



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**IMPLEMENTASI CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)  
UNTUK KLASIFIKASI CITRA SAMPAH DENGAN FRAMEWORK  
TENSORFLOW 2.0**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**

**MUHAMMAD RIZKI NUR MAJIID  
21120116120003**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK KOMPUTER**

**SEMARANG  
JUNI 2020**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Rizki Nur Majiid  
NIM : 21120116120003  
Departemen : Teknik Komputer  
Judul Tugas Akhir : Implementasi *Convolutional Neural Network* (CNN)  
untuk Klasifikasi Citra Sampah dengan *Framework*  
TensorFlow 2.0

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

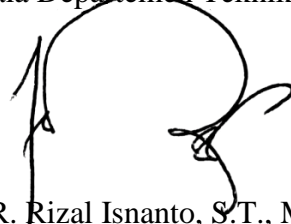
### TIM PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Oky Dwi Nurhayati, S.T., M.T.  
Pembimbing II : Yudi Eko Windarto, S.T., M.Kom.  
Ketua Penguji : Kurniawan Teguh Martono, S.T., M.T.  
Anggota Penguji : Risma Septiana, S.T., M.Eng.



Semarang, 22 Juni 2020

Kepala Departemen Teknik Komputer



Dr. R. Rizal Isnanto, S.T., M.M., M.T.

NIP. 197007272000121001

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Muhammad Rizki Nur Majiid

NIM : 21120116120003

Tanda Tangan :



Tanggal : Semarang, 22 Juni 2020

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai mahasiswa Universitas Diponegoro, saya yang tertandatangan di bawah :

Nama : MUHAMMAD RIZKI NUR MAJIID  
NIM : 21120116120003  
Departemen : TEKNIK KOMPUTER  
Fakultas : TEKNIK  
Jenis Karya : TUGAS AKHIR

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya berjudul : **Implementasi Convolutional Neural Network (CNN) untuk Klasifikasi Citra Sampah dengan Framework TensorFlow 2.0**. Dengan Hak Bebas Royalti/Non-eksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih-media/formatkan, merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada tanggal : 22 Juni 2020

Yang menyatakan,



(Muhammad Rizki Nur Majiid)

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum W.r. Wb.

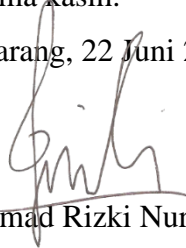
Dengan mengucapkan Bismillahirrahmanirrahim, Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul **“Implementasi *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk Klasifikasi Citra Sampah dengan *Framework TensorFlow 2.0*”**. Laporan tugas akhir ini dibuat dan disusun atas dasar untuk memenuhi kewajiban sebagai mahasiswa dan salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis senantiasa mendapatkan dukungan, bimbingan, bantuan, doa, serta arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini penulis bermaksud menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, saudara, serta keluarga besar tercinta atas doanya yang tidak pernah berhenti kepada penulis.
2. Dr. R. Rizal Isnanto, S.T., M.M., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Komputer Universitas Diponegoro.
3. Dr. Oky Dwi Nurhayati, S.T., M.T. dan Yudi Eko Windarto, S.T., M.Kom. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
4. Seluruh dosen, mahasiswa, staf, dan pegawai Teknik Komputer Undip.
5. Vania Ariyani Prilia Putri yang telah senantiasa memberikan semangat selama tiga tahun di masa perkuliahan.
6. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah membantu hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis sangat menyadari bahwa segala kemampuan dan ilmu pengetahuan yang dimiliki masih sangat terbatas, dan begitu juga dengan Tugas Akhir ini yang masih jauh dari sempurna. Akhir kata, penulis ucapkan terima kasih.

Semarang, 22 Juni 2020

  
Muhammad Rizki Nur Majiid

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penulisan .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Artificial Intelligence .....	6
2.3 Machine Learning.....	8
2.4 Deep Learning .....	10
2.5 Activation Function .....	13
2.6 Transfer Learning dan ImageNet.....	14
2.7 MobileNetV2.....	15
2.8 ResNet50V2 .....	17
2.9 InceptionV3 .....	19
2.10 Softmax, Akurasi, dan Loss .....	21
2.11 Precision, Recall, dan F1-Score .....	22
2.12 Dropout.....	24

