



**RANCANG BANGUN ROBOT PENYEMPROT HERBISIDA BERBASIS
OBJECT DETECTION MENGGUNAKAN *DEEP LEARNING* UNTUK
EFISIENSI PENGENDALIAN GULMA PADA PERTANIAN**

LAPORAN 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 :
Wahyu Nabilla Farhan
40040321650033

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN ROBOT PENYEMPROT HERBISIDA BERBASIS
COMPUTER VISION MENGGUNAKAN DEEP LEARNING UNTUK
EFISIENSI PENGENDALIAN GULMA DI PERTANIAN**

Diajukan oleh :

Wahyu Nabilla Farhan

40040321650033

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH

Menyetujui

Dosen Pembimbing 1



Aulia Istiqomah, SST., M.T.
NIP. 199306122024062002

Dosen Pembimbing 2



Lisa' Yihaa Roodhiyah, S.Si., M.Si.
NPPU H. 7 199210062022042001

Mengetahui

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



Priyo Sasmoko, ST, M.Eng.
NIP.197009161998021001

Tanggal 12 Maret 2026

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN ROBOT PENYEMPROT HERBISIDA BERBASIS
COMPUTER VISION MENGGUNAKAN DEEP LEARNING UNTUK
EFISIENSI PENGENDALIAN GULMA DI PERTANIAN

Disusun oleh :

Wahyu Nabilla Farhan

40040321650033

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji pada :

Jumat, 12 Maret 2026

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



Aulia Istiqomah, SST., M.T.
NIP. 199306122024062002



Lisa' Yihaa Roodhiyah, S.Si., M.Si.
NPPU H. 7 199210062022042001

Dosen Penguji



Megarini Hersaputri, S.T., M.T.
NIP. 198902142020122012

Mengetahui

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



Priyo Sasmoko, ST, M.Eng.
NIP.197009161998021001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Wahyu Nabilla Farhan
NIM : 40040321650033
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Robot Penyemprot Herbisida
Berbasis *Object Detection* Menggunakan *Deep Learning* Untuk Efisiensi Pengendalian Gulma Pada Pertanian

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, 11 Maret 2026

Penulis,



Wahyu Nabilla Farhan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyusun dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya sebagaimana yang telah didapat dari proses pembelajaran, analisis, dan penerapan konsep keilmuan yang diperoleh selama masa studi penulis pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Universitas Diponegoro.

Dalam proses penyusunan laporan ini, penulis menghadapi berbagai hambatan, baik teknis maupun nonteknis. Namun demikian, proses tersebut tidak lepas dari kehadiran, dukungan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak yang berperan penting dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis menyampaikan apresiasi dan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada

1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan kelancaran yang diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua dan keluarga penulis atas dukungan moral dan material yang diberikan secara berkelanjutan.
3. Ibu Lisa' Yihaa Roodhiyah, S.Si., M.Si. selaku Dosen pembimbing Tugas Akhir atas bimbingan, arahan, serta evaluasinya.
4. Seluruh dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi atas ilmu dan pembelajaran yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
5. Rekan seperjuangan Rifqi dan Lucy yang telah membantu dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Rekan mahasiswa MAVROS KAVALARIS angkatan 2021 yang telah hadir dan membantu dalam menyelesaikan studi.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan, baik dari segi pembahasan maupun penyajian. Dengan ini, masukan dan kritik yang bersifat konstruktif sangat diharapkan sebagai bahan evaluasi dan pengembangan di masa mendatang. Diharapkan karya ini dapat memberikan kontribusi yang relevan sesuai dengan bidang keilmuan yang dikaji.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR	i
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
ABSTRAK	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Tugas Akhir	4
1.4 Manfaat Tugas Akhir	4
1.5 Pembatasan Masalah	5
1.6 Sistematika Tugas Akhir	6
BAB II DASAR TEORI	8
2.1 Tinjauan Pustaka	8
2.2 Deteksi Objek dengan pendekatan <i>Deep Learning</i>	9
2.2.1 Algoritma YOLO	10
2.2.2 YOLOv11n	11
2.2.3 Evaluasi Performa <i>Object Detection</i>	13
2.3 Penyemprotan Gulma dengan modul <i>pan-tilt</i> Servo	14
2.3.1 Koordinat gulma pada kamera (2 dimensi) terhadap koordinat gulma pada lahan pertanian (3 dimensi)	14
2.3.2 <i>Mapping</i> gerakan <i>pan and tilt</i> servo ke koordinat gulma	16
2.3.3 Evaluasi gerakan <i>pan and tilt</i> servo ke koordinat gulma	17
2.4 Komponen Pembangun Robot	17
2.4.1 Raspberry Pi 5	17
2.4.2 OpenCV	19
2.4.3 Raspbian OS	20
2.4.4 USB Webcam	20
2.4.5 Python	21
2.4.6 Google Colaboratory	22
2.4.7 Roboflow	22
2.4.8 ESP32	22

