

BAB V PENGUJIAN & ANALISIS

5.1 Pengujian Sistem

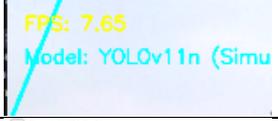
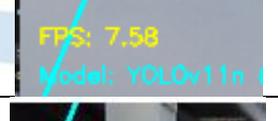
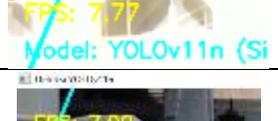
Pada sub bab ini menjelaskan terkait pengolahan data pada penelitian sistem rem menggunakan kamera webcam berbasis *Yolo* untuk mendeteksi objek. Adapaun beberapa yang perlu diambil data dari sistem keseluruhan diantaranya: FPS kamera, jarak objek, tegangan linear actuator, level confidence score, dan deteksi objek menggunakan yolo.

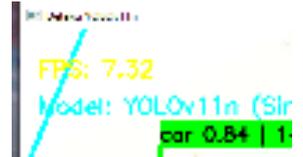
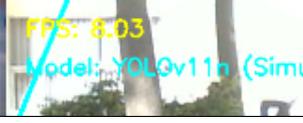
5.1.1 Pengujian Frame Rate Kamera (FPS Kamera)

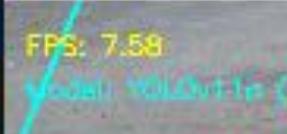
Untuk memastikan sistem deteksi objek berbasis YOLOv11 dapat berjalan secara real-time, dilakukan pengujian terhadap frame rate kamera (FPS) selama proses pengambilan gambar dan pendeteksian. Nilai FPS menunjukkan jumlah frame yang berhasil diproses per detik, yang sangat memengaruhi responsivitas sistem dalam mengenali objek secara cepat. Pengujian dilakukan dengan berbagai objek manusia dan kendaraan, dengan kamera dihubungkan ke sistem deteksi (laptop) yang menjalankan model YOLOv11. Tabel 5.1 menampilkan hasil pengukuran frame rate kamera dengan 10 kali pengujian:

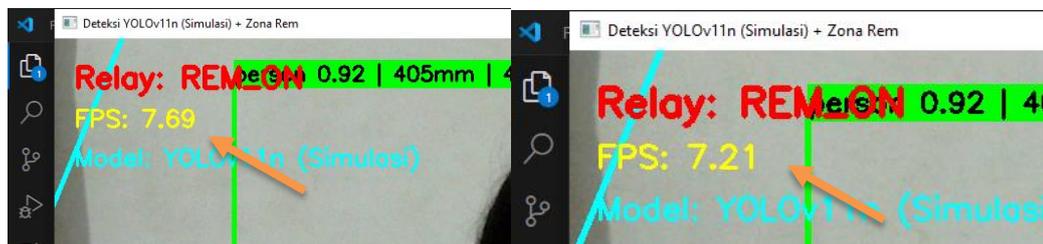
Tabel 5.1 Pengujian FPS Kamera

No	FPS Kamera	Waktu Proses FPS Kamera (detik)	Gambar
1	8,09	0.123	
2	7,81	0.128	
3	7,71	0.129	
4	7,90	0.126	

No	FPS Kamera	Waktu Proses FPS Kamera (detik)	Gambar
5	7,83	0.127	
6	8,01	0.1248	
7	7,65	0.1307	
8	7,68	0.1302	
9	7,56	0.1323	
10	7,58	0.132	
11	7,80	0.1282	
12	7,77	0.1287	
13	7,90	0.1266	
14	8,01	0.1248	
15	8,07	0.124	

No	FPS Kamera	Waktu Proses FPS Kamera (detik)	Gambar
16	7,57	0.1321	
17	7,32	0.1365	
18	7,73	0.1293	
19	7,70	0.1299	
20	7,53	0.1328	
21	7,94	0.1259	
22	8,04	0.1244	
23	7,83	0.1277	
24	8,10	0.1235	
25	8,03	0.1246	

No	FPS Kamera	Waktu Proses FPS Kamera (detik)	Gambar
26	7,40	0.1351	
27	8,02	0.1247	
28	7,76	0.1289	
29	7,86	0.1272	
30	6,81	0.1468	
31	7,43	0.1345	
32	7,58	0.132	



