



Buku Tugas Akhir

# Aplikasi Convolution Neural Network untuk Klasifikasi Tingkat Kematangan Tandan Buah Kelapa Sawit

Christopher Ganny Nathanael

6151901002

Pembimbing:

Dr. Ir. Christian Fredy Naa

Ir. Nico Saputro, S.T., M.T., Ph.D.

Diajukan untuk memenuhi salah satu  
syarat mendapatkan gelar Sarjana  
Teknik

Februari 2024



# **Aplikasi Convolution Neural Network untuk Klasifikasi Tingkat Kematangan Tandan Buah Kelapa Sawit**

**Christopher GANNY NATHANAEL**  
6151901002

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Universitas Katolik Parahyangan.

## **Panitia Penguji :**

Dr. Ir. Christian Fredy Naa, Pembimbing 1

Ir. Nico Saputro, S.T., M.T., Ph.D., Pembimbing  
2

Ir. Tua Agustinus Tamba, S.T., M.Sc., Ph.D.,  
Penguji 1

Ir. Faisal Wahab, S.Pd., M.T., Penguji 2

---

© 2024, Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika),  
Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Jl. Ciumbuleuit no 94, Bandung  
40141, INDONESIA.

Dokumen ini dilindungi oleh undang-undang. Tidak diperkenankan mereproduksi seluruh ataupun sebagian isi dokumen ini dalam bentuk apa pun, baik secara cetak, photoprint, mikrofilm, elektronik, atau cara lainnya tanpa izin tertulis dari Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika), Universitas Katolik Parahyangan.

All rights reserved. No part of the publication may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm, electronic or any other means without written permission from the Department of Electrical Engineering (Mechatronics), Parahyangan Catholic University.

# Lembar Persetujuan Selesai



Tugas Akhir berjudul:

## **Aplikasi Convolution Neural Network untuk Klasifikasi Tingkat Kematangan Tandan Buah Kelapa Sawit**

oleh:

Christopher Ganny Nathanael  
NPM : 6151901002

ini telah diujikan pada Sidang Tugas Akhir (IME 234230) di Program Studi Sarjana Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan serta dinyatakan SELESAL.

### **TANDA PERSETUJUAN SELESAL**

Bandung, 14 Februari 2024

Ketua Program Studi Sarjana  
Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika

**Tua Agustinus Tamba, S.T., M.Sc., Ph.D.**

Pembimbing Pertama,

**Dr. Ir. Christian Fredy Naa**

Pembimbing Kedua,

**Ir. Nico Saputro, S.T., M.T., Ph.D.**

## PERNYATAAN TIDAK MENCONTEK ATAU MELAKUKAN TINDAKAN PLAGIASI

Saya yang bertandatangan di bawah ini,

**CHRISTOPHER GANNY NATHANAEL**

Dengan ini menyatakan bahwa Buku Tugas Akhir dengan judul:

**'APLIKASI CONVOLUTION NEURAL NETWORK UNTUK KLASIFIKASI  
TINGKAT KEMATANGAN TANDAN BUAH KELAPA SAWIT'**

adalah hasil pekerjaan Saya. Seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini Saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan maka Saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada Saya.

Bandung, 14 Februari 2024

A red and white rectangular stamp with the text "METERAI TEMPEL" and a Garuda emblem. A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.

