

**KLASIFIKASI CITRA SAMPAH ELEKTRONIK MENGGUNAKAN
ALGORITMA *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK* ARSITEKTUR
RESNET-50 DENGAN *HYPERPARAMETER TUNING***



**DIAN AYU SETIAWATI
2110511107**

**INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN” JAKARTA
JAKARTA
2025**

**KLASIFIKASI CITRA SAMPAH ELEKTRONIK MENGGUNAKAN
ALGORITMA *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK* ARSITEKTUR
RESNET-50 DENGAN *HYPERPARAMETER TUNING***

**DIAN AYU SETIAWATI
2110511107**

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk melaksanakan
penelitian oleh mahasiswa pada
Program Studi Informatika

**INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN” JAKARTA
JAKARTA
2025**

PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas akhir ini adalah hasil karya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Dian Ayu Setiawati

NIM : 2110511107

Tanggal : 8 Mei 2025

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 8 Mei 2025



LEMBAR PERSETUJUAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dian Ayu Setiawati

NIM. : 2110511107

Program Studi : Informatika Program Sarjana/~~Sistem Informasi Program Sarjana/Sains Data Program Sarjana/Sistem Informasi Program Diploma~~ (*Coret yang tidak perlu)

Judul Tugas Akhir :

Klasifikasi Citra Sampah Elektronik Menggunakan Algoritma *Convolutional Neural Network* Arsitektur ResNet-50 dengan *Hyperparameter Tuning*

Dinyatakan telah memenuhi syarat dan menyetujui untuk mengikuti ujian sidang Tugas Akhir.

Jakarta, 2 Juni 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,



Ridwan Raafi'udin, S.Kom., M.Kom.

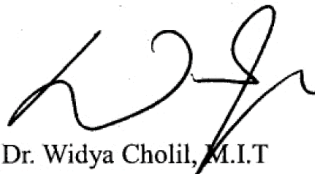
Dosen Pembimbing II,



Catur Nugrahaeni Puspita Dewi,
S.Kom., M.Kom.

Mengetahui,

Koordinator Program Studi,



Dr. Widya Cholil, M.I.T

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Klasifikasi Citra Sampah Elektronik Menggunakan Algoritma
Convolutional Neural Network Arsitektur ResNet-50 dengan
Hyperparameter Tuning.
Nama : Dian Ayu Setiawati
NIM : 2110511107
Program Studi : S1 Informatika

Disetujui oleh:

Penguji 1:
Neny Rosmawarni, S.Kom., M.Kom.

Penguji 2:
Nurul Afifah Arifuddin, S.Pd., M.T.

Pembimbing 1:
Ridwan Raafi'udin, S.Kom., M.Kom.

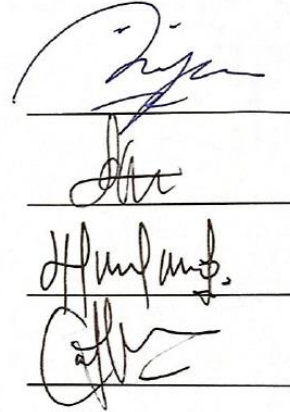
Pembimbing 2:
Catur Nugrahaeni Puspita Dewi, S.Kom., M.Kom.

Diketahui oleh:

Koordinator Program Studi:
Dr. Widya Cholil, S.Kom., M.I.T.
NIP. 221112080

Dekan Fakultas Ilmu Komputer:
Prof. Dr. Ir. Supriyanto, S.T., M.Sc., IPM
NIP. 197605082003121002

Tanggal Ujian Tugas Akhir:
11 Juni 2025



PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dian Ayu Setiawati

NIM : 2110511107

Fakultas : Ilmu Komputer

Program Studi : S-1 Informatika

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non – exclusive Royalty Free Right*) atas skripsi saya yang berjudul:

**KLASIFIKASI CITRA SAMPAH ELEKTRONIK MENGGUNAKAN ALGORITMA
CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK ARSITEKTUR RESNET-50 DENGAN
HYPERPARAMETER TUNING**

Dengan Hak Bebas Royalti ini Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (basis data), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Jakarta

