

HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR SINGKATAN .....	xvii
INTISARI .....	xviii
ABSTRACT .....	xix
BAB I Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	6
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori .....	7
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Dasar Teori .....	13
2.2.1 Jenis Beras .....	13
2.2.2 SNI Beras .....	14
2.2.3 ISO Beras .....	16
2.2.4 Proses Produksi Beras .....	16
2.2.5 <i>Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning, dan Computer Vision</i> .....	18
2.2.6 ANN .....	20
2.2.7 CNN .....	23
2.2.8 Dataset .....	25
2.2.9 Augmentasi Data .....	28
2.2.10 Teknik Regularisasi Lainnya .....	29
2.2.11 Deteksi Objek .....	30
2.2.12 Hiperparameter .....	32
2.2.12.1 <i>Epoch</i> .....	32
2.2.12.2 <i>Batch Size</i> .....	32
2.2.12.3 <i>Momentum</i> .....	32

2.2.12.4	<i>Weight Decay</i> .....	32
2.2.13	Istilah pada Deteksi Objek .....	33
2.2.13.1	IoU .....	33
2.2.13.2	<i>True Positive, True Negative, False Positive, dan False Negative</i> .....	33
2.2.14	Metrik .....	34
2.2.14.1	<i>Average Precision dan Mean Average Precision</i> .....	34
2.2.14.2	Akurasi, Presisi, Recall, Specificity, dan F1 score .....	34
2.2.14.3	<i>Training Time, Inference Time, dan FPS</i> .....	35
2.2.14.4	<i>Loss</i> .....	35
2.2.14.5	<i>Loss/Cost Function</i> .....	36
2.2.14.6	<i>Confusion Matrix</i> .....	37
2.2.15	Alat Komputasi .....	38
2.2.15.1	<i>Ethernet</i> .....	38
2.2.15.2	CPU, GPU, dan TPU .....	38
2.2.16	Bahasa Pemrograman Python .....	39
2.2.16.1	<i>Framework, Library, dan Modul</i> .....	39
2.2.17	Perkembangan Algoritma YOLO .....	39
2.2.17.1	YOLO Versi Pertama (Juni 2015) .....	39
2.2.17.2	YOLOv2/YOLO9000 (Desember 2016) .....	41
2.2.17.3	YOLOv3 (April 2018) .....	41
2.2.17.4	YOLOv4 (April 2020) .....	41
2.2.17.5	YOLOv5 (Juni 2020) .....	43
2.2.17.6	YOLOv6 (September 2022) .....	43
2.2.17.7	YOLOv7 (Juli 2022) .....	43
2.2.17.8	YOLOv8 (Januari 2023) .....	44
2.2.18	Analisis Pembandingan Metode .....	44
BAB III	Metode Penelitian .....	54
3.1	Alat dan Bahan Penelitian .....	54
3.1.1	Alat Penelitian .....	54
3.1.2	Bahan Penelitian .....	57
3.2	Metode yang Digunakan .....	58
3.3	Alur Penelitian .....	63
3.3.1	Studi Literatur .....	64
3.3.2	Pengumpulan Dataset .....	64
3.3.3	Akuisisi Dataset .....	66
3.3.4	Anotasi Dataset .....	69
3.3.5	Pen-split-an Dataset .....	70
3.3.6	Pelatihan Model YOLOv7X, YOLOv8X, dan YOLOv5X .....	71

3.3.7	Validasi Model YOLOv7X, YOLOv8X, dan YOLOv5X .....	71
3.3.8	Testing Model YOLOv7X, YOLOv8X, dan YOLOv5X .....	73
3.3.9	Post-Processing Citra Hasil Validasi .....	73
3.3.10	Pembandingan Performa Model YOLOv7X, YOLOv8X, dan YOLOv5X .....	73
3.3.11	Klasifikasi Mutu Beras .....	74
3.3.12	Testing Fleksibilitas dan Robustness dengan Varietas Beras Lainnya dan Variasi Background, Pencahayaan, dan Jumlah Beras .....	75
3.4	Masalah Penelitian .....	75
3.4.1	Potensi Masalah Penelitian .....	75
