



**RANCANG BANGUN SISTEM KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN
APEL BERBASIS DEEP LEARNING: YOLOv8 DENGAN OPTIMISASI
HYPERPARAMETER MENGGUNAKAN METODE TREE-
STRUCTURED PARZEN ESTIMATOR (TPE)**

PROPOSAL TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan pada

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro

Oleh :

Novalino Ahmad Firdaus

40040320650085

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI

DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2026

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN SISTEM KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN
APEL BERBASIS DEEP LEARNING: YOLOv8 DENGAN OPTIMISASI
HYPERPARAMETER MENGGUNAKAN METODE TREE-STRUCTURED
PARZEN ESTIMATOR (TPE)**

Diajukan oleh:

Novalino Ahmad Firdaus

40040320650085

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA BAIK OLEH

Dosen Pembimbing

Semarang, 29 September 2026



Dr. Lisa' Yihaa Roodhiyah, S.Si, M.Si

NPPU H.7.199210062022042001

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Semarang, 29 September 2026

S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi
Departemen Teknologi Industri
Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro

Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng.

NIP.197009161998021001

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN SISTEM KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN
APEL BERBASIS DEEP LEARNING: YOLOv8 DENGAN OPTIMISASI
HYPERPARAMETER MENGGUNAKAN METODE TREE-STRUCTURED
PARZEN ESTIMATOR (TPE)

Diajukan oleh:

Novalino Ahmad Firdaus

40040320650085

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji pada

Kamis, 24 September 2026

Tim Penguji,

Pembimbing


Dr. Lisa' Yihaa Roodhiyah, S.Si, M.Si
NPPU H.7.199210062022042001

Penguji 1


Ahmad Ridlo Hanifudin Tahier S.Si., M.Si
NIP. H.7.199504152022041001

Penguji 2


Megarini Hersaputri, ST, MT
NIP 198902142020122012

Mengetahui,

Ketua Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro

Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng.

NIP.197009161998021001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Novalino Ahmad Firdaus
NIM : 40040320650085
Program Studi : S. Tr Teknologi Rekayasa Otomasi
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Tingkat
Kematangan Apel Berbasis Deep Learning: YoloV8
Dengan Optimisasi Hyperparameter Menggunakan
Metode Tree-Structured Parzen Estimator (TPE)

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ini ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No. 17 Tahun 2010 dan Peraturan Perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 29 September 2026

Penulis,

Novalino Ahmad Firdaus

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menyadari bahwa telah banyak pihak yang membantu dan memberikan dorongan kepada penulis sehingga pada akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan

terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, hidayah serta inayah-Nya kepada penulis.
2. Kedua orang tua yang selalu mendukung dan mendoakan penulis.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si. selaku dekan Sekolah Vokasi.
4. Bapak Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
5. Ibu Dr. Lisa' Yihaa Roodhiyah, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan yang sangat berarti selama proses penyusunan tugas akhir ini. Dengan penuh kesabaran dan ketelitian, beliau telah membantu penulis dalam menyempurnakan karya ini.
6. Teman-teman yang selalu mendukung penulis selama berada di perkuliahan.

KATA PENGANTAR

Seperti yang kita ketahui bahwa manusia tidak luput dari salah dan dosa, begitu pula penulis dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Maka dari itu, tidak lupa penulis panjatkan puja dan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis sehingga atas berkat-Nya pula penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Tingkat Kematangan Apel Berbasis Deep Learning: YoloV8 Dengan Optimisasi Hyperparameter Menggunakan Metode Tree-Structured Parzen Estimator (TPE)”.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang sifatnya membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan tugas akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis khususnya dan para pembaca.

Semarang, 29 September 2026

Penulis,

Novalino Ahmad Firdaus

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
ABSTRACT	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Tugas Akhir	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Object Detection.....	7
2.2.1 Intersection Over Union (IoU).....	9
2.3 Deep Learning	9
2.3.1 Hyperparamater.....	10
2.3.2 <i>Preconditioning</i>	13
2.3.3 YOLOv8.....	14
2.3.4 <i>Confusion Matrix</i>	17
2.4 TPE (Tree-Structured Parzen Estimator).....	22
2.4.1. Mekanisme	23