Pada tanggal: 8 Mei 2025

Yang Menyatakan



Dian Ayu Setiawati

ABSTRAK

Pesatnya perkembangan teknologi menyebabkan peningkatan dalam permintaan dan penggunaan produk elektronik yang turut berkontribusi terhadap pertumbuhan volume sampah elektronik. Indonesia menempati posisi keempat di Asia dan posisi pertama di Asia Tenggara sebagai negara penghasil sampah elektronik terbesar pada tahun 2022, dengan total produksi mencapai 1,9 miliar kg. Sayangnya, pengelolaan sampah elektronik di Indonesia masih belum optimal. Salah satu tantangan besarnya adalah proses pengumpulan dan daur ulang masih dilakukan tanpa klasifikasi yang tepat akibat kurangnya pendekatan sistematis dan teknologi dalam prosesnya. Padahal tahap klasifikasi sampah elektronik berdasarkan jenisnya merupakan tahapan awal yang krusial sesaat setelah sampah elektronik masuk ke industri daur ulang. Sejalan dengan masalah ini, peneliti melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi citra sampah elektronik yang dapat mengidentifikasi kategori aktualnya. Penelitian ini menerapkan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) dengan arsitektur ResNet-50 dan teknik *hyperparameter tuning* untuk mengoptimalkan performa model. Eksperimen dilakukan dalam enam skenario dengan variasi data asli, *undersampling*, dan augmentasi, serta pendekatan pemilihan *hyperparameter* secara manual dan otomatis menggunakan *Random Search* dan *Bayesian Optimization*. Hasil terbaik diperoleh dari kombinasi data augmentasi dan *Bayesian Optimization* dengan akurasi pengujian 94,24% dan loss 19,73%. Temuan ini menunjukkan bahwa keragaman data dan strategi *tuning* yang tepat sangat berpengaruh terhadap performa model.

Kata kunci: *Convolutional Neural Network, Hyperparameter Tuning, Klasifikasi Citra, ResNet-50, Sampah Elektronik.*

ABSTRACT

The rapid development of technology has increased the demand and use of electronic products, which also contributes to the growing volume of electronic waste. Indonesia ranked fourth in Asia and first in Southeast Asia as the largest e-waste producing country in 2022, with a total production of 1.9 billion kg. However, e-waste management in Indonesia remains suboptimal. A major challenges lies in the collection and recycling processes, which are still conducted without proper classification due to the lack of systematic and technological approaches. In fact, classification based on waste type is a crucial initial stage once e-waste enters the recycling industry. In response to this issue, this study aimed to develop an electronic waste image classification system to accurately identify waste categories. This study applied the Convolutional Neural Network (CNN) with the ResNet-50 architecture and hyperparameter tuning to optimize model performance. Experiments were conducted in six scenarios with variations of original data, undersampling, and augmentation, along with manual and automated hyperparameter selection approaches using Random Search and Bayesian Optimization. The best result was achieved using augmented data and Bayesian Optimization, resulting in 94.24% test accuracy and 19.73% loss. These findings highlight the importance of data diversity and effective tuning strategies.

Keywords: *Convolutional Neural Network, Hyperparameter Tuning, Image Classification, ResNet-50, Electronic Waste.*

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya peneliti dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Klasifikasi Citra Sampah Elektronik Menggunakan Algoritma *Convolutional Neural Network* Arsitektur ResNet-50 dengan *Hyperparameter Tuning*.” Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Ilmu Komputer di Program Studi S1-Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta. Proses penyusunan skripsi ini berjalan dengan lancar berkat dukungan, motivasi, dan bimbingan yang tak ternilai dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Setiap masukan dan arahan yang diberikan selama proses penyusunan ini sangat berarti dalam mengatasi berbagai tantangan yang dihadapi oleh peneliti. Oleh karena itu, melalui tulisan ini, peneliti ingin menyampaikan rasa terima kasih dan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Supriyanto, S.T., M.Sc., IPM selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta.
2. Ibu Dr. Widya Cholil, S.Kom., M.I.T. selaku Koordinator Program Studi S1-Informatika Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta.
3. Ibu Nindy Irzavika, S.SI., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
4. Bapak Ridwan Raafi’udin, S.Kom., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing Skripsi 1.
5. Ibu Catur Nugrahaeni Puspita Dewi, S.Kom., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing Skripsi 2 .
6. Kedua orang tua dan keluarga, yang senantiasa memberikan dukungan, doa, dan kasih sayang yang tiada henti sehingga menjadi sumber motivasi terbesar bagi peneliti dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Seluruh sahabat dan rekan-rekan yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah memberikan dukungan, sumbangan pemikiran, dan bantuan selama proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, peneliti mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak guna meningkatkan kualitas dan kesempurnaan penelitian ini di masa mendatang. Akhir kata, peneliti berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif, baik bagi peneliti secara pribadi, pembaca, dan perkembangan ilmu pengetahuan di bidang terkait.

