

SKRIPSI

**SISTEM CERDAS PEMILAH SAMPAH DAUR ULANG
BERNILAI EKONOMIS MENGGUNAKAN METODE *DEEP*
LEARNING DAN ANTARMUKA INTERAKTIF**



Oleh :
Patric Kresna Vercelli
5103022003

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSEITAS KATOLIK WIDYA MANDALA SURABAYA
2026

SKRIPSI

SISTEM CERDAS PEMILAH SAMPAH DAUR ULANG BERNILAI EKONOMIS MENGGUNAKAN METODE *DEEP* *LEARNING* DAN ANTARMUKA INTERAKTIF

Diajukan kepada Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya untuk
memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi
Teknik Elektro



Oleh :

Patric Kresna Vercelli

5103022003

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSEITAS KATOLIK WIDYA MANDALA SURABAYA
2026**

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan skripsi berjudul SISTEM CERDAS PEMILAH SAMPAH DAUR ULANG BERNILAI EKONOMIS MENGGUNAKAN METODE DEEP LEARNING DAN ANTARMUKA INTERAKTIF ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil karya orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya, kecuali dinyatakan dalam teks seandainya diketahui bahwa laporan skripsi ini ternyata merupakan hasil karya orang lain, maka saya sadar dan menerima konsekuensi bahwa laporan skripsi ini tidak dapat saya gunakan sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik.

Surabaya, 16 Juli 2026

Mahasiswa,



Patric Kresna Vercelli

NRP. 5103022003

LEMBAR PERSETUJUAN

Naskah skripsi berjudul **SISTEM CERDAS PEMILAH SAMPAH DAUR ULANG BERNILAI EKONOMIS MENGGUNAKAN METODE DEEP LEARNING DAN ANTARMUKA INTERAKTIF** yang ditulis oleh **Patric Kresna Vercelli / 5103022003** telah disetujui dan diterima untuk diajukan ke tim penguji.

Pembimbing I:



Ir. Yulianti, S.Si., M.T., IPU., ASEAN. Eng

NIK. 511.99.0402

Pembimbing II:

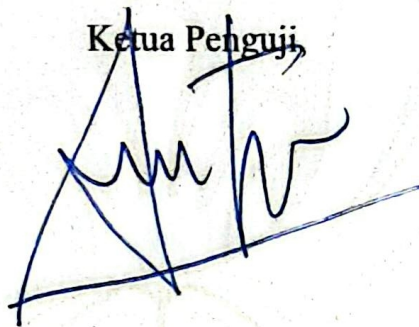


Ir. Hartono Pranjoto, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., ACPE.

NIK. 511.94.0218

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi yang ditulis oleh Patric / 5103022002 dengan judul berjudul
SISTEM CERDAS PEMILAH SAMPAH DAUR ULANG
BERNILAI EKONOMIS MENGGUNAKAN METODE DEEP
LEARNING DAN ANTARMUKA INTERAKTIF disetujui pada
tanggal 2 Juli 2026 dan dinyatakan LULUS.

Ketua Penguji


Drs. Ir. Peter Rathodirdjo Angka, M.Kom., IPM., ASEAN Eng.

NIK. 511.88.0136

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik,

Ketua Program Studi Teknik

Elektro


Prof. Dr. Felicia Edi
Soetaredjo, M.Phil., Ph.D.,
IPU., ASEAN Eng.

NIK. 521.99.0391


Ir. Yuliani, S.Si, M.T., IPU.,
ASEAN Eng

NIK. 511.99.0402

**LEMBAR PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya sebagai mahasiswa
Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya:

Nama : Patric Kresna Vercelli

NRP : 5103022003

Menyetujui Skripsi/Karya Ilmiah saya, dengan judul “SISTEM CERDAS PEMILAH SAMPAH DAUR ULANG BERNILAI EKONOMIS MENGGUNAKAN METODE DEEP LEARNING DAN ANTARMUKA INTERAKTIF” untuk dipublikasikan / ditampilkan di internet atau media lain (Digital Library Perpustakaan Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya) untuk kepentingan akademik sebatas sesuai dengan Undang-undang Hak Cipta.

