

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
INTISARI	xi
ABSTRACT.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Metodologi Penelitian	4
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
BAB III LANDASAN TEORI.....	13
3.1. <i>Embedded Machine Learning</i>	13
3.2. <i>Deep Learning</i>	13
3.3. <i>Computer Vision</i>	14
3.4. <i>Object Detection</i>	15
3.5. <i>Real-Time Computing</i>	15
3.6. <i>You Only Look Once (YOLO)</i>	15
3.7. <i>Evaluation Metrics</i>	21
3.7.1. <i>Confusion Matrix</i>	21
3.7.2. <i>Bounding Box</i>	22
3.7.3. <i>Ground Truth</i>	22
3.7.4. <i>Intersection over Union (IoU)</i>	22
3.7.5. <i>Precision</i>	24
3.7.6. <i>Recall</i>	24
3.7.7. <i>F1 Score</i>	24

3.7.8.	<i>Average Precision (AP)</i>	25
3.7.9.	<i>Mean Average Precision (mAP)</i>	25
3.7.10.	<i>Latency</i>	26
3.7.11.	<i>Frame per Second (FPS)</i>	26
BAB IV ANALISIS DAN RANCANGAN SISTEM		27
4.1.	Analisa Sistem	27
4.2.	Alat dan Bahan	27
4.3.	Tahapan Penelitian	28
4.4.	Rancangan Sistem	30
4.4.1.	Rancangan Perangkat Keras	30
4.4.2.	Rancangan Perangkat Lunak	31
4.4.3.	Rancangan Model Deteksi	32
4.5.	Pengujian dan Evaluasi Sistem	33
BAB V IMPLEMENTASI		36
5.1.	Implementasi Perangkat Keras	36
5.1.1.	Implementasi Elektronika dan Aktuator	36
5.1.2.	Implementasi Mekanik	37
5.2.	Preparasi Dataset	40
5.2.1.	Implementasi Akuisisi Data	40
5.2.2.	Implementasi Pembuatan Data Latih	40
5.3.	Implementasi Model YOLO11	46
5.4.	Implementasi <i>Deployment</i>	52
5.4.1.	<i>Deployment</i> pada Raspberry Pi	52
5.4.2.	<i>Deployment</i> pada Arduino Nano	57
5.5.	Implementasi Pengujian	59
5.5.1.	Implementasi Pengujian Komputasi Model	60
5.5.2.	Implementasi Pengujian Performa Model	61
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN		65
6.1.	Analisis Dataset	65
6.2.	Hasil Pelatihan Model YOLO11	66
6.2.1.	Eksperimen <i>Hyperparameter Tuning</i>	66
6.2.2.	Analisis Pelatihan Model YOLO11	70
6.3.	Hasil Pengujian Model YOLO11	70
6.3.1.	Hasil Pengujian Data Testing	70

6.3.2.	Analisis Pengujian Model YOLO11	72
6.4.	Hasil Pengujian Komputasi Model YOLO11	73
BAB VII KESIMPULAN		76
7.1.	Kesimpulan	76
7.2.	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA.....		78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Cara kerja <i>Deep Learning</i>	14
Gambar 3.2 Proses YOLO <i>Object Detection</i>	16
Gambar 3.3 Arsitektur Jaringan Dasar YOLO	17
Gambar 3.4 Arsitektur YOLO11	18
Gambar 3.5 Bottleneck, C3, C2F dan C3K2.....	19
Gambar 3.6 C2PSA (<i>Cross Stage Partial with Spatial Attention</i>)	20
Gambar 3.7 Perbandingan YOLO11 dengan SOTA Models	20
Gambar 3.8 Tabel <i>Confusion matrix</i>	21
Gambar 3.9 Ilustrasi <i>Intersection over Union</i>	23
Gambar 3.10 Ilustrasi <i>Intersection over Union threshold</i>	23
Gambar 3.11 <i>Precision-recall (PR) curve</i>	25
Gambar 4.1 Tahapan Penelitian	29
Gambar 4.2 Rancangan Perangkat Keras.....	30
Gambar 4.3 Alur Program.....	31
Gambar 4.4 Fase <i>Training</i>	32
Gambar 4.5 Fase <i>Testing</i>	33
Gambar 5.1 Skematik Rangkaian Raspberry Pi.....	36
Gambar 5.2 Skematik Rangkaian Arduino Nano.....	37
Gambar 5.3 Implementasi Rangkaian Elektronika	37
Gambar 5.4 Desain Prototipe Alat	38
Gambar 5.5 Desain Prototipe Alat Tampak Atas	38
Gambar 5.6 Desain Prototipe Alat Tampak Samping	38
Gambar 5.7 Ukuran Desain Prototipe Alat	39
Gambar 5.8 Hasil Implementasi Desain Prototipe Alat	39
Gambar 5.9 Proses anotasi gambar pada <i>website</i> Roboflow	41
Gambar 5.10 Pembagian dataset.....	41
Gambar 5.11 Grafik pembagian dataset pada masing-masing kelas.....	42
Gambar 5.12 Proses <i>resize image</i> pada dataset.....	42
Gambar 5.13 Proses augmentasi data <i>training</i>	43
Gambar 5.14 Hasil <i>generate</i> data pada Roboflow	44
Gambar 5.15 Tampilan <i>menu Export</i> pada Roboflow.....	44
Gambar 5.16 Instalasi Roboflow dan <i>export</i> dataset	45
Gambar 5.17 Direktori folder dataset yang telah di <i>export</i>	45
Gambar 5.18 Isi file data.yaml.....	46
Gambar 5.19 Contoh Isi file label dan koordinat kelas.....	46
Gambar 5.20 <i>GPU Check</i>	47
Gambar 5.21 <i>Install Dependencies</i> untuk YOLO11	47
Gambar 5.22 Perintah Pelatihan Model YOLO11	48
Gambar 5.23 Potongan <i>output</i> dari tahap pelatihan model YOLO11	49
Gambar 5.24 Perintah Validasi Model menggunakan <i>validation set</i>	49
Gambar 5.25 <i>Confusion Matrix</i> model terhadap <i>validation set</i>	50
Gambar 5.26 Direktori hasil <i>training</i> yang di <i>deploy</i>	50