Jakarta, 8 Mei 2025

Dian Ayu Setiawati

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR RUMUS.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	3
1.5. Ruang Lingkup.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Machine Learning</i>	5
2.2. <i>Deep Learning</i>	5
2.3. <i>Convolutional Neural Network</i>	6
2.4. <i>Transfer Learning</i>	10
2.5. ResNet-50	11
2.6. Citra Digital	12
2.7. Klasifikasi Citra	13
2.8. Praproses Data	13
2.9. <i>Imbalanced Data</i>	14
2.10. <i>Undersampling</i>	14
2.11. Augmentasi Data.....	14
2.12. <i>Hyperparameter Tuning</i>	15
2.13. <i>Confusion Matrix</i>	16
2.14. <i>Graphical User Interface (GUI)</i>	18
2.15. Sampah Elektronik.....	18
2.16. Penelitian Terdahulu	21
BAB 3. METODE PENELITIAN	25
3.1. Tahapan Penelitian	25
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian.....	31
3.3. Perangkat Keras dan Perangkat Lunak	31
3.4. Jadwal Penelitian	32

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Hasil Pengumpulan Data.....	33
4.2. Hasil Praproses Data	34
4.3. Hasil Pembagian Data.....	36
4.4. Hasil Penanganan Ketidakseimbangan Data	38
4.5. Hasil Pembuatan Model.....	43
4.6. Hasil Pelatihan, Pengujian, dan Evaluasi Model	49
4.7. Pemilihan Model Terbaik.....	81
4.8. Pembuatan Prototipe GUI	82
BAB 5. PENUTUP.....	87
5.1. Kesimpulan	87
5.2. Saran	88
DAFTAR PUSTAKA.....	89
RIWAYAT HIDUP	93
LAMPIRAN.....	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan <i>artificial intelligence</i> , <i>machine learning</i> , dan <i>deep learning</i> (Halbouni <i>et al.</i> 2022).	6
Gambar 2.2 Model konseptual CNN (Ghosh <i>et al.</i> 2020)	7
Gambar 2.3 Proses operasi konvolusi (Tian 2020).	7
Gambar 2.4 Proses operasi <i>pooling</i> (Tian 2020).	8
Gambar 2.5 Fungsi aktivasi (Taye 2023b).	9
Gambar 2.6 Arsitektur <i>fully-connected layer</i> (Ghosh <i>et al.</i> , 2020).	9
Gambar 2.7 Tiga pendekatan <i>transfer learning</i> (Muhammad <i>et al.</i> 2023).	10
Gambar 2.8 Arsitektur ResNet-50 (Ghosh <i>et al.</i> 2020).	12
Gambar 2.9 Format tampilan citra digital dengan jenis (a) citra warna, (b) citra <i>grayscale</i> , dan (c) citra biner (Yanu F <i>et al.</i> 2022).	13
Gambar 2.10 Contoh augmentasi data (Sanjaya dan Ayub 2020).	15
Gambar 2.11 <i>Confusion matrix</i> (Ahmed 2023).	16
Gambar 2.12 Data statistik sampah elektronik global tahun 2022 (Baldé <i>et al.</i> 2024).	18
Gambar 2.13 Total sampah elektronik berdasarkan jenis perangkat (Baldé <i>et al.</i> 2024).	19
Gambar 2.14 Contoh sampah elektronik (Islam <i>et al.</i> 2023).	20
Gambar 3.1 Tahapan penelitian.	25
Gambar 3.2 Skema penanganan ketidakseimbangan data.	28
Gambar 3.3 Tampilan <i>wireframe</i> GUI.	30
Gambar 4.1 Contoh citra sampah elektronik pada <i>dataset</i>	33
Gambar 4.2 Contoh citra yang telah di- <i>resize</i> dengan <i>padding</i>	36
Gambar 4.3 Visualisasi distribusi set data latih, validasi, dan uji per kelas.	37
Gambar 4.4 Visualisasi distribusi set data latih, validasi, dan uji setelah <i>undersampling</i>	40
Gambar 4.5 Contoh transformasi pada augmentasi citra.	42
Gambar 4.6 Visualisasi distribusi set data latih, validasi, dan uji setelah augmentasi.	43
Gambar 4.7 Arsitektur model.	45
Gambar 4.8 Rincian lapisan arsitektur model.	45
Gambar 4.9 Sepuluh <i>epoch</i> terakhir pelatihan model skenario 1.	49
Gambar 4.10 Grafik akurasi dan <i>loss</i> model skenario 1.	50
Gambar 4.11 Pengujian model skenario 1.	50
Gambar 4.12 <i>Classification report</i> model skenario 1.	51
Gambar 4.13 <i>Confusion matrix</i> model skenario 1.	52
Gambar 4.14 Sepuluh <i>epoch</i> terakhir pelatihan model skenario 2.	53
Gambar 4.15 Grafik akurasi dan <i>loss</i> model skenario 2.	53
Gambar 4.16 Pengujian model skenario 2.	54
Gambar 4.17 <i>Classification report</i> model skenario 2.	54
Gambar 4.18 <i>Confusion matrix</i> model skenario 2.	55