Demikian pernyataan persetujuan publikasi karya ilmiah ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 16 Juli 2026

Mahasiswa,



Patric Kresna Vercelli

NRP. 5103022003

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga laporan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat wajib untuk menempuh pendidikan tingkat strata satu (S1) pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.

Penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan berkat dukungan, bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segenap kerendahan hati, saya menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. Yuliati, S.Si., M.T., IPU., ASEAN. Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya sekaligus dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan arahan, serta masukan yang berharga dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ir. Hartono Pranjoto, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., ACPE., selaku dosen pembimbing II sekaligus kepala Laboratorium Instrumentasi Elektronika dan Kecerdasan Buatan yang dengan sabar telah membimbing, memberikan dukungan dan memfasilitasi selama pengerjaan skripsi ini.
3. Ir. Rasional Sitepu, M.Eng., IPU., ASEAN Eng., selaku dosen penasehat akademik saya.
4. Ir. Andrew Joewono. ST., MT., IPU., ASEAN Eng., APEC Eng. selaku kepala Laboratorium Otomasi Industri dan Robotik yang telah memberikan fasilitas laboratorium dan

memberikan saran sehingga penelitian skripsi ini bisa berjalan dengan baik

5. Seluruh dosen dan staf kependidikan Program Studi Teknik Elektro Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya yang telah memberikan bekal ilmu yang bermanfaat selama masa perkuliahan.
6. Prof. Dr. Ir. Soegijardjo Soegijoko yang telah memberikan bantuan pendanaan pada skripsi ini.
7. Kedua orang tua dan kakak penulis beserta istrinya, yang senantiasa memberikan doa, semangat, serta dukungan materiil maupun moril dari awal hingga akhir pengerjaan skripsi ini.
8. Teman-teman seperjuangan Program Studi Teknik Elektro Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya angkatan 2022, yang selalu kebersamai dan memberikan semangat dalam pembuatan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar laporan ini dapat berguna sebagaimana mestinya. Penulis memohon maaf apabila masih terdapat kesalahan penulisan maupun teori dalam penulisan skripsi ini.

Surabaya, 16 Juli 2026

Penulis

ABSTRAK

Pemilahan sampah merupakan tahapan penting dalam pengelolaan limbah karena memengaruhi kualitas material daur ulang dan nilai ekonominya. Namun, proses pemilahan masih banyak dilakukan secara manual sehingga kurang efisien dan sering menghasilkan sampah yang tercampur. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem cerdas pemilah sampah daur ulang berbasis Deep Learning yang mampu mengklasifikasikan botol PET bening, botol PET berwarna, kaleng, dan sampah kering lainnya secara real-time, serta dilengkapi antarmuka interaktif sebagai media edukasi. Sistem dibangun menggunakan Raspberry Pi sebagai pengendali utama, kamera sebagai sensor citra, model MobileNetV2 yang dikonversi ke format ONNX untuk mempercepat proses inferensi, serta mekanisme pemilah otomatis berbasis motor servo. Pengujian dilakukan terhadap performa model klasifikasi, kecepatan inferensi, ketepatan mekanisme pemilahan, dan kinerja sistem pada berbagai kondisi pencahayaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model mampu mengklasifikasikan objek dengan tingkat akurasi yang tinggi dan sistem berhasil melakukan pemilahan sampah secara otomatis sesuai kategori yang ditentukan. Selain meningkatkan efisiensi proses pemilahan, antarmuka interaktif yang dikembangkan juga mampu menyajikan informasi edukatif mengenai jenis sampah dan manfaat daur ulang sehingga berpotensi meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Kata kunci: Deep Learning, MobileNetV2, Raspberry Pi, pemilahan sampah, ONNX, antarmuka interaktif.