Gambar 5.27 Dokumentasi Performa YOLO11n pada Raspberry Pi 5	51
Gambar 5.28 Perintah <i>export</i> model dalam format NCNN	51
Gambar 5.29 Inisialisasi kelas <i>controller</i>	52
Gambar 5.30 Fungsi komunikasi serial.....	53
Gambar 5.31 Fungsi kontrol aktuator	53
Gambar 5.32 Import <i>library</i> program	54
Gambar 5.33 Inisialisasi Kelas Inferensi Model.....	54
Gambar 5.34 Fungsi <i>Post-Processing</i>	55
Gambar 5.35 Fungsi Utama Deteksi Objek dan Kontrol Aktuator	56
Gambar 5.36 Implementasi Fungsi Tampilan LCD pada Arduino	57
Gambar 5.37 Alur Program Utama Tampilan LCD	58
Gambar 5.38 Fungsi Menjalankan Program pada Input Gambar	59
Gambar 5.39 Fungsi Menjalankan Program pada Input Webcam	60
Gambar 5.40 Fungsi Pengujian Komputasi Model.....	61
Gambar 5.41 Menjalankan Program Komputasi Model	61
Gambar 5.42 Gambar Instalasi Program <i>mAP</i>	62
Gambar 5.43 Folder Tujuan Program <i>mAP</i>	62
Gambar 5.44 Fungsi Program <i>Parsing</i> Data Box ke Teks	63
Gambar 5.45 Menjalankan Program Performa Model.....	63
Gambar 5.46 Otomasi Program <i>mAP</i>	64
Gambar 6.1 Grafik Kelas terhadap Jumlah Objek	65
Gambar 6.2 Grafik Perbandingan Akurasi Eksperimen Pertama.....	68
Gambar 6.3 Grafik Waktu Pelatihan Eksperimen Pertama	68
Gambar 6.4 Grafik Perbandingan Akurasi Eksperimen Kedua	69
Gambar 6.5 Grafik Waktu Pelatihan Eksperimen Kedua.....	69
Gambar 6.6 Hasil Akurasi mAP dengan Data Testing	71
Gambar 6.7 Hasil Pengujian Komputasi Model	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Korelasi Penelitian	11
Tabel 4.1 Daftar Alat	27
Tabel 4.2 Daftar Bahan	28
Tabel 4.3 Rencana Pengujian Sistem	33
Tabel 4.4 <i>Performance Metrics</i> untuk model deteksi	34
Tabel 4.5 <i>Performance Metrics</i> untuk komputasi deteksi.....	34
Tabel 4.6 Parameter Indikator Penelitian.....	35
Tabel 6.1 Komposisi dan Karakteristik Dataset.....	66
Tabel 6.2 Hasil Pelatihan pada Dataset 1 (Split 80-10-10)	67
Tabel 6.3 Hasil Pelatihan pada Dataset 2 (Split 80-15-5)	69
Tabel 6.4 Perbedaan Akurasi Model pada Data Testing dan Data Training.....	71
Tabel 6.5 Hasil Perbandingan Komputasi Model	73
Tabel 6.6 Hasil Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	74