Gambar 5.1 FPS (frame per second) Realtime

Dari data pengujian tersebut, dapat dihitung waktu proses Fps dan rata-rata FPS kamera dengan rumus sebagai berikut:

$$FPS \text{ Rata - rata} = \frac{\sum FPS_i}{n} \quad (5.1)$$

$$Waktu\ per\ frame\ (detik) = \frac{1}{FPS} \quad (5.2)$$

FPS rata-rata yang diperoleh sebesar 7,77 fps, dengan waktu proses per frame sekitar 0,1286 detik. Nilai ini cukup untuk memenuhi kebutuhan sistem real-time dalam konteks deteksi objek menggunakan YOLOv11 versi ringan. Dengan kecepatan tersebut, sistem dapat merespons kondisi di lapangan secara tepat waktu, meskipun belum dalam kategori high-speed.

Performa sistem dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, seperti kapasitas prosesor, resolusi input kamera, serta kompleksitas model deteksi. Model YOLOv11 versi ringan memang dirancang untuk efisiensi, namun peningkatan performa masih memungkinkan melalui optimasi hardware atau pengurangan beban komputasi lain di sistem. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa sistem sudah layak untuk digunakan dalam aplikasi seperti pengereman otomatis berbasis deteksi objek, dengan kinerja yang stabil dan waktu respons yang dapat diterima.

5.1.2 Pengujian Jarak terhadap Kamera

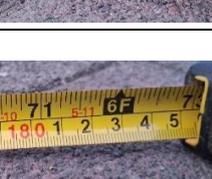
Dalam sistem deteksi objek untuk pengereman otomatis berbasis YOLOv11, jarak antara objek dan kamera merupakan parameter penting yang memengaruhi keakuratan sistem dalam mengidentifikasi posisi objek dan mengambil keputusan pengereman. Untuk itu, pengujian dilakukan dengan berbagai objek dengan membandingkan hasil deteksi jarak dari kamera dengan pengukuran aktual menggunakan meteran. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana perbedaan hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan nilai sebenarnya, yang kemudian dinyatakan dalam bentuk persentase kesalahan. Perhitungan persentase kesalahan untuk setiap pengukuran dilakukan menggunakan Persamaan 5.1.

$$Error = \frac{|\chi - \tilde{\chi}|}{\chi} \times 100\% \quad 5.3$$

Tabel 5.2 menampilkan data jarak objek (dalam satuan sentimeter) yang digunakan selama 10 kali pengujian:

Tabel 5.2 Data pengujian jarak Objek dengan kamera, dan aktual dengan Meteran

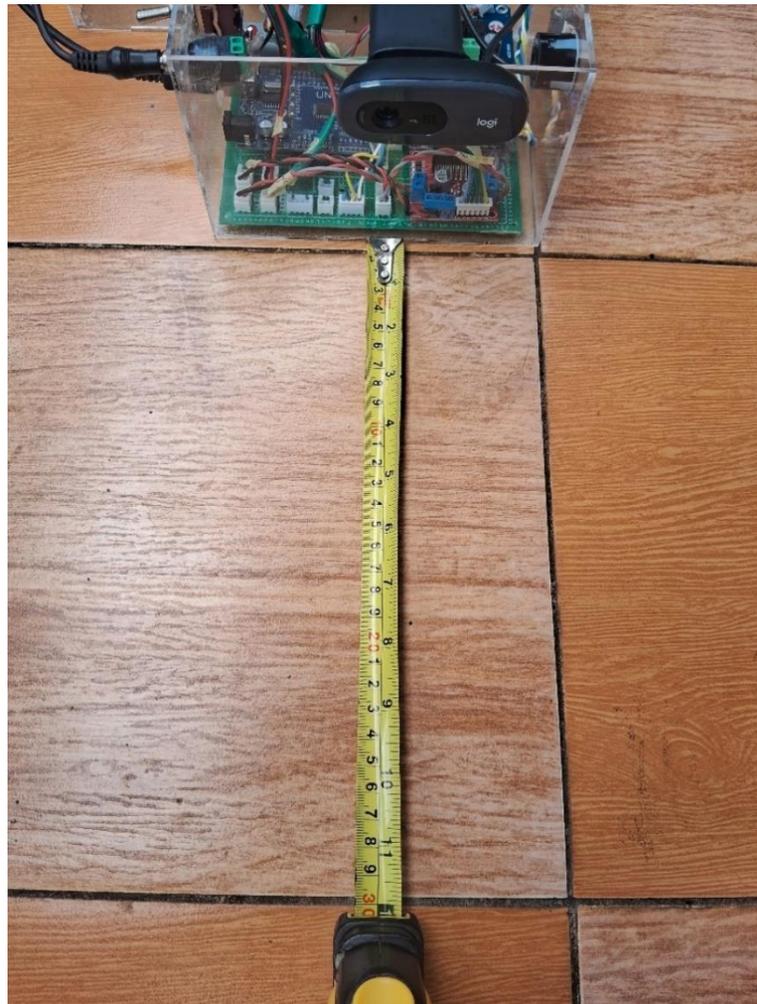
No	Jarak Objek Kamera (cm)	Gambar Pengukuran Jarak Objek Kamera	Meteran (cm)	Gambar Pengukuran Meteran	Error %
1	165,1		180		8.28%
2	153,5		150		2.33%
3	134,6		130		3.54%
4	110,1		100		10.10%
5	72,2		70		3.14%
6	254,2		255		0.31%
7	243,1		250		2.76%
8	214,3		216		0.79%