ABSTARCT

Waste segregation plays a crucial role in waste management as it directly affects the quality and economic value of recyclable materials. However, waste sorting is still predominantly performed manually, resulting in low efficiency and frequent contamination between waste categories. This study aims to develop an intelligent waste sorting system based on Deep Learning capable of classifying clear PET bottles, colored PET bottles, aluminum cans, and other dry waste in real time while providing an interactive educational interface. The proposed system employs a Raspberry Pi as the main processing unit, a camera for image acquisition, a MobileNetV2 model converted to the ONNX format to accelerate inference, and an automatic sorting mechanism driven by servo motors. System performance was evaluated in terms of classification accuracy, inference speed, sorting performance, and reliability under different lighting conditions. Experimental results demonstrate that the proposed model achieves high classification accuracy and enables reliable automatic waste sorting according to predefined categories. Furthermore, the interactive interface presents educational information about waste types and recycling benefits, making the system not only an automated sorting solution but also a tool to promote public awareness of sustainable waste management.

Keywords: Deep Learning, MobileNetV2, Raspberry Pi, waste sorting, ONNX, interactive interface.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	I
LEMBAR PERNYATAAN.....	II
LEMBAR PERSETUJUAN	III
LEMBAR PENGESAHAN	IV
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	V
KATA PENGANTAR	VI
ABSTRAK.....	VIII
<i>ABSTARCT</i>	IX
DAFTAR ISI	X
DAFTAR GAMBAR	XIV
DAFTAR TABEL.....	XX
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH.....	4
1.3. BATASAN MASALAH	5
1.4. TUJUAN	6
1.5. RELEVANSI.....	7
1.6. METODELOGI PERANCANGAN ALAT	7
1.7. SISTEMATIKA PENULISAN	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1. PEMILAHAN SAMPAH	10

2.2.	PENGOLAHAN PROSES CITRA	12
2.3.	CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK	13
2.3.1.	<i>Convolution Layer</i>	14
2.3.2.	<i>Activation Function Layer</i>	16
2.3.3.	<i>Pooling Layer</i>	18
2.3.4.	<i>Fully Connected Layer</i>	19
2.4.	MOBILENETV2	20
2.4.1.	<i>Depthwise Seperable Convolution</i>	21
2.4.2.	<i>Linear Bottleneck</i>	22
2.4.3.	<i>Inverted Residual Block</i>	23
2.4.4.	<i>Alur Arsitektur MobileNetV2</i>	25
2.5.	PYTORCH	28
2.6.	ONNX DAN ONNX RUNTIME	29
2.7.	OPENCV	32
2.8.	FLASK.....	33
2.9.	REACT	33
2.10.	TAILWIND CSS	34
2.11.	RASPBERRY PI	34
2.12.	TFT LCD DISPLAY	38
2.13.	MODUL KAMERA.....	39
2.14.	MOTOR SERVO DC.....	40
2.15.	PCA9685	44
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT		48
3.1.	PENDAHULUAN	48
3.2.	PERANCANGAN PERANGKAT KERAS.....	49
3.2.1.	<i>Diagram Blok Alat</i>	49