Christopher Ganny Nathanael

NPM: 6151901002

## Abstrak

Perkebunan kelapa sawit memiliki lahan yang relatif sangat luas dan melibatkan banyak pekerja sehingga pemantauan produksi lahan memerlukan bantuan teknologi yang dapat membantu sistem pemantauan lahan. Dalam memenuhi hal itu, dilakukan sebuah proyek penelitian dengan konsep *Smart Helmet* untuk membantu pemantauan produksi lahan khususnya dalam pemantauan kualitas hasil panen yaitu kematangan tandan buah kelapa sawit (TBKS). Dengan memanfaatkan teknologi pembelajaran mesin (*machine learning*) yaitu jaringan saraf konvolusi atau *Convolution Neural Network* (CNN), penelitian ini berfokus pada pelatihan model klasifikasi tingkat kematangan tandan buah kelapa sawit berdasarkan set data yang berisi satu TBKS pada satu foto beserta tingkat kematangannya. Berbagai variabel seperti arsitektur CNN, *optimizer*, *learning rate* (LRate) serta set data akan digunakan untuk mencari variabel pelatihan yang optimal dalam melatih modelnya. Model yang dihasilkan dari pembelajaran akan ditanamkan dalam perangkat komputer yang digunakan pada proyek *Smart Helmet*. Pelatihan dengan kombinasi variabel AlexNet, set data 1 (*cropped*), Adam, dengan LRate  $10^{-4}$  dapat menghasilkan model terlatih dengan akurasi pengujian tertinggi yaitu 87,1%. Namun akurasi menjadi 55,8% saat diuji pada set data dari perkebunan lain. Performa akurasi tertinggi didapatkan setelah melatih kembali model terlatih dengan menambahkan sebagian set data baru (60%) sehingga meningkatkan akurasi menjadi 92,4% dengan *loss* 0,349.



## Abstract

Oil palm plantations have relatively extensive land and involve a large number of workers, making the monitoring of land production require the assistance of technology that can aid in land monitoring systems. To address this, a research project was conducted with the concept of a Smart Helmet to assist in monitoring land production, particularly in monitoring the quality of harvest, specifically the ripeness of oil palm fruit bunches. Utilizing machine learning technology, namely Convolutional Neural Network (CNN), this research focuses on training a classification model for the ripeness levels of oil palm fruit bunches based on a dataset containing one bunches per photo along with its ripeness level. Various variables such as CNN architecture, optimizer, learning rate (LRate), and dataset will be used to find the optimal training variables for the model. The trained model resulting from this learning will be embedded in the computer device used in the Smart Helmet project. Training with a combination of variables such as AlexNet, dataset 1 (cropped), Adam, with LRate  $10e(-4)$  can produce a trained model with the highest testing accuracy of 87.1%. However, the accuracy drops to 55.8% when tested on a dataset from another plantation. The highest accuracy performance is achieved after retraining the model with the addition of some new data (60%), thereby increasing the accuracy to 92.4% with a loss of 0.349.



## **Pedoman Penggunaan Buku Tugas Akhir**

Buku Tugas Akhir yang tidak dipublikasikan, terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Katolik Parahyangan, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Katolik Parahyangan. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh Buku Tugas Akhir haruslah seizin Ketua Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Staf dosen dan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan dapat menggunakan Buku Tugas Akhir ini sebagai rujukan pada penelitian-penelitian yang akan dilakukan sesuai dengan rekomendasi yang dikeluarkan oleh Koordinator Tugas Akhir dan/atau Tim Dosen Pembimbing.



# Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat-Nya lah penyusunan Buku Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku Tugas Akhir yang berjudul "Aplikasi Convolution Neural Network untuk Klasifikasi Tingkat Kematangan Tandan Buah Kelapa Sawit" disusun, sebagai bentuk penyelesaian pembelajaran pada Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika UNPAR. Penyusunan buku ini tidak dapat diselesaikan tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Dengan itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada segala pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Buku Tugas Akhir.

- Dr. Ir. Christian Fredy Naa dan Ir. Nico Saputro, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir di Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika UNPAR.
- Papih dan Mamih yang terkasih, sebagai orangtua penulis. Terima kasih atas semua kasih sayang, perhatian dan dorongan kepada penulis.
- Hendry Setiadi Limijaya, sebagai teman seperjuangan di seluruh jenjang studi. Terima kasih atas waktu, saran, bantuan dan kerjasamanya selama ini.
- Kevin, Felix, Matthew, dan Jose, sebagai teman diperkuliah. Terima kasih atas saran dan bantuannya dalam penyelesaian buku ini serta waktunya dalam mengatasi penat penulis.
- Akoh Enih, Om Ramot, Pak Wahyu, Pak Susilo serta pihak-pihak yang terlibat dalam pengambilan data di lokasi perkebunan.
- Keluarga besar 2LCB, Grup Badut, Anak Mamih, dan Laskar Angin, sebagai keluarga dan rumah kedua. Terima kasih atas dukungannya dalam memotivasi penulis menyelesaikan buku ini.
- Hernando, Darwin, Gabriela, serta kakak tingkat yang penulis hormati. Terima kasih atas dukungan dan sarannya dalam mencari ide dan solusi untuk penyelesaian buku ini.