No	Jarak Objek Kamera (cm)	Gambar Pengukuran Jarak Objek Kamera	Meteran (cm)	Gambar Pengukuran Meteran	Error %
9	207,9		213		2.39%
10	193		201		3.98%
11	217,4		220		1.18%
12	197		200		1.50%
13	183,6		185		0.76%
14	175		180		2.78%
15	165,4		169		2.13%

No	Jarak Objek Kamera (cm)	Gambar Pengukuran Jarak Objek Kamera	Meteran (cm)	Gambar Pengukuran Meteran	Error %
16	150,2		153		1.83%
17	141,5		145		2.41%
18	189,2		192		1.46%
19	176,8		180		1.78%
20	168,3		170		1.00%
21	150,2		155		3.10%

No	Jarak Objek Kamera (cm)	Gambar Pengukuran Jarak Objek Kamera	Meteran (cm)	Gambar Pengukuran Meteran	Error %
22	119,5		123		2.85%
23	199,2		200		0.40%
24	172,5		180		4.17%
25	160,1		165		2.97%
26	120,7		125		3.44%
27	107,5		110		2.27%

No	Jarak Objek Kamera (cm)	Gambar Pengukuran Jarak Objek Kamera	Meteran (cm)	Gambar Pengukuran Meteran	Error %
28	85,6		88		2.73%
29	64,3		69		6.81%
30	54,6		58		5.86%
31	53,7		55		2.36%
32	49,4		52		5.00%



Gambar 5.2 Validasi pengukuran jarak aktual

Pengujian dilakukan terhadap 32 sampel untuk membandingkan estimasi jarak dari kamera dengan pengukuran aktual menggunakan meteran. Hasil menunjukkan bahwa rata-rata error sistem adalah **2,99%**, yang berarti estimasi jarak oleh kamera berada cukup dekat dengan nilai sebenarnya.

Sebagian besar sampel menunjukkan deviasi yang kecil. Misalnya, pada sampel ke-6 dan ke-23, error masing-masing hanya 0,31% dan 0,4%, menunjukkan sistem dapat bekerja akurat dalam kondisi tertentu. Namun, terdapat juga beberapa sampel dengan error lebih besar. Sampel ke-1 dan ke-4 menunjukkan error masing-masing sebesar 8,28% dan 10,10%. Pada jarak pendek, seperti sampel ke-30 dan ke-32 (di bawah 60 cm), error mencapai 5,86% dan 5,00%. Pola ini menunjukkan bahwa akurasi sistem cenderung menurun pada jarak yang lebih dekat ke kamera.

Penurunan akurasi ini disebabkan oleh beberapa faktor, di antaranya distorsi perspektif pada jarak dekat, ketidaksesuaian ukuran bounding box, dan keterbatasan metode konversi piksel ke satuan panjang. Karena sistem tidak menggunakan sensor kedalaman, seluruh estimasi bergantung pada hasil deteksi bounding box dari YOLOv11 dan parameter kalibrasi yang digunakan. Selain itu, pencahayaan, sudut pandang kamera, dan posisi objek turut memengaruhi hasil akhir estimasi.