3.2.2.	<i>Design Alat.....</i>	54
3.2.3.	<i>Alur Kerja Pengoperasian Alat.....</i>	56
3.3.	PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK.....	58
3.3.1.	<i>Alur Kerja Sistem.....</i>	59
3.3.2.	<i>Deteksi Objek MOG2</i>	65
3.3.3.	<i>Klasifikasi Objek.....</i>	69
3.3.4.	<i>Kendali Aktuator Servo.....</i>	78
3.3.5.	<i>Dataset dan Konfigurasi Pelatihan Model Deep Learning</i>	83
3.3.6.	<i>Perancangan Antarmuka Pengguna</i>	94
BAB IV PENGUKURAN DAN PENGUJIAN ALAT		101
4.1.	PENGUKURAN MODUL BUCK CONVERTER XL4015	102
4.2.	PENGUKURAN AKURASI SUDUT DAN ARUS SERVO MG966R DAN MG995.....	109
4.2.1.	<i>Pengukurauan Akurasi Sudur.....</i>	110
4.2.2.	<i>Pengukuran Arus Servo.....</i>	115
4.3.	PENGUJIAN MODEL DALAM MENGLASIFIKASIKAN JENIS SAMPAH	116
4.2.3.	<i>Pengujian Model 1.....</i>	122
4.2.4.	<i>Pengujian Model 2.....</i>	175
4.2.5.	<i>Pengujian Sistem Cascade</i>	201
4.4.	PENGUJIAN SISTEM MEKANIK DALAM MENGLASIFIKASIKAN JENIS SAMPAH.....	210
4.4.1.	<i>Pengujian Respon Time.....</i>	211
4.4.2.	<i>Pengujian kesesuaian servo dengan hasil klasifikasi</i>	213

4.5.	PENGUJIAN INTEGRASI SISTEM SECARA KESELURUHAN.....	217
BAB V KESIMPULAN		220
5.1.	KESIMPULAN	220
5.2.	SARAN.....	222
DAFTAR PUSTAKA.....		223
LAMPIRAN A		227
1.	KODE PROGRAM BACKEND FLASK.....	227
2.	KODE PROGRAM MODULE DETEKSI	230
3.	KODE PROGRAM MODULE SERVO.....	244
4.	KODE PROGRAM FRONTEND REACT	251

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses operasi konvolusi pada citra menggunakan filter (kernel)[15].....	15
Gambar 2. 2 Perbedaan Residual dengan Inverted residual.....	24
Gambar 2. 3 Alur Proses MobileNetV2.....	27
Gambar 2. 4 Dukungan ONNX terhadap berbagai framework pelatihan dan target deployment.....	30
Gambar 2. 5 Arsitektur ONNX Runtime dalam proses inferensi model ONNX	32
Gambar 2. 6 Visualisasi Fisik Raspberry Pi Model B.....	37
Gambar 2. 7 GPIO Raspberry Pi 4 Model B.....	38
Gambar 2. 8 TFT LCD Display	39
Gambar 2. 9 Kamera Webcam.....	40
Gambar 2. 10 DC Motor Servo.....	41
Gambar 2. 11 Struktur Motor DC Servo.....	42
Gambar 2. 12 Konfigurasi Terminal Motor Servo.....	44
Gambar 2. 13 Modul PCA9685 16-Channel PWM <i>Driver</i>	45
Gambar 2. 14 Arsitektur Internal PCA9685[31].....	46
Gambar 3. 1 Diagram Blok Alat	49
Gambar 3. 2 Diagram Perkabelan	53
Gambar 3. 3 Design Alat	54
Gambar 3. 4 Design alat tampak depan	55
Gambar 3. 5 Design alat tampak atas.....	55
Gambar 3. 6 Diagram Alur Sistem.....	60
Gambar 3. 7 Diagram state machine proses klasifikasi dan pemilahan sampah.....	62