Gambar 4.19 Sepuluh <i>epoch</i> terakhir pelatihan model skenario 3.....	56
Gambar 4.20 Grafik akurasi dan <i>loss</i> model skenario 3.	56
Gambar 4.21 Pengujian model skenario 3.	57
Gambar 4.22 <i>Classification report</i> model skenario 3.	57
Gambar 4.23 <i>Confusion matrix</i> model skenario 3.	58
Gambar 4.24 Sepuluh <i>epoch</i> terakhir pelatihan model skenario 4 <i>Bayesian Optimization</i> 3.....	62
Gambar 4.25 Grafik akurasi dan <i>loss</i> model skenario 4 <i>Bayesian Optimization</i> 3.	63
Gambar 4.26 Pengujian model skenario 4 percobaan <i>Bayesian Optimization</i> 3. ..	63
Gambar 4.27 <i>Classification report</i> model skenario 4 <i>Bayesian Optimization</i> 3....	64
Gambar 4.28 <i>Confusion matrix</i> model skenario 4 <i>Bayesian Optimization</i> 3.....	65
Gambar 4.29 Seluruh <i>epoch</i> pelatihan model skenario 5 <i>Random Search</i> 3.	68
Gambar 4.30 Grafik akurasi dan <i>loss</i> model skenario 5 <i>Random Search</i> 3.....	69
Gambar 4.31 Pengujian model skenario 5 percobaan <i>Random Search</i> 3.....	69
Gambar 4.32 <i>Classification report</i> model skenario 5 <i>Random Search</i> 3.....	70
Gambar 4.33 <i>Confusion matrix</i> model skenario 5 <i>Random Search</i> 3.	71
Gambar 4.34 Perbandingan grafik akurasi dan <i>loss</i> empat model terbaik skenario 6 (a) <i>Random Search</i> 1, (b) <i>Random Search</i> 2, (c) <i>Bayesian Optimization</i> 1, (d) <i>Bayesian Optimization</i> 3.	75
Gambar 4.35 Sepuluh <i>epoch</i> terakhir pelatihan model skenario 6 <i>Bayesian Optimization</i> 1.....	77
Gambar 4.36 Grafik akurasi dan <i>loss</i> model skenario 6 <i>Bayesian Optimization</i> 1.	77
Gambar 4.37 Pengujian model skenario 6 <i>Bayesian Optimization</i> 1.....	78
Gambar 4.38 <i>Classification report</i> model skenario 6 <i>Bayesian Optimization</i> 1....	78
Gambar 4.39 <i>Confusion matrix</i> model skenario 6 <i>Bayesian Optimization</i> 1.....	79
Gambar 4.40 Tampilan awal prototipe GUI.....	82
Gambar 4.41 Tampilan setelah menekan tombol “Pilih Gambar”.....	83
Gambar 4.42 Tampilan hasil klasifikasi setelah menekan tombol “Klasifikasi”...	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian terdahulu.	21
Tabel 3.1 Skenario pemilihan <i>hyperparameter</i> dan data penelitian.....	29
Tabel 3.2 Spesifikasi perangkat keras	31
Tabel 3.3 Spesifikasi perangkat lunak.....	32
Tabel 3.4 Jadwal penelitian.	32
Tabel 4.1 Distribusi data pada <i>dataset</i>	33
Tabel 4.2 Distribusi ekstensi <i>file</i>	34
Tabel 4.3 Distribusi ekstensi <i>file</i> setelah penyesuaian format.....	34
Tabel 4.4 Distribusi ukuran citra.	35