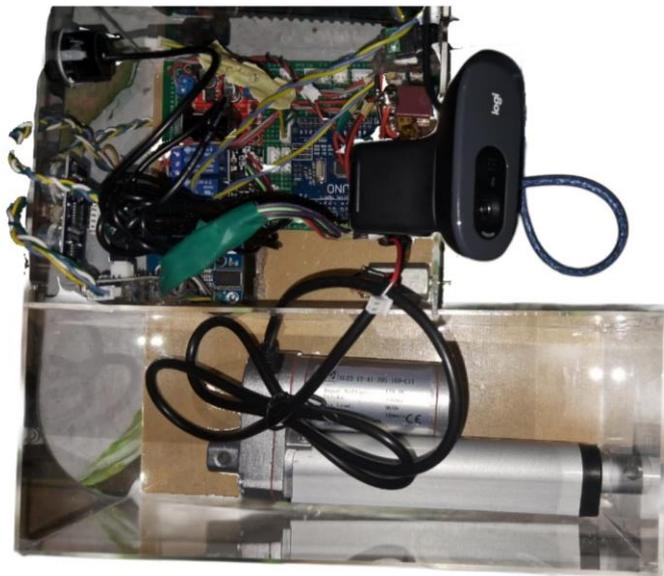
Secara keseluruhan, sistem memberikan performa yang stabil dengan deviasi yang masih dalam batas wajar. Dengan rata-rata error di bawah 3%, pendekatan ini dapat digunakan dalam sistem vision-based seperti pengereman otomatis, selama dilakukan kalibrasi tambahan dan pengujian berkelanjutan. Peningkatan akurasi dapat dicapai dengan penyesuaian parameter kalibrasi atau integrasi sensor tambahan jika dibutuhkan.

5.1.3 Pengujian Tegangan Linear Actuator

Tegangan yang diberikan ke linear aktuator berperan penting dalam menentukan kecepatan serta kekuatan dorong saat pengereman otomatis berlangsung. Aktuator linear 12V ini akan bekerja secara optimal jika menerima tegangan mendekati ± 12 volt, tergantung arah gerakannya (ritrek atau extend). Oleh karena itu, dilakukan pengukuran tegangan yang disuplai ke aktuator saat sistem dalam kondisi aktif (rem menyala) dan tidak aktif (rem tidak menyala) untuk menilai kestabilan output dari modul relay serta memastikan performa aktuator bekerja sesuai logika kontrol.



Gambar 5.3 Posisi Aktuator Tidak Rem



Gambar 5.4 Posisi Aktuator Saat Rem

Tabel 5.3 Posisi Aktuator dan Tegangan Linear Aktuator

No	Posisi Linear Aktuator	Tegangan Aktuator (V)
1	Ritrek	12 v minus
2	Extend	12v

Klasifikasi Tegangan:

Untuk analisis logika ON/OFF sistem aktuator berdasarkan tegangan:

- Tegangan = -12 → Aktuator ON (Ritrek)
- Tegangan = 12 V → Aktuator OFF (Tegangan_Extend)

Berdasarkan hasil pengukuran, sistem aktuator linear 12V menunjukkan bahwa tegangan yang diterima sesuai dengan logika kontrol ON/OFF, yaitu -12 V saat ritrek (aktuator aktif dan rem menyala) serta +12 V saat extend (aktuator tidak aktif dan rem tidak menyala). Hal ini mengindikasikan bahwa modul relay berfungsi dengan baik dalam mengatur arah tegangan sesuai perintah sistem. Tegangan yang stabil mendekati ± 12 V juga menunjukkan bahwa aktuator bekerja secara optimal untuk mendukung mekanisme pengereman otomatis yang responsif dan andal dalam kondisi nyata.

5.1.4 Pengujian Confidence Level YOLOv11

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap confidence level YOLOv11 dalam mendeteksi objek sebagai bagian dari model pengereman otomatis berbasis vision. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalan model dalam mengidentifikasi objek secara tepat dengan tingkat keyakinan yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan respon sistem pengereman secara otomatis dan akurat. Selain itu, pengolahan data dilakukan dengan melibatkan analisis statistik untuk mengukur tingkat keberhasilan dan kepercayaan deteksi, sehingga hasil yang diperoleh dapat dijadikan acuan dalam pengembangan sistem yang lebih presisi.