Gambar 3. 8	<i>Flowchart</i> deteksi objek MOG2.....	67
Gambar 3. 9	flowchart proses polling.....	70
Gambar 3. 10	<i>flowchart</i> proses klasifikasi objek	72
Gambar 3. 11	<i>Flowchart function</i> voting frame.....	76
Gambar 3. 12	<i>flowchart function</i> pengendali servo	79
Gambar 3. 13	sampel data latih model 1	85
Gambar 3. 14	sampel data train model 2.....	89
Gambar 3. 15	tampilan saat proses deteksi	96
Gambar 3. 16	tampilan result.....	97
Gambar 3. 17	tampilan detail.....	98
Gambar 3. 18	tampilan treatment.....	98
Gambar 3. 19	tampilan recycling	99
Gambar 3. 20	tampilan <i>impact</i>	100
Gambar 4. 1	Pengukuran Tegangan Input Buck Converter.....	104
Gambar 4. 2	Pengukuran Tegangan Output Tanpa Beban	104
Gambar 4. 3	Pengukuran Tegangan Output Raspberry Pi Idle.....	104
Gambar 4. 4	Pengukuran Tegangan Output Saat LCD terhubung ke Raspberry Pi	105
Gambar 4. 5	Pengukuran Tegangan Output Saat Inference Berjalan	105
Gambar 4. 6	Pengukuran Tegangan Input saat Tanpa Beban.....	106
Gambar 4. 7	Pengukuran Tegangan Output saat Tanpa Beban	107
Gambar 4. 8	Pengukuran Tegangan Output saat Servo Standby (idle)	107
Gambar 4. 9	Pengukuran Arus saat Servo Standby (idle)	108
Gambar 4. 10	Pengukuran Tegangan Output saat 1 Servo Bergerak	108
Gambar 4. 11	Pengukuran Arus saat 1 Servo Bergerak	108

Gambar 4. 12 Pengukuran Tegangan Output saat 2 Servo Bergerak	109
Gambar 4. 13 Pengukuran Arus saat 2 Servo Bergerak	109
Gambar 4. 14 Kondisi saat Servo set 0°	111
Gambar 4. 15 Kondisi Servo saat di Set 45°	111
Gambar 4. 16 Kondisi Servo saat di Set 90°	111
Gambar 4. 17 Kondisi Servo saat di Set 135°	112
Gambar 4. 18 Kondisi Servo saat di Set 180°	112
Gambar 4. 19 Kondisi Servo saat di Set 0°	113
Gambar 4. 20 Kondisi saat Servo di set 55°	114
Gambar 4. 21 Kondisi saat Servo Diset 90°	114
Gambar 4. 22 Kondisi saat Servo di Set 125°	114
Gambar 4. 23 Kondisi saat Servo di set 180°	115
Gambar 4. 24 Grafik perbandinagn <i>train</i> vs <i>val loss</i> model 1	118
Gambar 4. 25 grafik perbandingan <i>train</i> vs <i>val accuracy</i> model 1	119
Gambar 4. 26 <i>Confusion matrix</i> model 1	120
Gambar 4. 27 kurva perbandingan train vs val loss.....	121
Gambar 4. 28 Kurva perbandingan train vs vall accuracy.....	121
Gambar 4. 29 <i>confusion matrix</i> model 2	122
Gambar 4. 30 <i>Confusion matrix</i> model 1 kondisi siang hari	123
Gambar 4. 31 sampel data uji kelas PET Bottle	125
Gambar 4. 32 Grafik <i>confidence</i> pengujian kelas PET Bottle pada kondisi siang hari.....	129
Gambar 4. 33 sampel data uji kelas can	129
Gambar 4. 34 grafik pengujian stabilitas pada 3 sample data uji kelas can	132
Gambar 4. 35 sample data uji satbilitas kelas Paper pada kondisi siang hari.....	133

Gambar 4. 36 grafik pengujian stabilitas pada 3 sample data uji kelas paper pada kondisi siang hari	136
Gambar 4. 37 sampel data pada pengujian stabilitas kelas object dengan kondisi siang hari	137
Gambar 4. 38 grafik hasil pengujian stabilitas kelas others pada kondisi siang hari.....	141
Gambar 4. 39 <i>confusion matrix</i> hasing pengujian akurasi pada model 1 dengan kondisi sore hari.....	142
Gambar 4. 40 sampel data uji pada kelas PET Bottle dengan kondisi sore hari.....	144
Gambar 4. 41 grafik hasil pengujian stabilitas kelas PET Bottle dengan kondisi sore hari.....	147
Gambar 4. 42 sampel data pengujian stabilitas pada kondisi sore hari	147
Gambar 4. 43 grafik pengujian stabilitas kelas can pada kondisi sore hari.....	151
Gambar 4. 44 sampel data pengujian stabilitas kelas paper pada kondisi sore hari	151
Gambar 4. 45 grafik pengujian stabilitas kelas paper pada kondisi sore hari.....	154
Gambar 4. 46 sampel data pengujian stabilitas kelas others pad kondisi sore hari	155
Gambar 4. 47 grafik stabilitas kelas others pada kondisi sore hari	158
Gambar 4. 48 <i>confusion matrix</i> hasil pengujian akurasi model 1 pada kondisi malam hari	159
Gambar 4. 49 sampel pengujian stabilitas kelas PET Bottle pada kondisi malam hari	161