2.4.9	MG996R Servo Motor.....	23
2.4.10	PCA9685 Servo Driver.....	25
2.4.11	Pompa Air DC	26
2.4.12	L298N Motor Driver	26
2.4.13	JGY-370 Worm Gear Motor	28
2.4.14	XY3606 DC Converter.....	29
2.5	Komunikasi.....	30
BAB III METODE PENELITIAN.....		31
3.1	Diagram Blok dan <i>flowchart</i>	31
3.1.1	Diagram blok perangkat keras.....	31
3.1.2	Rangkaian elektrikal.....	33
3.1.3	<i>Flowchart</i> sistem kerja robot penyemprot herbisida	35
3.1.4	<i>Flowchart</i> Kontrol Gerakan Robot.....	36
3.1.5	<i>Flowchart</i> penyemprotan herbisida	37
3.1.6	<i>Flowchart object detection</i> pada YOLOv11n.....	38
3.2	Gambar 3D.....	39
3.3	Spesifikasi dan Fitur.....	41
3.4	Teknik Fabrikasi.....	41
3.4.1	Membangun model deteksi gulma.....	42
3.4.2	Konfigurasi penyemprot herbisida	48
3.4.3	Fabrikasi sistem penggerak	50
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA.....		53
4.1	Evaluasi dan analisa hasil <i>training</i> model YOLOv11n	54
4.2	Pengujian dan analisa hasil penyemprotan modul pan-tilt servo.....	56
4.3	Pengujian dan analisa gerak robot pada medan pertanian	62
4.3.1	Pengujian dan analisa mekanik robot	62
4.3.2	Pengujian dan analisa penyemprotan robot pada medan pertanian	63
BAB V PENUTUP		66
5.1	Kesimpulan	66
5.2	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA.....		68
LAMPIRAN.....		72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Raspberry Pi 5	19
Tabel 2.2 Spesifikasi Webcam.....	21
Tabel 2.3. Spesifikasi ESP32.....	23
Tabel 2.4 Spesifikasi MG996 Motor Servo.....	24
Tabel 2.5. Spesifikasi Modul PCA9685	25
Tabel 2.6 Spesifikasi Pompa Air DC.....	26
Tabel 2.7 Spesifikasi BTS7960B Driver Motor	27
Tabel 2.8 Spesifikasi ZGA37RG DC Motor	28
Tabel 2.9 Spesifikasi XY3606 DC Converter	29
Tabel 3.1. Interkoneksi Komponen ESP32 dan Raspberry Pi 5	34
Tabel 3.2. Interkoneksi Komponen Raspberry Pi 5 dan ESP32	35
Tabel 3.3. Spesifikasi dan konsumsi daya komponen pada robot	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses deteksi objek algoritma YOLO [13].....	11
Gambar 2.2 Arsitektur YOLOv11n [15].....	12
Gambar 2. 3. Blok optimasi YOLOv11 [16]	12
Gambar 2.4 Tabel confusion matrix.....	13
Gambar 2.5. Proyeksi posisi objek pada gambar dan koordinat asli gulma [20]	15
Gambar 2.6. Modul <i>Pan-Tilt</i> Servo	16
Gambar 2.7 Papan Raspberry Pi 5.....	18
Gambar 2.8 Modul USB Webcam	20
Gambar 2. 9. Modul papan ESP32	23
Gambar 2.10 Modul MG996 Servo Motor.....	24
Gambar 2.11. Modul PCA9685	25
Gambar 2.12 Modul Pompa air DC.....	26
Gambar 2.13 Modul L298N Driver Motor.....	27
Gambar 2.14 Modul JGY-370 DC Motor.....	28
Gambar 2.15 Modul XY3606 DC Converter	29
Gambar 3.1. Diagram blok sistem.....	31
Gambar 3. 2. Elektrikal komponen robot penyemprot herbisida.....	34
Gambar 3. 3. Flowchart Keseluruhan sistem robot	36
Gambar 3. 4. Flowchart sistem gerak robot.....	37
Gambar 3.5 Flowchart penyemprotan herbisida.....	38
Gambar 3. 6. Ekstrak gambar menggunakan arsitektur YOLOv11 [16].	39
Gambar 3. 7. Gambar 3D isometrik robot penyemprot herbisida	40
Gambar 3. 8. Gambar 3D depan samping robot penyemprot herbisida	40
Gambar 3. 9. Pipeline pembuatan model YOLOv11n.....	42
Gambar 3. 10. Dataset pada roboflow	43
Gambar 3. 11. Proses anotasi pada dataset	44
Gambar 3. 12. Pembagian dataset pada roboflow	44
Gambar 3. 13. Jenis pengolahan gambar yang digunakan pada dataset	45
Gambar 3. 14. Perintah training model YOLOv11n pada google collab.....	46
Gambar 3. 15. Perakitan perangkat keras penggerak robot.....	50