Tabel 4.5 Distribusi ukuran citra setelah penyesuaian ukuran.	36
Tabel 4.6 Distribusi data setelah pembagian data.	36
Tabel 4.7 Distribusi set data latih asli.	39
Tabel 4.8 Distribusi set data latih hasil <i>undersampling</i>	40
Tabel 4.9 Rincian parameter augmentasi.	41
Tabel 4.10 Distribusi set data latih hasil augmentasi.	43
Tabel 4.11 Konfigurasi <i>hyperparameter</i> model manual <i>hyperparameter tuning</i>	45
Tabel 4.12 Konfigurasi <i>hyperparameter</i> model <i>automated hyperparameter tuning</i>	47
Tabel 4.13 Skenario penelitian.	49
Tabel 4.14 Perbandingan tiga skenario data dengan pemilihan <i>hyperparameter</i> manual.	59
Tabel 4.15 Hasil <i>hyperparameter tuning</i> model skenario 4 <i>Random Search</i>	60
Tabel 4.16 Kombinasi <i>hyperparameter</i> terbaik model skenario 4 <i>Random Search</i>	60
Tabel 4.17 Hasil <i>hyperparameter tuning</i> model skenario 4 <i>Bayesian Optimization</i>	61
Tabel 4.18 Kombinasi <i>hyperparameter</i> terbaik model skenario 4 <i>Bayesian</i> <i>Optimization</i>	61
Tabel 4.19 Rekapitulasi hasil <i>hyperparameter tuning</i> model skenario 4.	61
Tabel 4.20 Hasil <i>hyperparameter tuning</i> model skenario 5 <i>Random Search</i>	66
Tabel 4.21 Kombinasi <i>hyperparameter</i> terbaik model skenario 5 <i>Random Search</i>	66
Tabel 4.22 Hasil <i>hyperparameter tuning</i> model skenario 5 <i>Bayesian Optimization</i>	67
Tabel 4.23 Kombinasi <i>hyperparameter</i> terbaik model skenario 5 <i>Random Search</i>	67
Tabel 4.24 Rekapitulasi hasil <i>hyperparameter tuning</i> model skenario 5.....	67
Tabel 4.25 Hasil <i>hyperparameter tuning</i> model skenario 6 <i>Random Search</i>	72
Tabel 4.26 Kombinasi <i>hyperparameter</i> terbaik model skenario 6 <i>Random Search</i>	72

Tabel 4.27 Hasil hyperparameter tuning model skenario 6 <i>Bayesian Optimization</i>	73
Tabel 4.28 Kombinasi hyperparameter terbaik model skenario 6 <i>Bayesian Optimization</i>	73
Tabel 4.29 Rekapitulasi hasil <i>hyperparameter tuning</i> model skenario 6.....	74
Tabel 4.30 Hasil seleksi empat model skenario 6 terbaik.	74
Tabel 4.31 Rekapitulasi peforma seluruh model.	80
Tabel 4.32 Model terbaik pada setiap skenario.	81
Tabel 4.33 Model terbaik pada setiap jenis data.	81

DAFTAR RUMUS

2.1 Rumus Perhitungan Akurasi	17
2.2 Rumus Perhitungan <i>Precision</i>	17
2.3 Rumus Perhitungan <i>Recall</i>	17
2.4 Rumus Perhitungan <i>F1-score</i>	17

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Dataset</i> Citra Sampah Elektronik.....	94
Lampiran 2. Kode Program Model	97
Lampiran 3. Kode Program GUI.....	112
Lampiran 4. Hasil <i>Tuning</i>	114
Lampiran 5. Hasil Pengecekan Turnitin.....	123