- Julian, Ivan, Salsa, dan Daffa, sebagai teman seperjuangan Tugas Akhir. Terima kasih atas dukungannya dalam diskusi bersama memenuhi kebutuhan penyelesaian buku ini.

Demikian buku ini selesai ditulis, semoga melalui penelitian ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak. Kiranya segala pihak yang membantu secara langsung maupun tidak langsung baik yang disebutkan penulis maupun tidak dapat dibalaskan kebaikannya oleh Tuhan Yang Maha Esa.

# Daftar Isi

Abstrak	ix
Abstract	xi
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Tabel	xix
Daftar Gambar	xxi
Daftar Simbol dan Variabel	xxiii
Daftar Singkatan	xxv
<b>1 Pendahuluan</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah . . . . .	1
1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah. . . . .	3
1.3 Batasan Masalah dan Asumsi . . . . .	4
1.4 Tujuan Tugas Akhir . . . . .	5
1.5 Manfaat Tugas Akhir . . . . .	5
1.6 Metodologi Tugas Akhir . . . . .	6
1.7 Sistematika Penulisan . . . . .	7
<b>2 Tinjauan Pustaka</b>	<b>9</b>
2.1 Kelapa Sawit . . . . .	9
2.2 Convolution Neural Networks . . . . .	11
2.2.1 Lapisan Dasar CNN . . . . .	13
2.2.2 Lapisan Tambahan CNN . . . . .	18
2.3 Variabel CNN . . . . .	21

2.3.1	Set Data Masukan . . . . .	21
2.3.2	Arsitektur . . . . .	23
2.3.3	Epoch dan Batch . . . . .	27
2.3.4	Learning Rate . . . . .	28
2.3.5	Optimizer . . . . .	28
2.3.6	Initialization . . . . .	30
2.3.7	Fungsi Aktivasi . . . . .	32
2.3.8	Fungsi Loss . . . . .	34
2.3.9	Parameter . . . . .	35
<b>3</b>	<b>Perancangan Sistem</b>	<b>39</b>
3.1	Spesifikasi Sistem . . . . .	39
3.2	Cara Kerja Sistem . . . . .	40
3.2.1	Sistem Pelatihan . . . . .	41
3.2.2	Sistem Prediksi . . . . .	43
3.3	Rincian Desain Sistem . . . . .	44
3.3.1	Spesifikasi Komputer . . . . .	44
3.3.2	Komponen lebih rinci . . . . .	45
3.4	Rancangan Penentuan Variabel Pelatihan . . . . .	50
3.4.1	Set Data . . . . .	50
3.4.2	Optimizer dan LRate . . . . .	53
3.5	Rancangan Pengolahan Data . . . . .	53
3.6	Rancangan Tahapan Pelatihan . . . . .	56
3.6.1	Pra-Pelatihan . . . . .	58
3.6.2	Pelatihan Tunggal . . . . .	59
3.6.3	Pelatihan Bertahap . . . . .	61
3.7	Rencana Pengujian Model . . . . .	61
3.7.1	Pengujian Pengaruh Variabel . . . . .	62
3.7.2	Pengujian Kapabilitas Model . . . . .	63
<b>4</b>	<b>Data dan Analisis</b>	<b>65</b>
4.1	Data dan Analisis Pengujian Variabel Arsitektur . . . . .	66
4.2	Data dan Analisis Pelatihan Tunggal . . . . .	67
4.2.1	Data Pelatihan Tunggal . . . . .	67
4.2.2	Analisis Pengaruh Variabel Learning Rate . . . . .	71
4.2.3	Analisis Pengaruh Variabel Optimizer . . . . .	79
4.2.4	Analisis Pengaruh Variabel Set Data . . . . .	82
4.3	Hasil dan Analisis Pengujian Kapabilitas Model . . . . .	83
4.3.1	Kapabilitas Model Terlatih terhadap Set Data Pelatihan . . . . .	83
4.3.2	Kapabilitas Model Terlatih terhadap Set Data Baru . . . . .	89
4.3.3	Ringkasan Pengujian Kapabilitas Model Terlatih . . . . .	96
4.4	Hasil dan Analisis Pelatihan Bertahap . . . . .	97
4.4.1	Hasil Pelatihan Bertahap . . . . .	97
4.4.2	Analisis Pengaruh Pelatihan Bertahap . . . . .	102