Gambar 3. 16. Tampilan website pengendali robot penyemprot herbisida	51
Gambar 3. 17. Rute pergerakan dan pengambilan data gerak robot.....	52
Gambar 4. 1. Grafik hasil training model YOLOv11n	53
Gambar 4. 2. Grafik hasil training model YOLOv11n	54
Gambar 4.3. Nilai akhir mAP, Precision dan Recall dalam Roboflow.....	55
Gambar 4.4. Confusion Matrix pada roboflow.....	56
Gambar 4.5. Grafik Euclidean Distance dari pengujian modul pan-tilt	61
Gambar 4. 6. Dokumentasi pengujian mekanik robot	62
Gambar 4. 7. Dokumentasi <i>ground truth</i> lahan tanman cabai	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 – Dataset model deteksi gulma	72
Lampiran 2 – Konfigurasi training YOLOv11n	73
Lampiran 3 – Hasil <i>training</i> model YOLO	75
Lampiran 4 – Perhitungan konsumsi daya robot.....	77
Lampiran 5 – Perhitungan posisi ideal pada mapping <i>pan-tilt</i>	78
Lampiran 6 – Perhitungan Euclidean dan RMSE posisi penyemprotan <i>pan-tilt</i>	81
Lampiran 7 – Perhitungan matematis pengujian <i>Precision, Recall, F1-Score</i> robot	84
Lampiran 8 – Perhitungan matematis beban robot penyemprot herbisida	85
Lampiran 9 – Program deteksi gulma dengan model YOLO ke sistem robot Program..	86
Lampiran 10 – Program penyemprotan gulma dengan <i>pan-tilt</i>	88
Lampiran 11 – Program sistem penggerak robot penyemprot herbisida	90
Lampiran 12 – Dokumentasi titik mapping modul <i>pan-tilt</i> dengan laser.....	93
Lampiran 13 – Dokumentasi lahan pertanian pengujian.....	95
Lampiran 14 – Program pengembalian data komunikasi komponen	96
Lampiran 15 – Datasheet Raspberry Pi 5.....	97
Lampiran 16 – Datasheet ESP32.....	99

