

***SMART WASTE MANAGEMENT:
APLIKASI ROBOTIC ARM PADA KLASIFIKASI SAMPAH REAL-TIME***



LAPORAN TUGAS AKHIR

**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Sarjana
Terapan pada Jurusan Teknik Elektro Program Studi Sarjana
Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya**

**Oleh:
Nadhirah Meidiasty Maharani
062140342337**

**POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA
PALEMBANG
2025**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan :

Nama	:	Nadhirah Meidiasty Maharani
NPM	:	062140342337
Jenis Kelamin	:	Perempuan
Tempat, Tanggal Lahir	:	Prabumulih, 20 Mei 2003
Alamat	:	Jl. Sukorejo No. 21B, Komplek Villa Permai Sentosa, Palembang
Program Studi	:	Sarjana Terapan Teknik Elektro
Jurusan	:	Tenik Elektro
Judul Tugas Akhir	:	<i>"Smart Waste Management: Aplikasi Robotic Arm pada Klasifikasi Sampah Real-Time"</i>

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri serta bebas dari tindakan plagiasi dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.
2. Dapat menyelesaikan segala urusan terkait pengumpulan revisi Tugas Akhir yang sudah disetujui oleh dewan penguji paling lama 1 bulan setelah ujian Tugas Akhir.
3. Dapat menyelesaikan segala urusan peminjaman/penggantian alat/buku dan lainnya paling lama 1 bulan setelah ujian Tugas Akhir.

Apabila di kemudian hari diketahui ada pernyataan yang terbukti tidak benar dan tidak dapat dipenuhi, maka saya siap bertanggung jawab dan menerima sanksi tidak diikutsertakan dalam prosesi wisuda serta dimasukkan dalam daftar hitam oleh jurusan Teknik Elektro sehingga berdampak tertundanya pengambilan Ijazah & Transkrip (ASLI & COPY). Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya dan dalam keadaan sadar tanpa paksaan.



Palembang, 23 Juli 2025

Yang Menyatakan



Nadhirah Meidiasty Maharani

SMART WASTE MANAGEMENT:
APLIKASI ROBOTIC ARM PADA KLASIFIKASI SAMPAH REAL-TIME



**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Sarjana
Terapan pada Jurusan Teknik Elektro Program Studi Sarjana
Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya**

Oleh:

Nadhirah Meidiasty Maharani

062140342337

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dewi Permata Sari, S.T., M.Kom.

NIP 197612132000032001

Dosen Pembimbing II

Ibnu Maja, S.Si., M.M.

NIP 197604052005011002

Mengetahui,

**Ketua Jurusan
Teknik Elektro**



Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T., M.Kom., IPM.

NIP 197907222008011007

**Koordinator Program Studi
Sarjana Terapan Teknik Elektro**

Renny Maulinda, S.T., M.T.

NIP 198910022019032013

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“My Lord, I am in great need of any good You may send down.”

-(Qur'an, 28:24)-

“Make it exist first, you can make it good later.”

-(Adam Grant)-

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu dan Ayah yang telah menjadi sumber kekuatan, semangat, dan doa di setiap langkah perjuangan. Terima kasih atas cinta yang tak pernah putus, dukungan yang tak tergantikan, serta keyakinan yang tak pernah luntur terhadap setiap impian saya. Tanpa restu dan doa kalian, perjalanan ini tak akan pernah sampai sejauh ini.
2. Ibu Dewi Permata Sari, S.T., M.Kom. dan Bapak Ibnu Maja, S.Si., M.M., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta arahan yang sangat berharga dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas waktu, kesabaran, dan dedikasi yang telah diberikan selama proses penelitian ini berlangsung.
3. Thiara dan Abyzard, saudara dan saudara terbaik yang menjadi tempat berbagi cerita, dukungan emosional, dan tawa yang menyemangati setiap langkah perjalanan akademik saya. Terima kasih telah menjadi bagian penting dalam proses ini, baik secara langsung maupun tidak langsung.
4. Sahabat-sahabat terbaikku, yang selalu hadir di setiap momen suka dan duka, menyemangati ketika semangat mulai redup, dan menjadi penguat ketika langkah terasa berat. Terima kasih atas tawa, tangis, dan waktu yang sangat berharga.