Gambar 4. 50 grafik hasil pengujian stabilitas kelas PET Bottle pada kondisi malam hari	164
Gambar 4. 51 sampel data pengujian stabilitas can pada kondisi malam hari.....	165
Gambar 4. 52 grafik hasil pengujian stabilitas kelas can pada kondisi malam hari.....	168
Gambar 4. 53 sampel data pengujian stabilitas kelas paper pada kondisi malam hari	168
Gambar 4. 54 grafik hasil pengujian stabilitas kelas paper pada kondisi malam hari	171
Gambar 4. 55 sampel data pengujian kelas others pada kondisi malam hari.....	171
Gambar 4. 56 grafik hasil pengujian satbilitas kelas others pada kondisi sore hari	175
Gambar 4. 57 <i>confusion matrix</i> hasil pengujian akurasi model 2 pada kondisi siang hari.....	176
Gambar 4. 58 sampel data pengujian stabilitas kelas PET Bening pada kondisi siang hari.....	177
Gambar 4. 59 grafik hasil pengujian stabilitas kelas PET Bening pada kondisi siang hari.....	180
Gambar 4. 60 sampel data pengujian kelas PET Berwarna pada kondisi siang hari.....	181
Gambar 4. 61 grafik hsail pengujian stabilitas kelas PET Berwarna pada kondisi siang hari	184
Gambar 4. 62 confusin matrix hasil pengujian akurasi model 2 pada kondisi sore hari	184
Gambar 4. 63 sampel data pengujian kelas PET Berwarna pada kondisi sore hari	186

Gambar 4. 64 grafik hasil pengujian stabilitas kelas PET Bening pada kondisi sore hari	189
Gambar 4. 65 sampel pengujian stabilitas kelas PET Berwarna pada kondisi sore hari	189
Gambar 4. 66 grafik hasil pengujian stabilitas kelas PET Berwarna pada kondisi sore hari.....	192
Gambar 4. 67 <i>confusion matrix</i> dari hasil pengujian akurasi model 1 pada kondisi malam hari.....	193
Gambar 4. 68 sampel data pengujian stabilitas kelas PET Bening pada kondisi malam hari.....	194
Gambar 4. 69 grafik hasil pengujian stabilitas kelas PET Bening pada kondisi malam hari	197
Gambar 4. 70 sampel data pengujian stabilitas kelas PET Berwarna pada kondisi malam hari.....	198
Gambar 4. 71 grafik hasil pengujian stabilitas kelas PET Berwarna pada kondisi malam hari.....	201
Gambar 4. 72 <i>confusion matrix</i> hasil pengujian akurasi model <i>cascade</i> pada kondisi siang hari	203
Gambar 4. 73 <i>confusion matrix</i> hasil pengujian akurasi model <i>cascade</i> pada kondisi sore hari	205
Gambar 4. 74 <i>confusion matrix</i> hasil pengujian akurasi model <i>cascade</i> pada kondisi malam hari.....	207

