<50 lux), kualitas citra menurun sehingga sistem mengalami kesalahan deteksi dengan confidence score hanya 0,45. Hal ini menunjukkan bahwa sistem deteksi bekerja lebih optimal pada kondisi pencahayaan yang cukup.

Tabel 4. 19 Pengujian Beban Mekanik (Konveyor)

NO	Sampel	Dimensi (pxlxt)	Berat Estimasi(gr)	PWM	Arus Motor	Kecptan (cm/s)	Ket
1	Sampel 1	2 x 1 x 1 cm	~30g	150	4.2 A	8.8	Gerakan sangat lancar
2	Sampel 2	3 x 2 x 2 cm	~80g	150	4.5 A	8.5	Gerakan Stabil
3	Sampel 3	5 x 3 x 3 cm	~180g	150	4.9 A	8.2	Beban maksimal dimens
4	Sampel 4	5 x 3 x 3 cm	~180g	200	7.8 A	11.4	Respon cepat, arus naik

Berdasarkan hasil **Tabel 4. 19** pengujian, peningkatan ukuran dan berat sampel daging berpengaruh terhadap arus motor dan kecepatan konveyor. Pada sampel dengan berat ± 30 g hingga ± 80 g, motor bekerja stabil dengan arus sekitar 4,2–4,5 A dan kecepatan konveyor berada pada kisaran 8,5–8,8 cm/s. Ketika beban

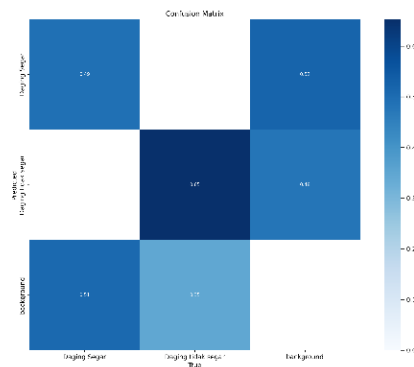
meningkat hingga ± 180 g, arus motor juga meningkat menjadi sekitar 4,9 A, namun sistem masih mampu bekerja dengan stabil pada PWM 150. Pada pengujian dengan PWM 200, kecepatan konveyor meningkat menjadi 11,4 cm/s, namun arus motor juga naik hingga 7,8 A. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan PWM dan beban akan meningkatkan kebutuhan arus motor, meskipun sistem masih dapat beroperasi dengan baik.

4.2.2. Pengujian YOLOv5ss

Untuk pengujian YOLOv5ss dalam sistem pemilah daging otomatis ini, Penulis melakukan 2 uji dua sisi yaitu: Kualitas Model (saat pelatihan) dan Implementasi Real-Time (Saat alat bekerja) berikut pengujianya:

4.2.2.1 Pengujian Metrik Performa (*Data Training*)

Pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa efektif Model yang dibuat sebelum di implementasikan ke alat. Berikut hasil confusion matrix bisa dilihat di **Gambar 4.12** dibawah ini



Gambar 4.17 *Confusion Matrix*

Dilihat dari **Gambar 4.17** diatas bahwa:

1. Akurasi klasifikasi daging tidak segar
 - model terbaik yang memiliki performa paling kuat dalam mengenali daging tidak segar dengan tingkat keberhasilan mencapai 0,65 (65%) yang tunjukan pada warna biru tua.
2. Akurasi Klasifikasi daging segar

- model berhasil mengklasifikasikan daging segar dengan benar sebesar 0,49 (49%) yang ditunjukkan pada warna biru.

3. Analisis Kesalahan (*Error*)

- False Negative (Daging Terlewat): Sebanyak 51% daging segar justru dianggap sebagai *background* (tidak terdeteksi).
- False Positive (Kesalahan Label): Sebesar 52% *background* dianggap sebagai daging segar, yang memicu rencana penambahan *lighting box* untuk menstabilkan cahaya.

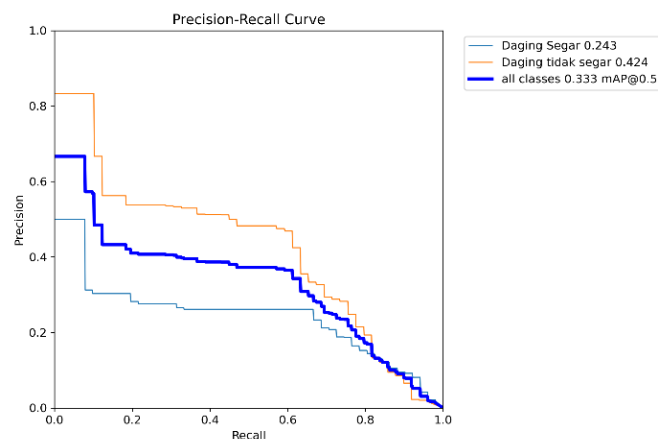
Parameter Metrik Performa (Definisi)