2.4.2	Representasi Data Percobaan	24
2.4.3	Penentuan Ambang Batas Kuantil	24
2.4.4	Pembagian Data Menjadi Kelompok Baik dan Buruk.....	24
2.4.5	Definisi Distribusi Probabilistik Bersyarat	25
2.4.6	Estimasi Densitas Menggunakan Parzen Estimator (KDE)	25
2.4.7	Fungsi Akuisisi: Expected Improvement (EI)	26
2.4.8	Optimasi Konfigurasi Hiperparameter	26
2.4.9	Fungsi Objektif YOLOv8	26
2.4.10	Fungsi Objektif TPE	28
2.4.11	Interaksi antara Fungsi Objektif YOLOv8 dan TPE.....	29
2.4.12	<i>Set Up Trial</i> TPE.....	30
2.5	Roboflow	33
2.6	Ultralytics	34
2.7	Raspberry Pi 5	35
2.8	Arduino Mega.....	37
2.9	Camera Pi V3	38
2.10	Power Supply	39
2.11	Dimmer DC	40
2.12	Motor DC 12V.....	41
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		43
3.1	Diagram Blok Sistem	43
3.2	Gambar Konsep Alat	46
3.3	Spesifikasi	47
3.4	Perancangan Model Deteksi	47
3.4.1	Image Collection	49
3.4.2	Image Annotation.....	49
3.4.3	Image Preprocessing	51
3.4.4	Image Augmentation.....	52
3.4.5	Model Training	53
3.4.6	Model Evaluation.....	55
3.5	Perancangan Diagram Alir Alat.....	56

3.6 Perancangan Sistem Kelistrikan/Hardware Elektrik	56
3.7 Konstruksi Model Baru	58
3.7.1 Proses Optimisasi TPE Dengan Dataset Baru.....	64
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA	67
4.1 Dataset.....	67
4.2 Hasil dan analisa pengujian Yolov8n	69
4.3 Hasil dan Analisa Metode TPE (Optuna)	75
4.5 Perbandingan Performa OFAT dan TPE.....	78
4.6 Analisis Efisiensi Optimasi	83
4.7 Throughput Sistem	85
BAB V KESIMPULAN.....	90
5.1 Kesimpulan.....	90
5.2 Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA.....	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Object Detection	7
Gambar 2. 2 IoU Box	9
Gambar 2. 3 Arsitektur YOLO	14
Gambar 2. 4 Bounding Box Deteksi Objek	15
Gambar 2. 5 Output YOLO	16
Gambar 2. 6 Ilustrasi True Positive (TP), False Positive (FP), dan False Negative (FN) pada deteksi objek	18
Gambar 2. 7 Visualisasi cara TPE bekerja	23
Gambar 2. 8 Flowchart Algoritma TPE.....	32
Gambar 2. 9 Roboflow	33
Gambar 2. 10 Ultralytics	34
Gambar 2. 11 Board Raspberry Pi	36
Gambar 2. 12 Arduino Mega	37
Gambar 2. 13 Camera Pi V3	38
Gambar 2. 14 (a) Power Supply (b) Rangkaian Power Supply	39
Gambar 2. 15 (a) Visual BTS7960	40
Gambar 2. 16 Motor DC 12 V	41
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem	44
Gambar 3. 2 3D Alat.....	46
Gambar 3. 3 Dimensi Alat	47
Gambar 3. 4 Flowchart Pengumpulan Data.....	48
Gambar 3. 5 Pengumpulan Gambar	49
Gambar 3. 6 GambarAnotasi	50
Gambar 3. 7 Train Data	54
Gambar 3. 8 Flowchart Alat	56
Gambar 3. 9 Wiring Diagram	58
Gambar 3. 10 Hasil deteksi Model 1	61
Gambar 3. 11 Hasil Deteksi Model 2	62
Gambar 3. 12 Hasil deteksi Model 3	63

Gambar 3. 13 Flowchart Proses TPE.....	65
Gambar 4. 1 Anotasi kedua dataset.....	67
Gambar 4. 2 Hasil Deteksi OFAT	70
Gambar 4. 3 Hasil Deteksi TPE dan OFAT	71
Gambar 4. 4 Hasil Deteksi OFAT dan TPE pada dataset baru	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Raspberry Pi5	36
Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino.....	37
Tabel 2. 3 Spesifikasi Camera	39
Tabel 2. 4 Spesifikasi Dimmer	41
Tabel 2. 5 Spesifikasi Motor DC 12V	41
Tabel 3. 1 Pembagian Gambar Klasifikasi	50
Tabel 3. 2 Pembagian Gambar pada Dataset	50
Tabel 3. 3 Hyperparameter yang digunakan untuk melatih semua model.....	54
Tabel 3. 4 Tabel Tuning OFAT dan TPE.....	59
Tabel 3. 5 Performance Metode OFAT	59
Tabel 3. 6 Performance Metode TPE.....	60
Tabel 3. 7 Jumlah Bounding Box	63
Tabel 3. 8 Performa Deteksi	64
Tabel 4. 1 Perhitungan Bounding Box	74
Tabel 4. 2 Performa Deteksi	74
Tabel 4. 3 Hasil 50 Trial TPE	75
Tabel 4. 4 Tabel Komparasi Dataset Lama.....	79
Tabel 4. 5 Tabel Tuning Dataset baru	80
Tabel 4.6 Keluaran Apel Permenit.....	86