2.13	Pooling Layer .....	25
2.14	Adam dan Adadelta .....	26
2.15	TensorFlow 2.0.....	28
<b>BAB III</b>	.....	<b>30</b>
3.1	Spesifikasi Perangkat Penelitian .....	30
3.1.1	Spesifikasi Perangkat Keras .....	30
3.1.2	Spesifikasi Perangkat Lunak .....	30
3.2	Data Penelitian .....	30
3.3	Langkah Penelitian .....	31
<b>BAB IV</b>	.....	<b>37</b>
4.1	Percobaan dan Perbandingan.....	37
4.1.1	Optimizer dan Learning Rate .....	37
4.1.2	Dropout .....	38
4.1.3	Global Pooling 2D .....	40
4.1.4	Transfer Learning.....	41
4.2	Pengujian dan Analisis .....	42
4.2.1	MobileNetV2 .....	44
4.2.2	ResNet50V2 .....	50
4.2.3	InceptionV3.....	56
4.2.4	Rekapitulasi.....	62
<b>BAB V</b> .....	.....	<b>65</b>
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>67</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel Augmentasi Data.....	33
Tabel 3. 2 Daftar Percobaan pada Ketiga Arsitektur .....	35
Tabel 4. 1 Perbandingan <i>Optimizer</i> dan <i>Learning Rate</i> .....	37
Tabel 4. 2 Perbandingan penambahan <i>Dropout Layer</i> .....	39
Tabel 4. 3 Perbandingan Lapisan <i>Pooling</i> .....	40
Tabel 4. 4 Perbandingan penggunaan <i>Transfer Learning</i> .....	41
Tabel 4. 5 Evaluasi Hasil Uji dari Semua Percobaan.....	42
Tabel 4. 6 Konfigurasi Terbaik Setiap Arsitektur .....	44
Tabel 4. 7 Rekapitulasi Hasil Analisis .....	62



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Kecerdasan Buatan <sup>[16]</sup> .....	7
Gambar 2. 2 <i>Neural Network</i> dengan <i>Fully Connected Layer</i> <sup>[22]</sup> .....	11
Gambar 2. 3 Visualisasi <i>Hidden Layer</i> <sup>[23]</sup> .....	12
Gambar 2. 4 Arsitektur MobileNetV1 <sup>[26]</sup> .....	15
Gambar 2. 5 Arsitektur MobileNetV2 <sup>[26]</sup> .....	16
Gambar 2. 6 Blok dari ResNet <sup>[27]</sup> .....	18
Gambar 2. 7 Perbandingan Arsitektur DL biasa (kiri) dengan ResNet (kanan) <sup>[27]</sup>	19
Gambar 2. 8 Arsitektur InceptionV3 <sup>[12]</sup> .....	21
Gambar 2. 9 Contoh <i>Confusion Matrix</i> .....	23
Gambar 2. 10 Ilustrasi Cara Kerja Dropout <sup>[8]</sup> .....	25
Gambar 2. 11 Contoh Cara Kerja <i>Max Pooling</i> <sup>[8]</sup> .....	26
Gambar 2. 12 Contoh Cara Kerja <i>Average Pooling</i> <sup>[8]</sup> .....	26
Gambar 3. 1 Contoh Gambar pada <i>Dataset</i> .....	31
Gambar 3. 2 Tahapan Penelitian .....	32
Gambar 3. 3 Contoh Hasil Augmentasi secara Acak .....	33
Gambar 4. 1 Arsitektur yang Digunakan dengan MobileNetV2 .....	44
Gambar 4. 2 Ringkasan Jumlah Parameter pada Percobaan Ke-2 MobileNetV2.	45
Gambar 4. 3 Grafik Riwayat <i>Training</i> Percobaan Ke-2 MobileNetV2 .....	46
Gambar 4. 4 Grafik <i>Learning Rate</i> Percobaan Ke-2 MobileNetV2 .....	46
Gambar 4. 5 Prediksi Acak MobileNetV2 .....	47
Gambar 4. 6 Tingkat Keyakinan Prediksi MobileNetV2 .....	48
Gambar 4. 7 Hasil Evaluasi Percobaan Ke-2 dengan MobileNetV2 .....	48
Gambar 4. 8 <i>Confusion Matrix</i> Percobaan Ke-2 dengan MobileNetV2 .....	49
Gambar 4. 9 Evaluasi Hasil Uji Percobaan Ke-2 dengan MobileNetV2 .....	50
Gambar 4. 10 Arsitektur yang Digunakan dengan ResNet50V2 .....	51
Gambar 4. 11 Ringkasan Jumlah Parameter pada ResNet50V2 .....	51
Gambar 4. 12 Grafik Riwayat <i>Training</i> Percobaan Ke-7 ResNet50V2 .....	52
Gambar 4. 13 Grafik <i>Learning Rate</i> Percobaan 4.2 ResNet50V2 .....	52
Gambar 4. 14 Prediksi Acak ResNet50V2 .....	53
Gambar 4. 15 Tingkat Keyakinan Prediksi ResNet50V2 .....	54