4.5 Ringkasan Analisis . . . . .	108
<b>5 Simpulan dan Saran</b>	<b>109</b>
5.1 Simpulan . . . . .	109
5.2 Saran . . . . .	111
<b>Daftar Pustaka</b>	<b>113</b>
<b>Lampiran A Persamaan Lapisan-lapisan AlexNet</b>	<b>117</b>
<b>Lampiran B Contoh Visualisasi Kernel dan Keluaran Lapisan</b>	<b>121</b>
<b>Lampiran C Data Grafik Pelatihan</b>	<b>128</b>



# Daftar Tabel

2.1	Tingkat Kematangan Kelapa Sawit serta Hubungannya dengan Kadar Minyak dan ALB . . . . .	11
3.1	Skema Pembagian Data . . . . .	56
3.2	Rancangan Variabel Pra-Pelatihan . . . . .	58
3.3	Rancangan Variabel Pelatihan . . . . .	59
3.4	Rancangan Variabel Pelatihan Bertahap . . . . .	61
4.1	Hasil Pengujian Perbandingan Arsitektur CNN . . . . .	66
4.2	Data Akurasi dan <i>Loss</i> Hasil Prediksi Model 1 (Set Data 1 - Adam) . . . . .	72
4.3	Data Akurasi dan <i>Loss</i> Hasil Prediksi Model 2 (Set Data 1 - SGD) . . . . .	73
4.4	Data Akurasi dan <i>Loss</i> Hasil Prediksi Model 3 (Set Data 2 - Adam) . . . . .	74
4.5	Data Akurasi dan <i>Loss</i> Hasil Prediksi Model 4 (Set Data 2 - SGD) . . . . .	75
4.6	Data Akurasi dan <i>Loss</i> Hasil Prediksi Model 5 (Set Data 3 - Adam) . . . . .	76
4.7	Data Akurasi dan <i>Loss</i> Hasil Prediksi Model 6 (Set Data 3 - SGD) . . . . .	77
4.8	Data Akurasi dan <i>Loss</i> Hasil Prediksi Terbaik . . . . .	78
4.9	Data Perbandingan <i>Optimizer</i> pada Model Terlatih dengan Set Data 1 ( <i>Cropped</i> ) . . . . .	79
4.10	Data Perbandingan <i>Optimizer</i> pada Model Terlatih dengan Set Data 2 . . . . .	80
4.11	Data Perbandingan <i>Optimizer</i> pada Model Terlatih dengan Set Data 3 . . . . .	81
4.12	Data Perbandingan Set Data 1, 2, 3 pada Model Terlatih 1, 3, dan 5 . . . . .	82
4.13	Data Perbandingan Set Data 1, 2, 3 pada Model Terlatih 2, 4, dan 6 . . . . .	83
4.14	Hasil Pengujian Kapabilitas Model Terlatih terhadap Set Data 1 . . . . .	84
4.15	Matriks Konfusi Model Terlatih 1-4 . . . . .	85
4.16	Hasil Pengujian Kapabilitas Model Terlatih terhadap Set Data 2 . . . . .	86
4.17	Matriks Konfusi Model Terlatih 4-3 . . . . .	87
4.18	Hasil Pengujian Kapabilitas Model Terhadap terhadap Set Data 3 . . . . .	88
4.19	Matriks Konfusi Model Terlatih 6-3 . . . . .	89
4.20	Hasil Pengujian Kapabilitas Model Terlatih terhadap Set Data 4 . . . . .	90
4.21	Matriks Konfusi Prediksi Model Terlatih 5-2 pada Set Data 4 . . . . .	91
4.22	Hasil Pengujian Kapabilitas Model Terlatih terhadap Set Data 5 . . . . .	92
4.23	Matriks Konfusi Prediksi Model Terlatih 3-5 pada Set Data 5 . . . . .	93
4.24	Hasil Pengujian Kapabilitas Model Terlatih terhadap Set Data 6 . . . . .	94