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN APPLE RIPENESS CLASSIFICATION SYSTEM BASED ON DEEP LEARNING: YOLOV8 WITH TPE HYPERPARAMETER OPTIMIZATION

Novalino Ahmad Firdaus

Automation Engineering, Vocational School, Diponegoro University

Manual apple post-harvest sorting remains constrained by operator subjectivity and low efficiency. While deep learning models like YOLOv8 enable automated visual inspection, traditional hyperparameter tuning methods such as One-Factor-At-a-Time (OFAT) require excessive 8 hours training time and fail to capture parameter interactions. Furthermore, variety-based dataset labeling creates misclassification risks for apples with non-dominant red visual traits, such as Malang apples. To resolve these limitations, this study presents an automated apple maturity classification and sorting system using YOLOv8 optimized via the Tree-Structured Parzen Estimator (TPE) algorithm using the Optuna framework. The system classifies apples into three maturity levels—*apple-20* (unripe), *apple-75* (semi-ripe), and *apple-100* (ripe)—based on visual color characteristics across 3,344 annotated and augmented images. For real-time edge deployment, the trained model was deployed on a Raspberry Pi 5 with a Hailo-8 AI accelerator, integrated with a conveyor, DC motor stopper feeder, and servo diverters. Experimental results show that TPE optimization reduced hyperparameter tuning time by 80%, from 8 hours to 2.6 hours, while achieving 2.71% performance metric improvement and 13.73% increase with updated dataset. In real-time physical testing with the feeder system operating at ~30 FPS, the system achieved a throughput of 33–36 apples per minute with a Precision of 0.971, Recall of 0.990, F1-score of 0.980, and a reduced sorting error rate of 2.91%.

Keywords: YOLOv8, Deep Learning, Apple Ripeness Classification, Hyperparameter Optimization, Tree-Structured Parzen Estimator, Automated Sorting System.

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN APEL BERBASIS DEEP LEARNING: YOLOv8 DENGAN OPTIMISASI HYPERPARAMETER MENGGUNAKAN METODE TREE- STRUCTURED PARZEN ESTIMATOR (TPE)

Novalino Ahmad Firdaus

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Proses pemilahan buah apel secara manual pada tahap pascapanen masih terhalang oleh ketergantungan pada subjektivitas operator dan efisiensi yang rendah. Meskipun model *deep learning* seperti YOLOv8 memungkinkan inspeksi visual secara otomatis, metode *tuning* hiperparameter konvensional seperti *One-Factor-At-a-Time* (OFAT) membutuhkan waktu pelatihan yang sangat lama hingga 8 jam serta tidak mampu menangkap interaksi antar-parameter. Selain itu, pelabelan dataset berbasis varietas menimbulkan risiko kesalahan klasifikasi pada apel dengan ciri visual warna merah yang tidak dominan, seperti apel Malang. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini menyajikan sistem klasifikasi dan pemilah tingkat kematangan apel otomatis menggunakan YOLOv8 yang dioptimasi melalui algoritma *Tree-Structured Parzen Estimator* (TPE) menggunakan *framework* Optuna. Sistem ini mengklasifikasikan apel ke dalam tiga tingkat kematangan—*apple-20* (belum matang), *apple-75* (setengah matang), dan *apple-100* (matang)—berdasarkan karakteristik warna visual pada 3.344 citra hasil anotasi dan augmentasi. Untuk implementasi *real-time* di tingkat *edge*, model yang telah dilatih dijalankan pada Raspberry Pi 5 dengan akselerator AI Hailo-8, yang terintegrasi dengan konveyor, *stopper feeder* berbasis motor DC, serta pengarah berbasis motor servo. Hasil pengujian menunjukkan bahwa optimasi TPE berhasil mengurangi waktu *tuning* hiperparameter sebesar 80%, dari 8 jam menjadi 2,6 jam, sekaligus mencapai peningkatan metrik performa sebesar 2,71% serta peningkatan kumulatif sebesar 13,73% pada dataset yang diperbarui. Pada pengujian fisik *real-time* dengan sistem *feeder* yang beroperasi pada kecepatan ~30 FPS, sistem ini mencapai *throughput* sebesar 33–36 apel per menit dengan Presisi 0,971, *Recall* 0,990, *F1-score* 0,980, serta berhasil menekan tingkat *error* pemilahan hingga 2,91%.

Kata Kunci: YOLOv8, *Deep Learning*, Klasifikasi Kematangan Apel, *Tree-Structured Parzen Estimator* (TPE), Sistem Pemilah Otomatis.