BAB IV	Hasil dan Pembahasan .....	76
4.1	Pengambilan Dataset Beras yang Sesuai SNI .....	76
4.2	Analisis Performa Model .....	76
4.2.1	Dataset Short Grain 120 Data dengan YOLOv7X .....	76
4.2.2	Dataset Medium Grain 120 Data dengan YOLOv7X .....	87
4.2.3	Dataset Long Grain 120 Data dengan YOLOv7X .....	91
4.2.4	Dataset Short Grain 120 Data dengan YOLOv8X .....	99
4.2.5	Dataset Medium Grain 120 Data dengan YOLOv8X .....	101
4.2.6	Dataset Long Grain 120 Data dengan YOLOv8X .....	102
4.2.7	Dataset Short Grain 120 Data dengan YOLOv5X .....	103
4.2.8	Dataset Medium Grain 120 Data dengan YOLOv5X .....	108
4.2.9	Dataset Long Grain 120 Data dengan YOLOv5X .....	109
4.3	Pengaruh Penambahan Dataset Menjadi 250 Citra .....	109
4.3.1	Dataset Short Grain 250 Data dengan YOLOv7X .....	109
4.3.2	Dataset Long Grain 250 Data dengan YOLOv7X .....	116
4.4	Pembandingan Performa Model YOLOv4, YOLOv5X, YOLOv7X, dan YOLOv8X .....	119
4.5	Pengelompokan Mutu Beras .....	120
4.5.1	Short Grain dan Long Grain .....	120
4.5.2	Medium grain .....	120
4.6	Fleksibilitas dan Robustness Model dengan Varietas Beras Lain .....	121
4.7	Pembandingan Hasil Penelitian dengan Hasil Terdahulu .....	128
BAB V	Kesimpulan dan Saran .....	133
5.1	Kesimpulan .....	133
5.2	Saran .....	134
DAFTAR PUSTAKA	.....	136
LAMPIRAN	.....	L-1
L.1	Dataset .....	L-1
L.1.1	Short Grain dan Long Grain 120 Data .....	L-1

<b>L.2</b>	<b><i>File Best Weight</i></b> .....	L-1
<b>L.3</b>	<b><i>File Excel Hasil Validasi Setiap Iterasi</i></b> .....	L-1
<b>L.4</b>	<b><i>Source Kode Bash yang Dijalankan di Notebook Python</i></b> .....	L-3
L.4.1	<b><i>YOLOv7X</i></b> .....	L-3
L.4.2	<b><i>YOLOv8X</i></b> .....	L-5
L.4.3	<b><i>YOLOv5X</i></b> .....	L-6
<b>L.5</b>	<b><i>Kode Python</i></b> .....	L-7
L.5.1	<b><i>Post Processing : Pemisahan Citra Anotasi dan Hasil Prediksi</i></b> .....	L-7
L.5.2	<b><i>Dokumen YAML</i></b> .....	L-8
L.5.2.1	<b><i>Dokumen YAML pada Dataset <i>Short Grain</i></i></b> .....	L-8
L.5.2.2	<b><i>Dokumen YAML pada Dataset <i>Medium Grain</i></i></b> .....	L-8
L.5.2.3	<b><i>Dokumen YAML pada Dataset <i>Long Grain</i></i></b> .....	L-9
<b>L.6</b>	<b><i>Kode Klasifikasi Mutu Beras pada Detect.py</i></b> .....	L-9
L.6.1	<b><i>Untuk <i>Short Grain</i> dan <i>Long Grain</i></i></b> .....	L-9
L.6.2	<b><i>Untuk <i>Medium Grain</i></i></b> .....	L-18
<b>L.7</b>	<b><i>Pengeditan File Plots.py pada YOLOv7X</i></b> .....	L-27

Tabel 2.1	Hasil Penelitian Lou <i>et al</i> [1]	10
Tabel 2.2	Kelompok Mutu Beras dan Ketentuan Pengelompokannya [2]	15
Tabel 2.3	Pembagian Jenis Beras dan Ketentuannya Menurut ISO [3]	17
Tabel 2.4	Metrik Model CNN pada Penelitian Koklu <i>et al</i> [4]	45
Tabel 2.5	Metrik Model DNN pada Penelitian Koklu <i>et al</i> [4]	46
Tabel 2.6	Metrik Model ANN pada Penelitian Koklu <i>et al</i> [4]	47
Tabel 2.7	Pembagian Komponen Mutu Beras Standar Thailand Berdasarkan Tingkat Kepatahan dan Panjang Utuh Butirnya	48
Tabel 3.1	Spesifikasi Umum Dataset	59