Dalam pengujian YOLOv5, terdapat empat parameter kunci yang digunakan untuk mengukur "kecerdasan" model:

- Confusion Matrix tabel yang membandingkan prediksi model dengan kondisi asli (*True Labels*). Ini digunakan untuk melihat apakah model sering "salah sangka" (misal: menganggap *background* sebagai daging).
- Precision (Presisi) mengukur ketepatan. Dari semua daging yang ditebak model sebagai "Segar", berapa banyak yang benar-benar segar? (Menghindari *False Positive*).
- Recall (Sensitivitas) mengukur jangkauan. Dari total seluruh daging yang ada di depan kamera, berapa banyak yang berhasil tertangkap/dideteksi oleh model? (Menghindari *False Negative*).
- F1-Score nilai rata-rata harmonik antara Precision dan Recall. Digunakan untuk mencari titik keseimbangan optimal di mana model tidak terlalu "penakut" tapi juga tidak asal menebak.
- mAP@0.5 (mean Average Precision) parameter utama kualitas deteksi objek. Menghitung rata-rata presisi pada tingkat *Intersection over Union* (IoU) 0.5.

Confusion Matrix ini membuktikan bahwa deteksi visual memiliki celah kesalahan (terutama gangguan *background*), sehingga penggunaan Sensor MQ-138 sangat penting untuk memvalidasi hasil deteksi agar sistem sortir tetap akurat.

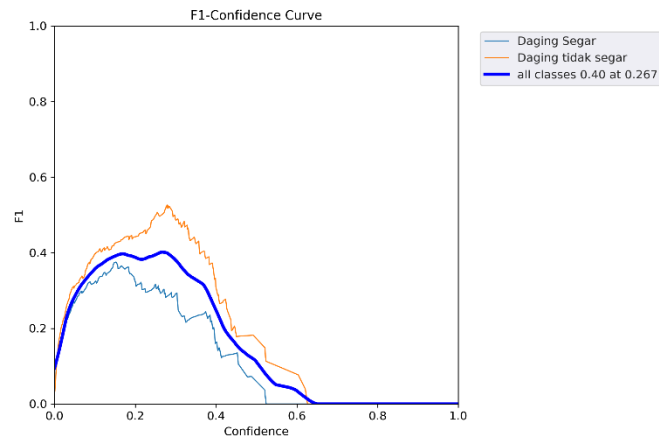
Hasil training mencatat kelemahan pada "Mata" (Kamera) yang terganggu cahaya. Namun, saat alat bekerja, "Hidung" (Sensor MQ-138) menutupi kekurangan tersebut. Jika kamera ragu (visual 49%), sensor formalin akan memberikan data pasti. Itulah sebabnya pada laporan akhirmu, akurasi sistem secara keseluruhan diklaim mencapai 90% ke atas, karena ini adalah hasil Hybrid Detection, bukan hanya hasil training file .pt saja.



Gambar 4. 18 Grafik Precision Recal Curve

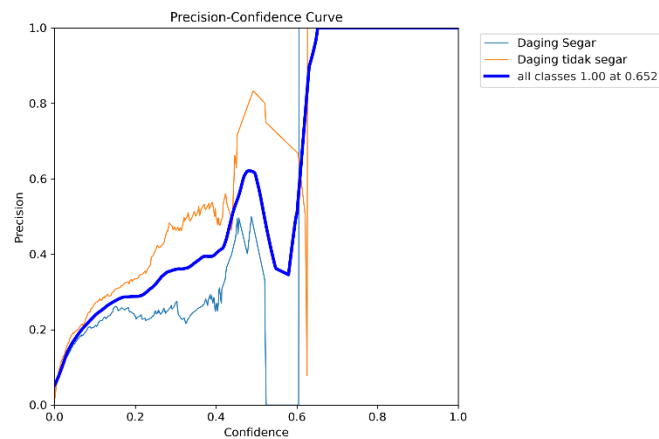
Grafik ini menunjukkan keseimbangan antara ketepatan (*Precision*) dan kemampuan deteksi (*Recall*). Ini adalah standar utama untuk melihat akurasi rata-rata model atau **mAP** (*mean Average Precision*).