Pengujian dilakukan berbagai objek, yang mencakup bis, mobil, motor, manusia dan kucing untuk mengevaluasi tingkat confidence YOLOv11 dalam mendeteksi objek pada sistem pengereman otomatis berbasis vision. Variasi objek ini bertujuan untuk mengukur sensitivitas model terhadap berbagai bentuk objek yang relevan dalam skenario nyata. Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel sebagai dasar untuk analisis lebih lanjut guna menilai akurasi dan keandalan sistem deteksi dalam kondisi pengujian yang beragam, Tabel 5.7 menampilkan data nilai confidence digunakan sebagai indikator seberapa yakin sistem mengenali objek secara benar:

Tabel 5.4 Data Confidence YOLOv11 yang diperoleh pada 10 kali pengujian

No	Confidence (%)	Gambar
1	90%	
2	92%	
3	89%	
4	94%	
5	93%	
6	86%	
7	86%	
8	64%	

No	Confidence (%)	Gambar
9	68%	
10	49%	
11	86%	
12	86%	
13	80%	
14	68%	
15	74%	

No	Confidence (%)	Gambar
16	80%	
17	84%	
18	82%	
19	82%	
20	82%	
21	81%	
22	68%	

No	Confidence (%)	Gambar
23	79%	
24	72%	
25	84%	
26	87%	
27	83%	
28	86%	
29	66%	
30	91%	

No	Confidence (%)	Gambar
31	78%	
32	89%	

Rumus Rata-rata Confidence:

$$C^- = \frac{\text{Data Confidence}}{\text{Jumlah Data}} \quad (5.4)$$

Rata-rata confidence sebesar 81,75% menunjukkan bahwa sistem YOLOv11 memberikan tingkat keyakinan yang cukup tinggi dalam mendeteksi objek. Sebagian besar prediksi berada di atas 80%, menandakan performa deteksi yang stabil. Beberapa nilai rendah seperti 49%, 64%, dan 66% tercatat sebagai outlier dan termasuk dalam kategori keyakinan rendah. Sebanyak 7 dari 32 sampel (21,9%) memiliki confidence di bawah 70%, sedangkan mayoritas berada dalam kisaran moderat hingga tinggi. Dengan lebih dari 78% data menunjukkan confidence di atas 75%, sistem dapat dianggap andal dan cukup layak digunakan untuk pengambilan keputusan otomatis, termasuk dalam penerapan sistem pengereman berbasis deteksi objek.

5.1.5 Pengujian Deteksi Objek Menggunakan YOLOv11

Untuk menilai performa sistem deteksi objek berbasis model YOLOv11 yang diintegrasikan dengan kamera dan mikrokontroler Arduino, dilakukan pengujian terhadap berbagai objek data nyata. Setiap sampel dibandingkan antara kondisi aktual (ground truth) dengan hasil prediksi dari YOLO. Jika objek (misalnya manusia) benar-benar hadir dan YOLO berhasil mendeteksinya, maka dikategorikan sebagai True Positive (TP). Sebaliknya, kesalahan deteksi dicatat sebagai False Positive (FP) atau False Negative (FN). Nilai kepercayaan

(*confidence*) dari YOLO juga dicatat untuk setiap deteksi positif. Berikut adalah tabel 5.6 hasil pengujian deteksi:

Tabel 5.3 Kategori Deteksi YOLO

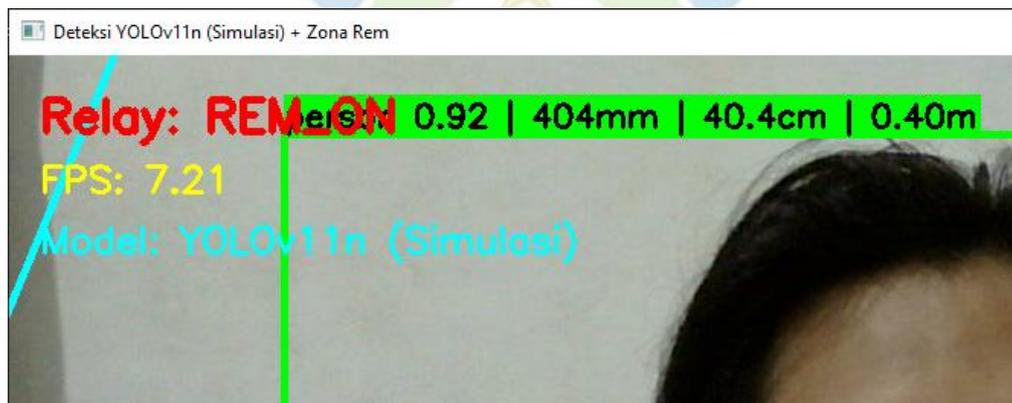
No	Confidence	Prediksi (YOLO)	Ground Truth	Gambar	Kategori
1	90%	Ya	Ya		TP
2	92%	Ya	Ya		TP
3	89%	Ya	Ya		TP
4	94%	Ya	Ya		TP
5	93%	Ya	Ya		TP
6	86%	Ya	Ya		TP
7	86%	Ya	Ya		TP

No	Confidence	Prediksi (YOLO)	Ground Truth	Gambar	Kategori
8	64%	Tidak	Ya		FN
9	68%	Tidak	Ya		FN
10	49%	Tidak	Ya		FN
11	86%	Ya	Ya		TP
12	86%	Ya	Ya		TP
13	80%	Ya	ya		TP
14	68%	Tidak	Ya		FN

No	Confidence	Prediksi (YOLO)	Ground Truth	Gambar	Kategori
15	74%	Ya	Ya		TP
16	80%	Ya	Ya		TP
17	84%	Ya	YA		TP
18	82%	Ya	YA		TP
19	82%	Ya	Ya		TP
20	82%	Ya	Ya		TP
21	81%	Ya	Ya		TP

No	Confidence	Prediksi (YOLO)	Ground Truth	Gambar	Kategori
22	68%	Tidak	Ya		FN
23	79%	Ya	Ya		TP
24	72%	Ya	Ya		TP
25	84%	Ya	Ya		TP
26	87%	Ya	Ya		TP
27	83%	Ya	Ya		TP
28	86%	Ya	Ya		TP

No	Confidence	Prediksi (YOLO)	Ground Truth	Gambar	Kategori
29	66%	Tidak	Ya		FN
30	91%	Ya	Ya		TP
31	78%	Ya	Ya		TP
32	89%	Ya	Ya		TP



Gambar 5.5 Level score confident menampilkan Tingkat kepercayaan (confident) 92%

Perhitungan Metrik Evaluasi

Dari tabel di atas, diperoleh:

- True Positive (TP) = 26
- False Positive (FP) = 6
- True Negative (TN) = 0
- False Negative (FN) = 0
- Total Data = 32

$$\begin{aligned}
 \text{Akurasi} &= \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} = \frac{26 + 0}{26 + 0 + 0 + 0} = \frac{26}{32} = 81,25\% \\
 &= 81\%
 \end{aligned}
 \tag{5.7}$$

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{26}{26 + 0} = 1,0 = 100\%
 \tag{5.8}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Recall} &= \frac{TP}{TP + FN} = \frac{26}{26 + 6} = \frac{26}{32} = 81,25 \\
 &= 81,25\%
 \end{aligned}
 \tag{5.9}$$