Gambar 4. 16 Hasil Evaluasi Percobaan Ke-7 dengan ResNet50V2.....	54
Gambar 4. 17 <i>Confusion Matrix</i> Percobaan Ke-7 dengan ResNet50V2.....	55
Gambar 4. 18 Evaluasi Hasil Uji Percobaan Ke-7 dengan ResNet50V2.....	56
Gambar 4. 19 Arsitektur yang Digunakan dengan InceptionV3.....	56
Gambar 4. 20 Arsitektur yang Digunakan dengan InceptionV3.....	57
Gambar 4. 21 Grafik Riwayat <i>Training</i> Percobaan Ke-10 InceptionV3 .....	58
Gambar 4. 22 Grafik <i>Learning Rate</i> Percobaan Ke-10 ResNet50V2 .....	58
Gambar 4. 23 Prediksi Acak InceptionV3 .....	59
Gambar 4. 24 Tingkat Keyakinan Prediksi InceptionV3 .....	60
Gambar 4. 25 Hasil Evaluasi Percobaan Ke-10 dengan InceptionV3 .....	60
Gambar 4. 26 <i>Confusion Matrix</i> Percobaan Ke-10 dengan InceptionV3 .....	61
Gambar 4. 27 Evaluasi Hasil Uji Percobaan 4.4 dengan InceptionV3 .....	62
Gambar 4. 28 Uji Coba <i>Deployment</i> pada Perangkat <i>Mobile</i> .....	63

## ABSTRAK

*Pengolahan sampah merupakan permasalahan global yang hingga kini masih menjadi momok di beberapa negara. Di Indonesia sendiri, pengolahan sampah padat masih terkesan sangat sederhana dengan mengubur semua jenis sampah bersamaan ke dalam tanah. Sedangkan untuk pemilahan jenis sampah di Indonesia masih dilakukan dengan cara manual, yakni dengan memperkerjakan pengepul untuk memisahkan sampah padat yang masih dapat didaur-ulang. Pemilahan sampah secara manual ini dinilai memiliki dampak negatif yang cukup banyak, mulai dari masalah kesehatan hingga kurangnya efektivitas karena keterbatasan manusia. Maka perlu dibuatlah sebuah sistem yang mana dapat diterapkan pada alat mengklasifikasi sampah secara otomatis untuk mengurangi tingkat kesalahan dalam proses pemilahan.*

*Penelitian ini akan membuat sebuah model klasifikasi jenis sampah padat berbasis Deep Learning dengan metode Convolutional Neural Network dan framework Tensorflow 2.0. Ada tiga arsitektur yang dibandingkan, yakni MobileNetV2, ResNet50V2, dan InceptionV3. Semua arsitektur ini akan diuji-coba dengan berbagai parameter seperti Adam dan Adadelta sebagai optimizer, ImageNet sebagai transfer learning weight, global max/average pooling, dan lapisan Dropout. Model yang dibuat akan dilatih dengan 6600 gambar yang terdiri dari sampah anorganik, B3, dan organik. Di akhir proses training, model akan diuji dengan melakukan prediksi terhadap 1500 gambar lain.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa model terbaik yang didapatkan dari proses training dengan dataset yang sudah ada menggunakan arsitektur MobileNetV2, optimizer Adam dengan learning rate awal sebesar  $1 \times 10^{-4}$ , Global Average Pooling, dan transfer learning weight dari ImageNet. Hasil pengujian dari model terbaik menunjukkan F1-Score sebesar 79,22%. Model juga sudah di-deploy pada perangkat dengan sistem operasi Android 10 dan dapat berjalan dengan lancar.*

**Kata Kunci:** *Klasifikasi Sampah, Deep Learning, MobileNet, ResNet, Inception, F1-Score*

## ABSTRACT

*Waste management is a global problem which still become a scourge in several countries. In Indonesia itself, processing solid wastes still seems too simple by burying mixed types of waste into the ground. Whereas the waste sorting in Indonesia is still done manually, by employing garbage collectors to separate recyclable solid wastes. Manual waste sorting is considered to have a lot of negative impacts, start from health problems to lack of effectiveness due to human errors. A system which can be applied to an automatic waste classification device needs to be made to the error rate in the sorting process.*

*This research's goal is to build a solid waste classification model which based on Deep Learning using Convolutional Neural Network and TensorFlow 2.0. There are three architectures that going to be compared, namely MobileNetV2, ResNet50V2, and InceptionV3. All of these architectures will be tested with various parameters such as Adam and Adadelta as optimizers, transfer learning weights from ImageNet, Global Max/Average Pooling layers, and Dropout layers. The model will be trained with 6600 images consisting of inorganic, hazardous, and organic wastes. In the end of training, the model will be tested by predicting 1500 foreign images.*

*The results showed that the best model obtained from the training process with existing datasets used the MobileNetV2 architecture, Adam optimizer with initial learning rate of  $1 \times 10^{-4}$ , Global Average Pooling, and transfer learning weight from ImageNet. The test results of the best model showed an F1-Score of 79.22%. The model has also been deployed on device with the Android 10 operating system and ran smoothly.*

**Keywords:** *Waste Classification, Deep Learning, MobileNet, ResNet, Inception, F1-Score*