4.25	Matriks Konfusi Prediksi Model Terlatih 1-4 pada Set Data 6 . . . . .	95
4.26	Rangkuman Hasil Pengujian Kapabilitas Model Terlatih Terbaik . . . . .	96
4.27	Hasil Pelatihan Bertahap Model Terlatih 1 . . . . .	98
4.28	Hasil Pelatihan Bertahap Model Terlatih 2 . . . . .	100
4.29	Hasil Pelatihan Bertahap Model Terlatih 1-4 . . . . .	101
4.30	Hasil Pelatihan Bertahap Model Terlatih 2-2 . . . . .	102
4.31	Perbandingan Model Terlatih 1 dengan Model Terlatih Bertahap 1 terhadap Set Data 5 . . . . .	103
4.32	Perbandingan Model Terlatih 1 dengan Model Terlatih Bertahap 1 terhadap Set Data 6 . . . . .	104
4.33	Perbandingan Model Terlatih 2 dengan Model Terlatih Bertahap 2 terhadap Set Data 5 . . . . .	105
4.34	Perbandingan Model Terlatih 2 dengan Model Terlatih Bertahap 2 terhadap Set Data 6 . . . . .	106
4.35	Matriks Konfusi Model Terlatih Bertahap 3 pada Set Data 6 . . . . .	107
4.36	Matriks Konfusi Model Terlatih Bertahap 4 pada Set Data 6 . . . . .	107

# Daftar Gambar

1.1	Skema Kerja pada Perkebunan Kelapa Sawit . . . . .	2
1.2	Diagram Alir Metodologi Penelitian . . . . .	6
2.1	Ilustrasi Operasi Konvolusi pada CNN . . . . .	14
2.2	Ilustrasi Hasil Operasi Konvolusi . . . . .	15
2.3	Ilustrasi Operasi <i>Max Pooling</i> . . . . .	16
2.4	Contoh Operasi Konvolusi Arsitektur AlexNet . . . . .	23
2.5	Contoh Operasi Konvolusi Arsitektur MobileNet . . . . .	25
2.6	Contoh Operasi Konvolusi Arsitektur EfficientNet . . . . .	26
2.7	Fungsi Aktivasi ReLU [1] . . . . .	33
2.8	Contoh <i>Kernel</i> Ukuran 4x4 . . . . .	36
3.1	Diagram Alir Sistem Pelatihan Model . . . . .	41
3.2	Diagram Alir Sistem Prediksi Gambar . . . . .	43
3.3	Arsitektur AlexNet [2] . . . . .	45
3.4	Diagram Alir Arsitektur AlexNet . . . . .	47
3.5	Contoh Gambar Set Data 1 - <i>Cropped</i> . . . . .	51
3.6	Contoh Gambar Set Data 2 - <i>Segmented</i> . . . . .	51
3.7	Contoh Gambar Set Data 3 - <i>Removebg</i> . . . . .	52
3.8	Contoh Gambar Set Data 4 . . . . .	52
3.9	Contoh Gambar Utuh TBKS dengan Dimensi $3264 \times 2448$ Pixels . . . . .	54
3.10	Contoh Gambar TBKS Hasil Pra-Proses . . . . .	55
3.11	Diagram Alir Keseluruhan Sistem Pelatihan Model . . . . .	57
3.12	Diagram Alir Sistem Pelatihan Model Lebih Rinci . . . . .	60
4.1	Grafik Pelatihan Model Pelatihan 1-4 . . . . .	67
4.2	Grafik Pelatihan Model Pelatihan 2 . . . . .	68
4.3	Grafik Pelatihan Model Pelatihan 3 . . . . .	69
4.4	Grafik Pelatihan Model Pelatihan 4 . . . . .	69
4.5	Grafik Pelatihan Model Pelatihan 5 . . . . .	70
4.6	Grafik Pelatihan Model Pelatihan 6 . . . . .	71
B.1	Visualisasi Kernel Konvolusi 1 . . . . .	121