ABSTRAK

RANCANG BANGUN ROBOT PENYEMPROT HERBISIDA BERBASIS *COMPUTER VISION* MENGGUNAKAN *DEEP LEARNING* UNTUK EFISIENSI PENGENDALIAN GULMA DI PERTANIAN

Wahyu Nabilla Farhan

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Peningkatan kebutuhan produksi pertanian akibat pertumbuhan populasi menuntut pengendalian gulma yang lebih presisi dan efisien. Data Direktorat Jenderal Hortikultura menunjukkan peningkatan luas panen cabai rawit periode 2019–2023, sementara gulma menyumbang sekitar 23% kerugian agrikultural sehingga menjadi faktor pembatas produktivitas yang signifikan. Metode penyemprotan herbisida konvensional masih menghadapi kendala inefisiensi, risiko lingkungan, dan potensi resistensi gulma. Penelitian ini mengembangkan robot rover berbasis *computer vision* menggunakan algoritma YOLO yang terintegrasi dengan modul *pan-tilt* servo untuk penyemprotan selektif. Sistem memanfaatkan Raspberry Pi 5 untuk pemrosesan citra dan ESP32 untuk kendali aktuator. Model mencapai mAP@50 sebesar 95,2%, precision 95,7%, dan recall 89,6%. Pengujian modul *pan-tilt* berbasis *Euclidean Distance* menghasilkan MAE 1,17 cm, RMSE $\pm 1,38$ cm, dan error maksimum 2,24 cm. Uji robot dilapangan menunjukkan *precision* 100% terhadap tanaman cabai dengan *recall* fluktuatif (1,00–0,57) dan rata-rata *F1-score* sekitar 0,86. Hasil ini menegaskan sistem mampu melakukan penyemprotan gulma secara selektif dan aman, meskipun masih memerlukan peningkatan stabilitas dan deteksi untuk implementasi lapangan.

Kata Kunci : Penanganan Gulma, *Computer Vision*, *Object Detection*, YOLOv11n, Raspberry Pi 5

ABSTRACT

DESIGN OF A COMPUTER VISION-BASED HERBICIDE SPRAYING ROBOT USING DEEP LEARNING FOR EFFICIENT WEED CONTROL IN AGRICULTURE

Wahyu Nabilla Farhan

Automation Engineering, Vocational School, Diponegoro University

The increasing demand for agricultural production driven by population growth requires more precise and efficient weed control systems. Data from the Directorate General of Horticulture indicate a rising trend in cayenne pepper harvested areas during the 2019–2023 period, while weeds account for approximately 23% of total agricultural losses, making them a significant constraint on productivity. Conventional spraying methods still face challenges related to inefficiency, environmental risks, and the potential development of weed resistance. This study develops a rover-based robot utilizing computer vision with the YOLO algorithm integrated with a servo-based pan-tilt module for selective herbicide spraying. The system employs a Raspberry Pi 5 for image processing and an ESP32 for actuator control. The detection model achieved an mAP@50 of 95.2%, precision of 95.7%, and recall of 89.6%. Evaluation of the pan-tilt module using Euclidean Distance resulted in a Mean Absolute Error (MAE) of 1.17 cm, an RMSE of ± 1.38 cm, and a maximum error of 2.24 cm. Field testing demonstrated 100% precision in protecting chili plants, with fluctuating recall values (1.00–0.57) and an average F1-score of approximately 0.86. These results confirm that the system is capable of performing selective and safe weed spraying, although improvements in mechanical stability and detection are still required for full-scale field implementation.

Keywords : Weed Management, Computer Vision, Object Detection, YOLOv11n, Raspberry Pi 5