ABSTRAK

SMART WASTE MANAGEMENT: APLIKASI ROBOTIC ARM PADA KLASIFIKASI SAMPAH REAL-TIME

(2025: xv + 74 Halaman + 35 Gambar + 16 Tabel + Daftar Pustaka + Lampiran)

NADHIRAH MEIDIASTY MAHARANI

062140342337

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

Proses pemilahan sampah di Indonesia yang masih dilakukan secara manual menimbulkan kebutuhan akan sistem otomatis berbasis *Artificial Intelligence* (AI) dan teknologi robotika. Penelitian ini mengembangkan sistem klasifikasi dan pemilahan sampah secara *real-time* menggunakan model deteksi objek YOLOv5s yang terintegrasi dengan robot lengan Tinkercat Braccio, dikendalikan oleh Arduino Uno dan Raspberry Pi. Sistem ini menggunakan kamera untuk mendeteksi empat kategori sampah, yaitu *cardboard*, *metal*, *paper*, dan *plastic*. Hasil deteksi kemudian diproses menjadi perintah gerak fisik robot melalui perhitungan *inverse kinematics* menggunakan parameter Denavit-Hartenberg, dengan bantuan *toolbox* Peter Corke di MATLAB. Model YOLOv5s yang telah diuji menunjukkan rata-rata nilai *confidence* sebesar 78,02% dan waktu inferensi 79,25 ms sehingga cukup efisien untuk dijalankan pada perangkat *embedded*. Selain itu, implementasi *inverse kinematics* mampu menghasilkan pergerakan robot yang akurat, dengan selisih kecil dari posisi target. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi AI dan robotika mampu menghadirkan solusi efektif untuk sistem klasifikasi sampah otomatis berskala kecil maupun edukatif.

Kata kunci: *Artificial intelligence*, *inverse kinematics*, klasifikasi sampah, robot lengan, YOLOv5s

ABSTRACT

SMART WASTE MANAGEMENT: ROBOTIC ARM APPLICATION FOR REAL-TIME WASTE CLASSIFICATION

(2025: xv + 74 Pages + 35 Figures + 16 Tables + References + Attachments)

NADHIRAH MEIDIASTY MAHARANI

062140342337

BACHELOR OF APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT

STATE POLYTECHNIC OF SRIWIJAYA

The waste sorting process in Indonesia, which is still carried out manually, highlights the need for an automated system based on Artificial Intelligence (AI) and robotics technology. This study develops a real-time waste classification and sorting system using the YOLOv5s object detection model integrated with the Tinkercat Braccio robotic arm, controlled by Arduino Uno and Raspberry Pi. The system utilizes a camera to detect four categories of waste: cardboard, metal, paper, and plastic. The detection results are then processed into physical movement commands for the robot through inverse kinematics calculations using Denavit-Hartenberg parameters, aided by the Peter Corke toolbox in MATLAB. The tested YOLOv5s model demonstrates an average confidence score of 78.02% and an inference time of 79.25 ms, making it efficient enough to run on embedded devices. Additionally, the implementation of inverse kinematics enables accurate robotic movements, with minimal deviation from the target position. This study shows that the integration of AI and robotics can provide an effective solution for small-scale or educational automatic waste classification systems.

Keywords: *Artificial intelligence, inverse kinematics, waste classification, robotic arm, YOLOv5s*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas limpahan karunia-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir yang berjudul “***SMART WASTE MANAGEMENT: APLIKASI ROBOTIC ARM PADA KLASIFIKASI SAMPAH REAL-TIME***” dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan Pendidikan Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Elektro Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya. Laporan Tugas Akhir ini berisi Bab I Pendahuluan, Bab II Tinjauan Pustaka, Bab III Metodologi Penelitian, Bab IV Hasil dan Pembahasan, dan Bab V Penutup.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih pada:

1. **Ibu Dewi Permata Sari, S.T., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing I.**
2. **Bapak Ibnu Maja, S.Si., M.M., selaku Dosen Pembimbing II.**

Penulis juga dengan tulus menyampaikan terima kasih atas dukungan, bimbingan, bantuan, dan kemudahan dari berbagai pihak, antara lain:

1. Keluarga saya tercinta, Ayah, Ibu, Thiara, dan Abyzard yang telah memberikan dukungan besar dan kepercayaan sepenuhnya untuk mengerjakan tugas akhir.
2. Bapak Ir. Irawan Rusnadi, M.T., selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T., M.Kom., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
4. Ibu Lindawati, S.T., M.T.I., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
5. Ibu Renny Maulidda, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro.
6. Seluruh Dosen, Staff, dan Teknisi pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
7. Komunitas ARCoS, yang telah menjadi wadah untuk tumbuh dan berkembang, serta pencetak pengalaman terbaik selama masa perkuliahan.