B.2	Visualisasi Kernel Konvolusi 2 . . . . .	122
B.3	Visualisasi Kernel Konvolusi 3 . . . . .	122
B.4	Visualisasi Kernel Konvolusi 4 . . . . .	123
B.5	Visualisasi Kernel Konvolusi 5 . . . . .	123
B.6	Visualisasi Keluaran Konvolusi 1 . . . . .	124
B.7	Visualisasi Keluaran Konvolusi 2 . . . . .	124
B.8	Visualisasi Keluaran Konvolusi 3 . . . . .	125
B.9	Visualisasi Keluaran Konvolusi 4 . . . . .	125
B.10	Visualisasi Keluaran Konvolusi 5 . . . . .	126
C.1	Grafik Pelatihan Arsitektur MobileNetV2 . . . . .	128
C.2	Grafik Pelatihan Arsitektur EfficientB0 . . . . .	128
C.3	Grafik Pelatihan Bertahap Model 1 LRate $10^{-3}$ . . . . .	129
C.4	Grafik Pelatihan Bertahap Model 1 LRate $10^{-5}$ . . . . .	129
C.5	Grafik Pelatihan Model 1 LRate $10^{-3}$ . . . . .	129
C.6	Grafik Pelatihan Model 1 LRate $10^{-4}$ . . . . .	130
C.7	Grafik Pelatihan Model 1 LRate $10^{-5}$ . . . . .	130
C.8	Grafik Pelatihan Model 2 LRate $10^{-2}$ . . . . .	130
C.9	Grafik Pelatihan Model 2 LRate $10^{-3}$ . . . . .	131
C.10	Grafik Pelatihan Model 2 LRate $10^{-5}$ . . . . .	131
C.11	Grafik Pelatihan Model 3 LRate $10^{-3}$ . . . . .	131
C.12	Grafik Pelatihan Model 3 LRate $10^{-4}$ . . . . .	132
C.13	Grafik Pelatihan Model 3 LRate $10^{-5}$ . . . . .	132
C.14	Grafik Pelatihan Model 4 LRate $10^{-2}$ . . . . .	132
C.15	Grafik Pelatihan Model 4 LRate $10^{-3}$ . . . . .	133
C.16	Grafik Pelatihan Model 4 LRate $10^{-4}$ . . . . .	133
C.17	Grafik Pelatihan Model 4 LRate $10^{-5}$ . . . . .	133
C.18	Grafik Pelatihan Model 5 LRate $10^{-2}$ . . . . .	134
C.19	Grafik Pelatihan Model 5 LRate $10^{-3}$ . . . . .	134
C.20	Grafik Pelatihan Model 5 LRate $10^{-4}$ . . . . .	134
C.21	Grafik Pelatihan Model 5 LRate $10^{-5}$ . . . . .	135
C.22	Grafik Pelatihan Model 6 LRate $10^{-2}$ . . . . .	135
C.23	Grafik Pelatihan Model 6 LRate $10^{-3}$ . . . . .	135
C.24	Grafik Pelatihan Model 6 LRate $10^{-4}$ . . . . .	136
C.25	Grafik Pelatihan Model 6 LRate $10^{-5}$ . . . . .	136
C.26	Grafik Pelatihan Bertahap Model 1 LRate $10^{-2}$ . . . . .	136
C.27	Grafik Pelatihan Bertahap Model 1 LRate $10^{-3}$ . . . . .	137
C.28	Grafik Pelatihan Bertahap Model 1 LRate $10^{-5}$ . . . . .	137