Tabel 3.2	Spesifikasi <i>Short Grain</i> 120 Citra	59
Tabel 3.3	Spesifikasi <i>Long Grain</i> 120 Citra	60
Tabel 3.4	Model YOLOv7X	60
Tabel 3.5	Model YOLOv8X	61
Tabel 3.6	Model YOLOv5X	61
Tabel 3.7	Komposisi Komponen Mutu pada Citra Dataset	66
Tabel 3.8	Penentuan Keputusan Mutu Beras <i>Medium Grain</i>	74
Tabel 4.1	Metrik Terbaik untuk <i>Short Grain</i> 120 Data dengan Model YOLOv7X	78
Tabel 4.2	Metrik <i>Best Epoch</i> pada <i>Short Grain</i> 120 Data dengan YOLOv7X	82
Tabel 4.3	Metrik Terbaik pada <i>Medium Grain</i> dengan Model YOLOv7X	87
Tabel 4.4	Metrik <i>Best Epoch</i> pada <i>Medium Grain</i> 120 Data dengan YOLOv7X	88
Tabel 4.5	Metrik Terbaik pada <i>Long Grain</i> dengan Model YOLOv7X	92
Tabel 4.6	Metrik <i>Best Epoch</i> pada <i>Long Grain</i> 120 Data dengan YOLOv7X	93
Tabel 4.7	Metrik <i>Best Epoch</i> pada <i>Short Grain</i> 120 Data dengan YOLOv8X	99
Tabel 4.8	Metrik <i>Best Epoch</i> pada <i>Medium Grain</i> 120 Data dengan YOLOv8X	101
Tabel 4.9	Metrik <i>Best Epoch</i> pada <i>Long Grain</i> 120 Data dengan YOLOv8X	102
Tabel 4.10	Metrik <i>Best Epoch</i> pada <i>Short Grain</i> 120 Data dengan YOLOv5X	107
Tabel 4.11	Metrik <i>Best Epoch</i> pada <i>Medium Grain</i> 120 Data dengan YOLOv5X	108
Tabel 4.12	Metrik <i>Best Epoch</i> pada <i>Long Grain</i> 120 Data dengan YOLOv5X	109
Tabel 4.13	Metrik <i>Best Epoch</i> pada <i>Short Grain</i> 250 Data dengan YOLOv5X	113
Tabel 4.14	Metrik <i>Best Epoch</i> <i>Long Grain</i> 250 Data dengan YOLOv7X	116
Tabel 4.15	Pembandingan Performa YOLOv4, YOLOv5X, YOLOv7X, dan YOLOv8X	119
Tabel 4.16	Prediksi <i>Unseen</i> Varietas Beras	122
Tabel 4.17	Prediksi Variasi Banyaknya Objek dalam Sebuah Citra	122
Tabel 4.18	Prediksi Pencapaian yang Belum Pernah Dilihat oleh Model	128
Tabel 4.19	Pembandingan Penelitian dengan Karlwillem [5]	130
Tabel 4.20	Pembandingan Penelitian dengan Budiyantha <i>et al</i> [6]	131
Tabel 4.21	Pembandingan penelitian dengan Alhajir [7]	132

Gambar 2.1	Butir Beras yang Menumpuk pada Penelitian Ma'arif <i>et al</i> [8] ...	12
Gambar 2.2	Perbedaan <i>Short Grain</i> , <i>Medium Grain</i> , dan <i>Long Grain</i> [9] .....	14
Gambar 2.3	Ukuran Keterpotongan Butir Beras [1] .....	16
Gambar 2.4	Cara Kerja <i>Artificial Neural Network</i> [10] .....	19
Gambar 2.5	Perbedaan RNN dengan <i>Feedforward Neural Network</i> [11] .....	19
Gambar 2.6	Struktur <i>Neuron</i> pada Manusia [12] .....	20
Gambar 2.7	Lapisan <i>Artificial Neural Network</i> [13] .....	21
Gambar 2.8	Cara Kerja <i>Artificial Neural Network</i> [14] .....	21
Gambar 2.9	<i>Dot Product</i> pada CNN [15] .....	22
Gambar 2.10	Berbagai Macam <i>Activation Function</i> [16] .....	23
Gambar 2.11	Proses Konvolusi pada CNN [17] .....	24
Gambar 2.12	Contoh <i>Pooling</i> : <i>Max Pooling</i> [18] .....	24
Gambar 2.13	Contoh <i>Zero Padding</i> [19] .....	25
Gambar 2.14	Proses yang Terjadi pada <i>Fully Connected Network</i> [20] .....	25