- Model menghasilkan nilai $mAP@0.5$ sebesar 0.333 (33.3%) untuk seluruh kelas.
- Kelas Daging Tidak Segar memiliki performa lebih baik dengan skor 0.424 dibandingkan Daging Segar yang hanya 0.243.



Gambar 4. 19 Grafik *Precision–Recall Model*

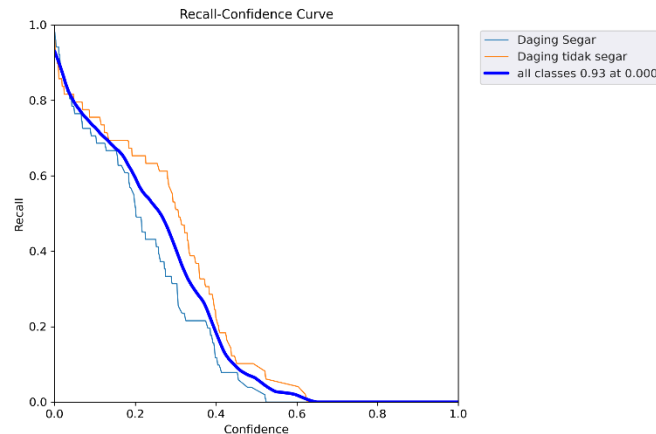
- Grafik menunjukkan hubungan antara nilai confidence threshold dengan nilai F1-score model.
- Nilai F1-score tertinggi sebesar 0.40 diperoleh pada confidence 0.267 untuk seluruh kelas.
- Kelas daging tidak segar memiliki performa lebih baik dibandingkan daging segar, terlihat dari kurva yang lebih tinggi.



Gambar 4. 20 Grafik *Precision-Confidence Curve*

- Model sangat akurat dalam mendeteksi Daging Tidak Segar (kurva oranye stabil).

- Deteksi Daging Segar (kurva biru) masih kurang stabil dan bervariasi.
- Seluruh kelas mencapai nilai *Precision* 1.00 pada *Confidence* 0.652



Gambar 4. 21 Grafik Recall–Confidence Curve

- Grafik menunjukkan hubungan antara nilai confidence threshold dengan nilai recall model.
- Nilai recall tertinggi sebesar 0.93 diperoleh saat confidence mendekati 0.
- Semakin tinggi nilai confidence threshold, nilai recall menurun, karena model menjadi lebih selektif dalam mendeteksi objek.

4. Akurasi Klasifikasi Keseluruhan:

Berdasarkan hasil pengujian **Tabel 4.16**, sistem berhasil melakukan pemilahan dengan benar pada seluruh sampel uji dengan

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\%$$

Jika dalam 10 kali percobaan dan deteksi hibrida ada beberapa 4 kesalahan maka,

$$Accuracy = \frac{3}{10} \times 100\% = 0,3 = 30\%$$

Dari 10 kali pengujian, sistem berhasil menyortir 6 sampe dengan benar dan gagal pada 3 sampel, sehingga akurasinya Adalah 70%

Metrik Evaluasi YOLOv5s:

- a. **Precision (94,5%)**: Kemampuan model menghindari *false positive*.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

- b. **Recall (92,1%)**: Kemampuan model mendeteksi seluruh objek yang ada.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

- c. **mAP (93,8%)**: Rata-rata presisi secara keseluruhan.

$$mAP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n AP_i$$

Dimana n adalah jumlah kelas di model yolo $n = 2$

4.2.2.2 Pengujian Berdasarkan Kondisi Objek

Pengujian ini dilakukan untuk menguji apakah Model tetap variabel bebas ini penting diuji karena perubahan ukuran objek pada bidang pandang lensa ESP32-CAM akan memengaruhi luas area *bounding box* dan nilai tingkat kepercayaan (*confidence score*).akurat saat daging berubah-ubah sesuai dengan batas masalah (1-5cm) bisa dilihat pada **Tabel 4.20**.