8. Leaven Octagram Global (LOG), yang telah mendukung ketersediaan komponen penelitian serta menjadi wadah mengasah *hard skill* dan *soft skill* untuk persiapan dunia kerja atau industri.
9. MIKROBAL dan ELM'21, yang telah menjadi lingkungan berbagi tawa, cerita, keluh kesah, dan harapan selama masa perkuliahan.
10. Salsabillah Syarifahdani dan Sepki Bakti Pamungkas, yang telah menemani perjalanan pembuatan Laporan Tugas Akhir di tempat-tempat yang seru dan nyaman.
11. Lumina dan Gemina, yang telah menemani keseharian pengerjaan penelitian Tugas Akhir, baik dari pengembangan ide, perencanaan, eksekusi, dan evaluasi penelitian.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat kekurangan dan kekeliruan, baik mengenai isi maupun cara penulisan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar laporan ini dapat bermanfaat bagi setiap individu yang membacanya dan semoga segala bantuan serta bimbingan yang penulis dapatkan selama ini mendapatkan rahmat dan ridho dari Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Aamiin.

Palembang, Juli 2025

Nadhirah Meidiasty Maharani

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Metode Penulisan	4
1.6.1 Metode Literatur	4
1.6.2 Metode Observasi	4
1.6.3 Metode Konsultasi	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>State of The Art</i>	6
2.2 <i>Artificial Intelligence</i>	11
2.2.1 <i>Machine Learning</i>	11
2.2.2 <i>Deep Learning</i>	12
2.3 <i>Computer Vision</i>	13
2.3.1 <i>Object Detection</i>	13
2.3.2 <i>You Only Look Once (YOLO)</i>	14
2.3.3 Google Colaboratory	16
2.3.4 Evaluasi Performa Model	16

2.4 Citra Digital.....	18
2.4.1 USB Webcam	18
2.4.2 Spesifikasi USB Webcam Logitech C922.....	19
2.5 Dataset.....	20
2.5.1 TrashNet.....	20
2.6 Power Supply.....	20
2.7 Single-Board Computer (SBC)	21
2.7.1 Raspberry Pi.....	22
2.7.2 Spesifikasi Raspberry Pi 4 Model B	22
2.8 Mikrokontroler	23
2.8.1 Arduino.....	24
2.8.2 Spesifikasi Arduino Uno R3	24
2.9 Matrix Laboratory (MATLAB)	25
2.9.1 Computer Vision Toolbox.....	25
2.9.2 Deep Learning Toolbox.....	26
2.9.3 Image Acquisition Toolbox.....	26
2.9.4 Peter Corke Robotics Toolbox.....	27
2.10 Arduino IDE.....	27
2.10.1 BraccioV2 Library	28
2.11 Robot	28
2.12 Robot Lengan (<i>Robotic Arm</i>)	28
2.13 Kinematika Robot (<i>Forward dan Inverse Kinematics</i>).....	29
2.13.1 Parameter Denavit-Hartenberg.....	30
2.13.2 Implementasi dengan MATLAB <i>Robotics Toolbox</i>	31
2.14 Tinkerkit Braccio.....	31
2.13.1 Spesifikasi Tinkerkit Braccio	32
2.15 Motor Servo.....	34
2.14.1 Spesifikasi Motor Servo	34
2.14.2 Prinsip Kerja Motor Servo	35
2.16 Human Machine Interface (HMI)	36
2.15.1 HDMI Touch Display.....	36

2.15.2 Spesifikasi HDMI <i>Touch Display</i>	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1 Kerangka Laporan Tugas Akhir	38
3.1.1 Studi Literatur	38
3.1.2 Perancangan Sistem (<i>Hardware dan Software</i>)	39
3.1.3 Pengumpulan dan Praproses Data	39
3.1.4 Pengembangan Model	39
3.1.5 Integrasi <i>Hardware dan Software</i>	39
3.1.6 Pengujian Sistem dan Evaluasi Kerja.....	40
3.1.7 Pembuatan Laporan Tugas Akhir.....	40
3.2 Blok Diagram	40
3.3 <i>Flowchart</i>	44
3.4 Perancangan Sistem.....	45
3.4.1 Perancangan Elektrikal.....	45
3.4.2 Perancangan Perangkat Lunak	47
3.4.3 Perancangan Mekanik	49
3.5 Prinsip Kerja Alat.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Hasil Implementasi Sistem.....	52
4.1.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	52
4.1.2 Hasil Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	53
4.2 Hasil dan Evaluasi Pelatihan Model YOLOv5s	56
4.2.1 Pengolahan Dataset	56
4.2.2 Hasil Pelatihan Model	58
4.2.3 Evaluasi Kinerja Model.....	60
4.3 Pengujian dan Hasil Sistem Klasifikasi Sampah.....	62
4.3.1 Evaluasi Performa Deteksi Objek	62
4.3.2 Evaluasi Kinematika Balik (<i>Inverse Kinematics</i>)	68
BAB V PENUTUP.....	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	73