Gambar 2.15	Analogi Kinerja <i>Fully Connected Network</i> [20] .....	26
Gambar 2.16	<i>Underfitting</i> , <i>Fitted</i> , dan <i>Overfitting</i> pada Klasifikasi dan Regresi [21] .....	26
Gambar 2.17	Garis Khayal Vertikal dan Horizontal yang Mempermudah Pengamatan .....	27
Gambar 2.18	Tampilan <i>Platform Kaggle</i> .....	28
Gambar 2.19	Translasi, Rotasi, Penskalaan, <i>Shearing</i> , dan <i>Flip</i> terhadap Sumbu Vertikal [22] .....	29
Gambar 2.20	Pengertian <i>Hue</i> , Saturasi, dan <i>Exposure/Brightness</i> [23] .....	29
Gambar 2.21	Tahapan Deteksi Objek [5] .....	31
Gambar 2.22	Definisi <i>Intersection over Union (IoU)</i> [24] .....	33
Gambar 2.23	Contoh Grafik AP pada Suatu Kelas [25] .....	34
Gambar 2.24	Contoh <i>Confusion Matrix</i> [26] .....	37
Gambar 2.25	Perkembangan Algoritma <i>YOLO Family</i> [27] .....	39
Gambar 2.26	Arsitektur <i>YOLOv1</i> [28] .....	40
Gambar 2.27	Arsitektur <i>Darknet-19</i> [29] .....	42
Gambar 2.28	Arsitektur <i>Darknet-53</i> [30] .....	42
Gambar 2.29	Dataset <i>PASCAL VOC</i> [31] .....	50
Gambar 2.30	Dataset <i>VisDrone</i> [32] .....	50
Gambar 2.31	Dataset <i>TinyPerson</i> [33] .....	51
Gambar 3.1	Pengumpulan Varietas Beras .....	65
Gambar 3.2	Pengelompokan Komponen Mutu Beras .....	65
Gambar 3.3	Dataset dengan Berbagai <i>Background</i> .....	68
Gambar 3.4	Pengambilan Citra Dataset .....	69
Gambar 3.5	Pantulan Butir Beras pada <i>Cup Beras</i> .....	70
Gambar 3.6	Anotasi dengan <i>Roboflow</i> .....	71
Gambar 3.7	<i>Flowchart</i> Pelatihan dan Validasi Dataset .....	72
Gambar 3.8	Citra Hasil Prediksi Sebelum <i>Post-Processing</i> .....	73
Gambar 4.1	Dataset <i>Short Grain</i> 120 Citra .....	77
Gambar 4.2	Dataset <i>Long Grain</i> 120 Citra .....	77

Gambar 4.3	Dataset <i>Short Grain</i> 250 Citra .....	78
Gambar 4.4	Dataset <i>Long Grain</i> 250 Citra .....	80
Gambar 4.5	<i>Fitness Function</i> pada YOLOv7 .....	81
Gambar 4.6	Pembaruan Bobot Berdasarkan <i>Fitness Function</i> pada YOLOv7 ..	82
Gambar 4.7	Grafik Perkembangan Performa Metrik pada Dataset <i>Short Gra-</i> <i>in</i> 120 Data YOLOv7X .....	83
Gambar 4.8	<i>Confusion Matrix Short Grain</i> 120 Data dengan YOLOv7X .....	84
Gambar 4.9	Prediksi 1 .....	86
Gambar 4.10	Prediksi 2 .....	86
Gambar 4.11	Perkembangan Metrik <i>Medium Grain</i> 120 Data dengan YOLOv7X	89
Gambar 4.12	<i>Confusion Matrix</i> pada <i>Medium Grain</i> 120 Data dengan YO- LOv7X .....	90
Gambar 4.13	Prediksi 1 .....	91
Gambar 4.14	Prediksi 2 .....	91
Gambar 4.15	Prediksi 3 .....	92
Gambar 4.16	Perkembangan Metrik <i>Long Grain</i> 120 Data dengan YOLOv7X .	95
Gambar 4.17	<i>Confusion Matrix Long Grain</i> 120 Data dengan YOLOv7X .....	95
Gambar 4.18	Prediksi 1 .....	96
Gambar 4.19	Prediksi 2 .....	96
Gambar 4.20	Prediksi 3 .....	97
Gambar 4.21	Prediksi 4 .....	98
Gambar 4.22	Prediksi 5 .....	98
Gambar 4.23	Perkembangan Metrik <i>Short Grain</i> 120 Data dengan YOLOv8X .	100