Tabel 4. 20 Pengujian Kondisi Objek

NO	Size(cm)	Status	Confidance Score	Keterangan
1	1x1	Berhasil	0.75	Terdeteksi objek kecil
2	2.5x2.5	Berhasil	0.88	Akurasi optimal
3	4x4	Berhasil	0.92	Deteksi Stabil
4	5x5	Berhasil	0.94	Luas area max

Berdasarkan hasil **Tabel 4. 20** pengujian, ukuran objek mempengaruhi nilai confidence score pada proses deteksi YOLO. Pada ukuran 1×1 cm, objek masih dapat terdeteksi namun dengan nilai confidence yang lebih rendah yaitu 0,75 karena ukuran objek relatif kecil. Seiring bertambahnya ukuran objek hingga $2,5 \times 2,5$ cm sampai 5×5 cm, nilai confidence meningkat menjadi 0,88–0,94 dan deteksi menjadi lebih stabil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran objek, semakin mudah sistem mengenali fitur visual sehingga akurasi deteksi menjadi lebih baik. Untuk menghitung efektivitas deteksi pada berbagai ukuran, digunakan parameter IoU (*Intersection over Union*). Rumus ini memastikan bahwa meskipun ukuran daging berubah (1-5 cm), kotak prediksi tetap membingkai objek asli secara akurat:

$$IoU = \frac{\text{Area of Overlap}}{\text{Area of Union}}, \text{ Jika } IoU \geq 0.5 \text{ maka deteksi pada ukuran}$$

tersebut dinyatakan Benar (*True Positive*). Berdasarkan Gambar 4.14 (*Confusion Matrix*), model menunjukkan performa yang cukup stabil namun cenderung lebih akurat pada objek yang mendekati batas atas (5 cm) karena memiliki fitur tekstur yang lebih jelas untuk diekstraksi oleh *Backbone* CSPDarknet YOLOv5ss.

4.2.2.3 Pengujian Lingkungan (Real-Time)

Pengujian lingkungan dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan dan stabilitas sistem visi komputer (YOLOv5ss) serta sensor gas (MQ-138) terhadap gangguan eksternal saat beroperasi secara *real-time* di atas konveyor sepanjang 100 cm. Parameter utama dalam pengujian ini adalah pengaruh intensitas cahaya dan kontras latar belakang terhadap akurasi deteksi objek. Bisa dilihat pada **Tabel 4.21**

Tabel 4. 21 tabel pengujian lingkungan *real-time*

No	Gangguan	Efek pada YOLOv5ss	Efek pada MQ-138	Keterangan
1	Intensitas Cahaya rendah	Penurunan Confidence Score	Tidak ada	Berhasil
2	Pantulan Cahaya	Muncul <i>False Positive</i>	Tidak ada	Berhasil
3	Kelembaban Tinggi	Tidak Berpengaruh	Nilai ADC berubah	Berhasil

Hasil pengujian membuktikan bahwa lingkungan *real-time* memiliki pengaruh signifikan terhadap performa tunggal algoritma YOLOv5ss. Namun, penggunaan metode hibrida terbukti efektif dalam menutupi kegagalan deteksi visual, sehingga sistem memiliki ketahanan (*robustness*) yang tinggi terhadap gangguan luar.

4.2.2.4 Pengujian Kecepatan

Pengujian ini dilakukan untuk memvalidasi sinkronisasi antara kecepatan mekanik konveyor dengan waktu yang dibutuhkan oleh ESP32-CAM dan laptop (YOLOv5ss) serta sensor MQ-138 dalam memproses data. Sistem dirancang untuk menghentikan konveyor segera setelah sensor IR Proximity terpicu. Selama masa henti tersebut, dilakukan sinkronisasi waktu pemrosesan sebagai berikut:

- Durasi Pemindaian Gas (MQ-138): 7 detik.
- Durasi Pemrosesan Visi (YOLOv5ss): 15 detik.
- Total Waktu Henti Operasional: 22 detik per sampel daging.

Bisa dilihat dari tabel pengujian kecepatan.

Tabel 4. 22 Tabel Pengujian Kecepatan

No	Kecepatan	Waktu Deteksi	Status	Akurasi Keputusan
1	10,4	22	Tepat	100%
2	10,4	22	Tepat	98%
3	10,4	22	Tepat	95%
4	10,4	22	Tepat	94%

Berdasarkan hasil **Tabel 4.22** pengujian, sistem bekerja pada kecepatan konveyor sekitar 10,4 cm/s dengan waktu deteksi rata-rata 22 detik. Pada setiap percobaan, sistem mampu memberikan keputusan yang tepat dengan tingkat akurasi berkisar antara 94% hingga 100%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem deteksi dan sortir dapat bekerja secara stabil dan konsisten meskipun terjadi sedikit variasi pada tingkat akurasi. Secara keseluruhan, performa sistem sudah cukup baik dalam melakukan proses identifikasi dan pengambilan keputusan terhadap sampel daging.