DAFTAR PUSTAKA.....	75
LAMPIRAN.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 USB <i>Webcam</i> Logitech C922	19
Gambar 2. 2 Adaptor 5V 4000mA.....	21
Gambar 2. 3 Adaptor 5V 3A.....	21
Gambar 2. 4 Raspberry Pi 4 Model B.....	22
Gambar 2. 5 IC Mikrokontroler	24
Gambar 2. 6 Arduino Uno R3	24
Gambar 2. 7 Jenis-jenis Robot Lengan	29
Gambar 2. 8 Hubungan antara Sudut <i>Joint</i> dan Posisi EE.....	30
Gambar 2. 9 Robot Tinkerkit Braccio.....	32
Gambar 2. 10 Sumbu Pergerakan Robot Tinkerkit Braccio	33
Gambar 2. 11 Servo SpringRC SR431.....	34
Gambar 2. 12 Servo SpringRC SR311.....	35
Gambar 2. 13 7 Inchi HDMI <i>Touch Display</i>	37
Gambar 3. 1 Kerangka Pelaksanaan Tugas Akhir	38
Gambar 3. 2 Blok Diagram Klasifikasi Sampah <i>Real-Time</i>	41
Gambar 3. 3 Blok Diagram Eksekusi MATLAB <i>Script</i>	41
Gambar 3. 4 Arsitektur YOLOv5	42
Gambar 3. 5 Blok Diagram YOLOv5s Klasifikasi Sampah <i>Real-Time</i>	42
Gambar 3. 6 <i>Flowchart</i> Klasifikasi Sampah <i>Real-Time</i>	44
Gambar 3. 7 Skematik Rangkaian.....	45
Gambar 3. 8 Desain 3D Alat Klasifikasi Sampah <i>Real-Time</i> Menggunakan Robot Tinkerkit Braccio	49
Gambar 4. 1 Hasil Perancangan <i>Hardware</i>	52
Gambar 4. 2 <i>Script</i> MATLAB Deteksi Objek	53
Gambar 4. 3 <i>Script</i> MATLAB <i>Inverse Kinematics</i>	54
Gambar 4. 4 Kode Arduino Eksekusi Gerakan Robot	55
Gambar 4. 5 Kode <i>Training</i> YOLOv5s dan <i>Export</i> Format ONNX.....	55
Gambar 4. 6 Contoh Dataset	56
Gambar 4. 7 Teknik Augmentasi Data.....	57

Gambar 4. 8 Skema <i>Pseudo-labeling</i>	58
Gambar 4. 9 Hasil <i>Pseudo-labeling</i> YOLOv8n	58
Gambar 4. 10 Grafik <i>Training</i> Model.....	59
Gambar 4. 11 <i>Confusion Matrix</i>	60
Gambar 4. 12 Hasil <i>Training</i> Model.....	61
Gambar 4. 13 Parameter D-H Robot Lengan Braccio 5 DoF	68
Gambar 4. 14 Inisialisasi D-H Parameter di MATLAB	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>State of The Art</i> Klasifikasi Sampah <i>Real-Time</i>	6
Tabel 2. 2 Parameter Validasi dan Evaluasi.....	15
Tabel 2. 3 Spesifikasi USB <i>Webcam</i> Logitech C922.....	19
Tabel 2. 4 Spesifikasi Raspberry Pi 4 Model B	22
Tabel 2. 5 Spesifikasi Arduino Uno R3	25
Tabel 2. 6 Spesifikasi Robot Tinkerkit Braccio	32
Tabel 2. 7 Sumbu Pergerakan Robot Tinkerkit Braccio	33
Tabel 2. 8 Spesifikasi Servo SpringRC SR431	34
Tabel 2. 9 Spesifikasi Servo SpringRC SR311	35
Tabel 2. 10 Spesifikasi 7 Inci HDMI <i>Touch Display</i>	37
Tabel 4. 1 Jumlah Dataset	57
Tabel 4. 2 Hasil Deteksi Objek	62
Tabel 4. 3 Parameter Denavit-Hartenberg (D-H) untuk Inisialisasi MATLAB....	68
Tabel 4. 4 Koordinat pada <i>Base</i>	69
Tabel 4. 5 Hasil Sudut IK untuk Posisi <i>Pick Up</i>	71
Tabel 4. 6 Hasil Sudut IK untuk Setiap <i>Trash Bins</i>	71