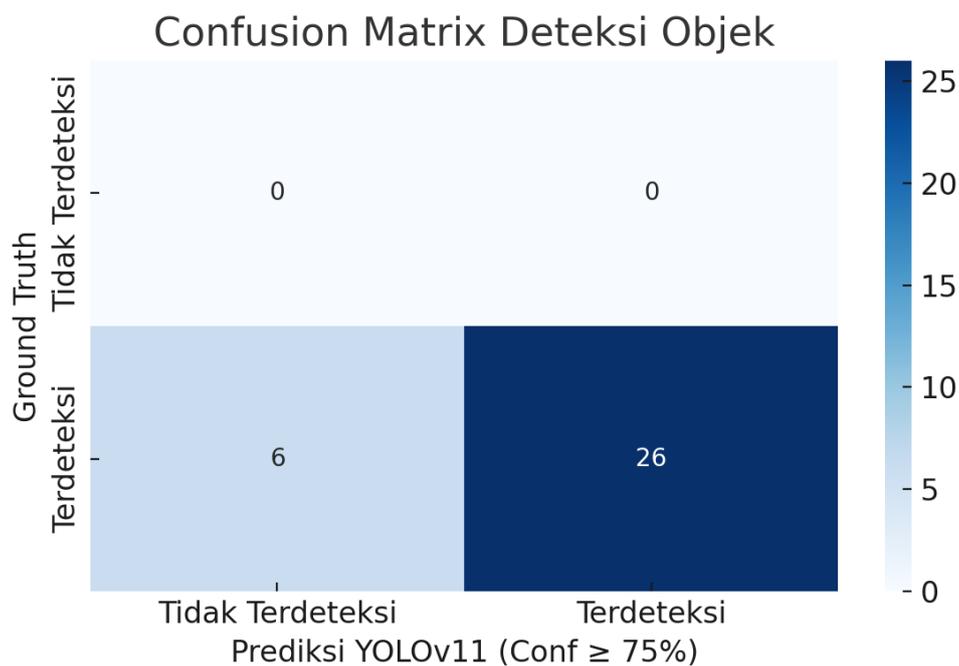
$$\begin{aligned}
 \text{F1 - Score} &= 2 \times \frac{\text{Presisi} \times \text{Recall}}{\text{Presisi} + \text{Recall}} = 2 \times \frac{0,833 \times 0,833}{0,833 + 0,833} = 0,8966 \\
 &= 89,66\%
 \end{aligned}
 \tag{5.10}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Error Rate} &= \text{TotalFN} + \text{FP} = 326 + 0 \\
 &= 18.75\%
 \end{aligned}
 \tag{5.11}$$

Pengujian terhadap 32 sampel data menunjukkan bahwa model YOLOv11 mampu mendeteksi objek dengan tingkat akurasi sebesar 81,25%. Pengujian ini menggunakan ambang batas confidence sebesar 75%. Dari total sampel, model berhasil mendeteksi objek secara benar pada 26 gambar (true positive), dan gagal mendeteksi objek pada 6 gambar lainnya (false negative). Tidak ditemukan false positive dalam pengujian ini.

Presisi mencapai 100%, menunjukkan bahwa seluruh deteksi yang dilakukan oleh model memang sesuai dengan kondisi aktual. Recall berada pada angka 81,25%, menandakan bahwa sebagian objek yang seharusnya terdeteksi masih terlewat. Nilai F1-score sebesar 89,66% menggambarkan keseimbangan antara presisi dan recall, dan rata-rata confidence dari seluruh prediksi adalah 80,41%, yang berada di atas ambang batas deteksi.

Tingkat kesalahan (error rate) sebesar 18,75% berasal dari enam kasus objek yang tidak terdeteksi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun model cukup akurat dan tegas dalam mendeteksi keberadaan objek, masih terdapat peluang peningkatan dalam hal sensitivitas terhadap objek yang sulit dikenali. Visualisasi confusion matrix mendukung hasil ini, dengan distribusi yang didominasi oleh prediksi benar (true positive), dan kesalahan hanya muncul sebagai false negative.



Gambar 5.6 Confusion Matrix

Gambar confusion matrix menunjukkan performa deteksi objek menggunakan model YOLOv11 berdasarkan pengujian terhadap 32 sampel data uji. Dari hasil tersebut, terdapat 26 deteksi benar (True Positive) dan 6 kegagalan deteksi (False Negative), tanpa adanya kesalahan deteksi objek yang tidak ada (False Positive) maupun deteksi benar terhadap ketiadaan objek (True Negative), karena seluruh sampel memang mengandung objek yang seharusnya dikenali oleh sistem. Model mencatat akurasi sebesar 81,25%, dengan presisi 100%, recall 81,25%, dan F1-score sebesar 89,66%. Nilai presisi yang sempurna menunjukkan bahwa setiap objek yang terdeteksi memang benar ada, namun recall yang belum maksimal menandakan masih ada objek yang luput dari deteksi. Hal ini menunjukkan bahwa model cukup ketat dalam mengeksekusi deteksi, namun

kadang terlalu hati-hati sehingga melewati beberapa objek. Evaluasi ini penting sebagai dasar peningkatan, baik dari sisi data latih, skenario pengujian, maupun penyesuaian ambang deteksi agar sistem dapat berfungsi lebih optimal dalam kondisi sebenarnya.