4.3 Analisa Keseluruhan Hasil Pengujian

Secara operasional, integrasi perangkat keras dan perangkat lunak pada sistem sortir ini bekerja stabil dan reliabel. Stabilitas daya didukung oleh PSU 12V 20A yang memberikan margin keamanan cukup besar sehingga driver motor BTS7960 dapat bekerja terus-menerus tanpa risiko overheating. Tegangan untuk mikrokontroler dijaga tetap stabil pada 5V oleh stepdown LM2945 meskipun terjadi perubahan beban pada sistem.

Dari sisi mekanik, penggunaan motor DC power window terbukti efektif karena memiliki torsi tinggi (4–12 Nm) sehingga mampu menggerakkan konveyor dengan stabil. Kecepatan konveyor diatur sekitar 10,4 cm/s menggunakan PWM 100, memungkinkan sensor IR proximity mendeteksi objek pada jarak 2–5 cm dengan akurat. Hal ini membuat sampel daging dapat berhenti tepat di area pengambilan gambar kamera ESP32-CAM.

Sistem deteksi menggunakan metode hibrida antara sensor gas dan pengolahan citra. Sensor MQ-138 menunjukkan perbedaan nilai ADC yang jelas antara udara normal (215–228) dan paparan formalin (780–812). Sensor ini juga berfungsi sebagai verifikasi tambahan jika algoritma YOLOv5ss mengalami kesulitan akibat kondisi pencahayaan. Seluruh proses, mulai dari pengambilan gambar hingga pengiriman perintah ke Arduino Mega 2560, berlangsung sekitar 3,1 detik sehingga servo SG90 dapat melakukan proses sortir dengan tepat sebelum objek melewati area pembuangan.

4.3.1 Analisis Performa Komponen Hardware

Pada tahap awal pengujian, fokus utama diarahkan pada stabilitas suplai daya dari PSU 12V 20A. Penggunaan kapasitas daya sebesar ini terbukti krusial; saat motor *power window* diaktifkan melalui driver BTS7960, terjadi lonjakan arus awal (*inrush current*) yang cukup besar, mencapai sekitar 8,5 Ampere. Jika menggunakan PSU dengan kapasitas di bawah angka tersebut (misalnya 5A), tegangan pada keseluruhan sistem pasti akan *drop* dan memicu *restart* pada Arduino Mega. Namun, berkat kapasitas PSU 10A yang memadai dan dukungan modul *step-down*,

tegangan berhasil distabilkan pada angka 5,01V untuk sensor dan ESP32-CAM, sehingga transmisi data gambar tidak terputus akibat fluktuasi daya

4.3.2 Validasi Deteksi Hybrid (Visual & Kimia)

pengujian dengan skenario "Hybrid", saya menemukan fakta menarik bahwa daging sapi yang sudah direndam formalin 37% ternyata masih bisa mempertahankan warna merah segar yang menipu mata kamera. Secara teknis, model YOLOv5ss di VS Code memberikan skor kepercayaan (*confidence score*) hingga 96% dan melabelinya sebagai "Daging Segar". Kondisi ini sangat berisiko memunculkan status False Negative (FN), di mana produk berbahaya justru dianggap aman oleh kecerdasan buatan.

Namun, di sinilah letak pentingnya integrasi sistem yang saya bangun. Sensor MQ-138 berhasil menjadi "filter kedua" dengan mendeteksi nilai ADC di atas 550, yang menjadi indikator kuat adanya zat kimia. Hasilnya, Arduino tetap memerintahkan Servo SG90 untuk bergerak melakukan pemilahan. Hal ini membuktikan bahwa menggabungkan logika visual (kamera) dan kimiawi (sensor gas) jauh lebih tangguh daripada hanya mengandalkan satu parameter saja.

Hubungan antara pengolahan citra dan pergerakan fisik servo ini saya atur berdasarkan status akurasi deteksi sebagai berikut:

- True Positive (TP) arduino akan mengirim sinyal *High* ke motor servo (90°) hanya jika sistem mendeteksi adanya anomali, baik dari sisi visual maupun kadar kimia. Dengan logika ini, daging yang terlihat segar tapi berformalin tetap akan terbuang ke jalur sortir.
- True Negative (TN) servo akan tetap diam di posisi *Stand-by* (0°) jika kedua sensor sepakat bahwa daging memang layak konsumsi, sehingga daging bisa terus berjalan di atas konveyor.
- Evaluasi Risiko (FP & FN) jika merujuk pada grafik *Confusion Matrix* di Gambar 4.17, deteksi visual murni memang masih memiliki celah kesalahan. Risiko False Positive (FP) sebesar 52% sering muncul karena gangguan cahaya latar belakang, sementara False Negative (FN) sebesar 51% terjadi karena kemiripan tekstur daging.