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Arsitektur MobileNetV2[18]	25
Tabel 2. 2 Spesifikasi Raspberry Pi 4 Model B	36
tabel 3. 1 koneksi GPIO Raspberry ke perangkat lain	50
Tabel 3. 2 Distribusi data untuk proses <i>training</i> model 1	84
Tabel 3. 3 daftar augmentasi dan parameter yang digunakan pada augmentasi offline	85
Tabel 3. 4 konfigurasi <i>Hyperparameter</i> yang digunakan selama proses <i>training</i> model 1	87
Tabel 3. 5 dsitribusi data train model 2.....	89
Tabel 3. 6 daftar augmentasi dan parametar yang diguankan saat augmentasi offline	90
Tabel 3. 7 daftar konfigurasi <i>hyperparameter</i> yang digunakan saat proses training model 2	92
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran <i>Buck Converter</i> terhubung ke Raspberry pi.....	102
Tabel 4. 2 Tabel Pengukuran Modul XL4015 Terhubung ke Servo	106
Tabel 4. 3 Pengukuran Sudut aktual dengan perintah pada servo MG996R.....	110
Tabel 4. 4 Pengukuran Sudut Aktual dengan perintah pada servo MG995	112
Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Arus MG996R.....	115
Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Arus MG995	116
Tabel 4. 7 metric evaluasi model 1 kondisi siang hari.....	124

Tabel 4. 8 hasil pengujian stabilitas PET Bottle pada kondisi siang hari	126
Tabel 4. 9 hasil pengujian stabilitas pada kelas can dengan kondisi siang hari	130
Tabel 4. 10 hasil pengujian stabilitas paper pada kondisi siang hari	134
Tabel 4. 11 hasil pengujian stabilitas kelas others pada kondisi siang hari.....	138
Tabel 4. 12 <i>metric</i> evaluasi model 1 pada kondisi sore hari	143
Tabel 4. 13 hasil pengujian stabilitas kelas PET Bottle dengan kondisi sore hari.....	144
Tabel 4. 14 hasil pengujian stabilitas kelas can pada kondisi siang hari	148
Tabel 4. 15 hasil pengujian stabilitas kelas paper pada kondisi sore hari.....	152
Tabel 4. 16 hasil pengujian stabilitas kelas others pada kondisi sore hari.....	155
Tabel 4. 17 <i>metric</i> evaluasi model 1 pada kondisi malam hari	160
Tabel 4. 18 hasil pengujian stabilitas kelas PET Bottle pada kondisi malam hari.....	161
Tabel 4. 19 hasil pengujian stabilitas kelas can pada kondisi malam hari.....	165
Tabel 4. 20 hasil pengujian stabilitas kelas paper pada kondisi malam hari.....	169
Tabel 4. 21 hasil pengujian stabilitas kelas others pada kondisi malam hari.....	172
Tabel 4. 22 <i>metric</i> evaluasi model 2 pada kondisi siang hari	177

Tabel 4. 23 hasil pengujian stabilitas kelas PET Bening pada kondisi siang hari	178
Tabel 4. 24 hasil pengujian stabilitas kelas PET Berwarna pada kondisi siang hari.....	181
Tabel 4. 25 metric evaluasi hasil pengujian akurasi model 2 pada kondisi sore hari	185
Tabel 4. 26 hasil pengujian stabilitas kelas PET Bening pada kondisi sore hari.....	186
Tabel 4. 27 hasil pengujian stabilitas kelas PET Berwarna pada kondisi sore hari	190
Tabel 4. 28 metric evaluasi model 2 pada kondisi malam hari.....	194
Tabel 4. 29 hasil pengujian stabilitas kelas PET Bening pada kondisi malam hari.....	195
Tabel 4. 30 hasil pengujian stabilitas kelas PET Berwarna pada kondisi malam hari	198
Tabel 4. 31 hasil pengujian respon time servo.....	211
Tabel 4. 32 Rekapitulasi Waktu Pergerakan Servo Menuju Posisi Klasifikasi Sampah.....	211
Tabel 4. 33 hasil pengujian ketepatan servo dengan hasil klasifikasi	213
Tabel 4. 34 hasil integrasi keseluruhan antar model, servo dan UI218	