5.2 Analisis

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sistem pengereman otomatis berbasis kamera vision menggunakan model deteksi YOLOv11, diperoleh gambaran menyeluruh mengenai performa sistem dari berbagai aspek utama, termasuk kecepatan pemrosesan (FPS), akurasi estimasi jarak, kestabilan aktuator, tingkat confidence deteksi, serta validasi klasifikasi model. Seluruh aspek diuji dalam skenario nyata untuk mengevaluasi bagaimana sistem merespons keberadaan objek secara otomatis dan mengambil tindakan pengereman melalui pengendalian linear aktuator. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan frame rate rata-rata sebesar 7,77 FPS, dengan waktu proses per frame sekitar 0,1286 detik. Nilai ini berada dalam kisaran yang wajar untuk sistem real-time, memungkinkan sistem mendeteksi dan merespons kondisi lapangan secara cepat tanpa mengalami beban pemrosesan yang berlebihan.

FPS yang stabil juga mencerminkan efisiensi model YOLOv11 versi ringan dalam memproses input video secara berkelanjutan. Dari sisi estimasi jarak, sistem menunjukkan performa yang cukup baik. Rata-rata jarak yang diestimasi oleh kamera adalah 98,07 cm, dengan rata-rata error sebesar 2,99% dibandingkan hasil pengukuran aktual menggunakan meteran. Nilai error ini masih tergolong rendah dan dapat diterima untuk sistem berbasis vision, terutama pada aplikasi jarak pendek hingga menengah. Meskipun terjadi peningkatan error pada jarak sangat dekat, hal tersebut masih dalam batas toleransi dan dapat diatasi melalui kalibrasi ulang atau penambahan sensor tambahan di masa mendatang.

Kinerja sistem aktuator juga diuji melalui pengamatan terhadap tegangan output. Linear aktuator 12V merespons sinyal kendali dengan tepat sesuai logika ON/OFF, yaitu -12 V saat pengereman aktif (ritrek) dan $+12\text{ V}$ saat aktuator dalam posisi extend (rem tidak aktif). Modul relay dan pengendali tegangan yang digunakan terbukti bekerja dengan stabil dan dapat memberikan perintah aktuasi

secara cepat dan konsisten sesuai kondisi deteksi objek. Tingkat confidence dari deteksi objek oleh YOLOv11 menunjukkan hasil yang cukup baik, dengan nilai rata-rata sebesar 81,75%. Sebagian besar data menunjukkan confidence di atas ambang batas 75%, menandakan bahwa sistem memiliki keyakinan tinggi terhadap keberadaan objek. Namun, masih terdapat beberapa data dengan confidence rendah (di bawah 70%), terutama pada kondisi objek kecil atau berada sangat dekat dengan kamera. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem perlu ditingkatkan dalam hal sensitivitas dan ketahanannya terhadap variasi lingkungan.

Evaluasi hasil deteksi dari 32 sampel menunjukkan 26 kasus True Positive (TP) dan 6 kasus False Negative (FN), tanpa adanya False Positive (FP) maupun True Negative (TN). Berdasarkan data tersebut, diperoleh nilai akurasi sebesar 81,25%, presisi 100%, recall 81,25%, F1-score 89,66%, dan error rate 18,75%. Presisi yang tinggi menunjukkan bahwa setiap deteksi yang dilakukan oleh model selalu benar, sementara nilai recall menunjukkan bahwa masih ada beberapa objek yang seharusnya terdeteksi namun tidak dikenali oleh sistem. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sistem sangat akurat dalam mendeteksi objek yang dikenali, masih ada potensi untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam mengenali objek yang lebih sulit terdeteksi.

Secara keseluruhan, analisis ini menunjukkan bahwa prototipe sistem pengereman otomatis berbasis kamera dengan model YOLOv11 mampu bekerja dalam rentang kinerja yang dapat diterima untuk aplikasi real-time. Sistem telah mampu melakukan akuisisi citra, deteksi objek, pengambilan keputusan berbasis confidence, serta pengendalian aktuator secara terintegrasi. Dengan peningkatan lebih lanjut, seperti perluasan dataset pelatihan, penyesuaian parameter kalibrasi, dan penerapan sistem adaptif, sistem ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi solusi pengereman otomatis yang lebih akurat, efisien, dan andal dalam mendukung sistem keselamatan kendaraan pintar.