Gambar 4.24	Perkembangan Metrik <i>Short Grain</i> 120 Data dengan YOLOv8X .	101
Gambar 4.25	Prediksi <i>Short Grain</i> 120 Data dengan YOLOv8X .....	104
Gambar 4.26	Grafik Perkembangan Performa Metrik pada Dataset <i>Medium</i> <i>Grain</i> 120 Data YOLOv8X .....	104
Gambar 4.27	<i>Confusion Matrix</i> pada Dataset <i>Medium Grain</i> 120 Data YO- LOv8X .....	105
Gambar 4.28	Prediksi <i>Medium Grain</i> 120 Data dengan YOLOv8X .....	105
Gambar 4.29	Grafik Perkembangan Performa Metrik pada Dataset <i>Long Gra-</i> <i>in</i> 120 Data YOLOv8X .....	106
Gambar 4.30	Perkembangan Metrik <i>Long Grain</i> 120 Data dengan YOLOv8X .	106
Gambar 4.31	Prediksi <i>Long Grain</i> 120 Data dengan YOLOv8X .....	107
Gambar 4.32	<i>Fitness Function</i> YOLOv5 .....	107
Gambar 4.33	<i>Update</i> Bobot Terbaik Dilakukan Saat <i>Fitness Function</i> -nya Ber- nilai Lebih Besar .....	110
Gambar 4.34	Grafik Perkembangan Performa Metrik pada Dataset <i>Short Gra-</i> <i>in</i> 120 Data YOLOv5X .....	110
Gambar 4.35	<i>Confusion Matrix Short Grain</i> 120 Data dengan YOLOv5X .....	111
Gambar 4.36	Grafik Perkembangan Performa Metrik pada Dataset <i>Medium</i> <i>Grain</i> 120 Data YOLOv5X .....	111
Gambar 4.37	Grafik Perkembangan Performa Metrik pada Dataset <i>Long Gra-</i> <i>in</i> 120 Data YOLOv5X .....	112
Gambar 4.38	<i>Confusion Matrix Long Grain</i> 120 Data dengan YOLOv5X .....	112
Gambar 4.39	Grafik Perkembangan Performa Metrik pada Dataset <i>Short Gra-</i> <i>in</i> 250 Data YOLOv7X .....	113
Gambar 4.40	<i>Confusion Matrix</i> pada Dataset <i>Short Grain</i> 250 Data YOLOv7X	114

Gambar 4.41	Prediksi <i>Short Grain</i> 250 Data dengan YOLOv7X : (a) Kotoran pada <i>Background</i> Terdeteksi Sebagai Benda Asing, (c) Butir Menir Terdeteksi Sebagai Butir Patah, (e) Butir Patah Terdeteksi Sebagai Butir Kepala, (g) Ulat Terdeteksi Sebagai Butir Kepala ..	115
Gambar 4.42	Grafik Perkembangan Performa Metrik pada Dataset <i>Long Grain</i> 250 Data YOLOv7X .....	116
Gambar 4.43	<i>Confusion Matrix</i> pada Dataset <i>Long Grain</i> 250 Data YOLOv7X	117
Gambar 4.44	Prediksi <i>Long Grain</i> 250 Data dengan YOLOv7X .....	118
Gambar 4.45	Hasil Pengelompokan Mutu Beras Pada <i>Short Grain</i> .....	120
Gambar 4.46	Hasil Pengelompokan Mutu Beras Pada <i>Long Grain</i> .....	120
Gambar 4.47	Hasil Pengelompokan <i>Medium Grain</i> $\pm 30$ Objek .....	121
Gambar 4.48	Pengelompokan <i>Medium Grain</i> Sebanyak 5 Gram .....	121
Gambar 4.52	Hasil Prediksi Variasi Banyaknya Beras .....	123
Gambar 4.49	Gambar Prediksi Varietas yang Belum Pernah Dilihat oleh Model	124
Gambar 4.50	Lanjutan Gambar Prediksi Varietas yang Belum Pernah Dilihat oleh Model .....	125
Gambar 4.51	Tonjolan pada Butir Kepala .....	126
Gambar 4.53	Beras Satu Tangan .....	127
Gambar 4.54	Beras Satu Tangan yang Dapat Digenggam .....	127
Gambar 4.55	Hasil Timbangan Satu Genggam Beras .....	128
Gambar 4.56	Prediksi Variasi Pencapaian .....	129