## Daftar Simbol dan Variabel

$s(t)$	Estimasi posisi pada waktu $t$
$t$	Waktu sebenarnya
$x(a)$	Nilai masukan dari sensor
$a$	Waktu pengukuran
$w$	Fungsi pembebanan ( <i>Weights</i> )
$Conv_{i,j,k}^{(i)}$	Fungsi konvolusi pada CNN
$(i)$	Indeks lapisan
$i, j, k$	Dimensi <i>depth</i> atau <i>channel</i> , <i>height</i> , <i>width</i> keluaran lapisan
$X_{l,m,n}^{(i-1)}$	Masukan lapisan dengan dimensi $l, m, n$ dari lapisan $(i - 1)$
$l, m, n$	Indeks posisi masukan lapisan pada saat proses konvolusi
$l', m', n'$	Indeks posisi <i>kernel</i> pada saat proses konvolusi
$W_{l',m',n'}^{(i)}$	<i>Kernel</i> pada lapisan konvolusi $(i)$ berupa matriks <i>weight</i>
$b^{(i)}$	Nilai bias pada lapisan $(i)$
$P_{i,j,k}^{(i)}$	Fungsi lapisan <i>pooling</i> dengan dimensi keluaran $i, j, k$
$max_{l,m,n}$	Fungsi <i>max pooling</i> dengan ukuran <i>kernel</i> $l, m, n$
$Flatten_p$	Fungsi <i>flatten</i> dengan dimensi $p$
$p$	Kombinasi linear dimensi masukan $i, j, k$
$FC^{(i)}_j$	Fungsi <i>fully-connected</i> atau <i>dense</i> dengan jumlah neuron $j$
$BN_{i,j,k}^{(i)}$	Fungsi normalisasi <i>batch</i>
$\mu^{(i)}$	Rata-rata <i>mini-batch</i> pada lapisan $(i)$
$\sigma^{(i)}$	Standar deviasi <i>mini-batch</i> pada lapisan $(i)$
$\gamma^{(i)}$	Parameter penskalaan ( <i>scaling</i> ) pada lapisan $(i)$
$\beta^{(i)}$	Parameter pergeseran ( <i>shifting</i> ) pada lapisan $(i)$
$\epsilon$	Nilai konstanta kecil
$D_{j,k}^{(i)}$	Fungsi lapisan <i>dropout</i>
$p^{(i)}$	Nilai probabilitas pada fungsi <i>dropout</i>
$\eta$	Nilai <i>learning rate</i>
$J(w_t; x^{(i)}, y^{(i)})$	Fungsi <i>loss</i> pada <i>mini-batch</i> terpilih $(x^{(i)}, y^{(i)})$
$\nabla J(w_t; x^{(i)}, y^{(i)})$	Gradien terhadap <i>loss</i>
$\hat{m}_t$	Koreksi bias pada estimasi momentum pertama
$\hat{v}_t$	Koreksi bias pada estimasi momentum kedua
$ReLU(x)$	Fungsi aktivasi <i>rectified linear unit</i>
$Softmax(z)_i$	Fungsi aktivasi <i>softmax</i> berupa probabilitas untuk kelas $i$
$(z)_i$	Vektor masukan untuk kelas $i$
$e$	Bilangan Euler
$K$	Jumlah seluruh kelas atau kategori
$L(y, \hat{y})$	Fungsi <i>loss</i>
$y$	Distribusi yang sebenarnya
$y_i$	Probabilitas yang sebenarnya pada kelas $i$

$\hat{y}$	Distribusi yang terprediksi
$\hat{y}_i$	Probabilitas yang terprediksi pada kelas $i$
$L$	Nilai <i>loss</i> rata-rata pada set data yang diprediksi
$N$	Jumlah data yang diprediksi

## Daftar Singkatan

CNN	Convolution Neural Network
PDB	Produk Domestik Bruto
GPS	Global Positioning System
ALB	Asam Lemak Bebas
RGB	Red Green Blue
FC	Fully Connected
MP	Mega Pixel
ReLU	Rectified Linear Unit
LRate	Learning Rate
TBKS	Tandan Buah Kelapa Sawit



# Bab 1

## Pendahuluan

Pada bab pertama ini, dijelaskan mengenai latar belakang masalah yang menjadi fokus penelitian. Dari latar belakang masalah dilakukan identifikasi faktor-faktor yang berkaitan yang kemudian dirumuskan sebagai rumusan masalah. Selain itu, terdapat penentuan batasan masalah dan asumsi yang digunakan serta tujuan dan manfaat dari penelitian yang akan dilakukan. Metodologi penelitian juga akan dibahas sebagai acuan kegiatan penelitian.

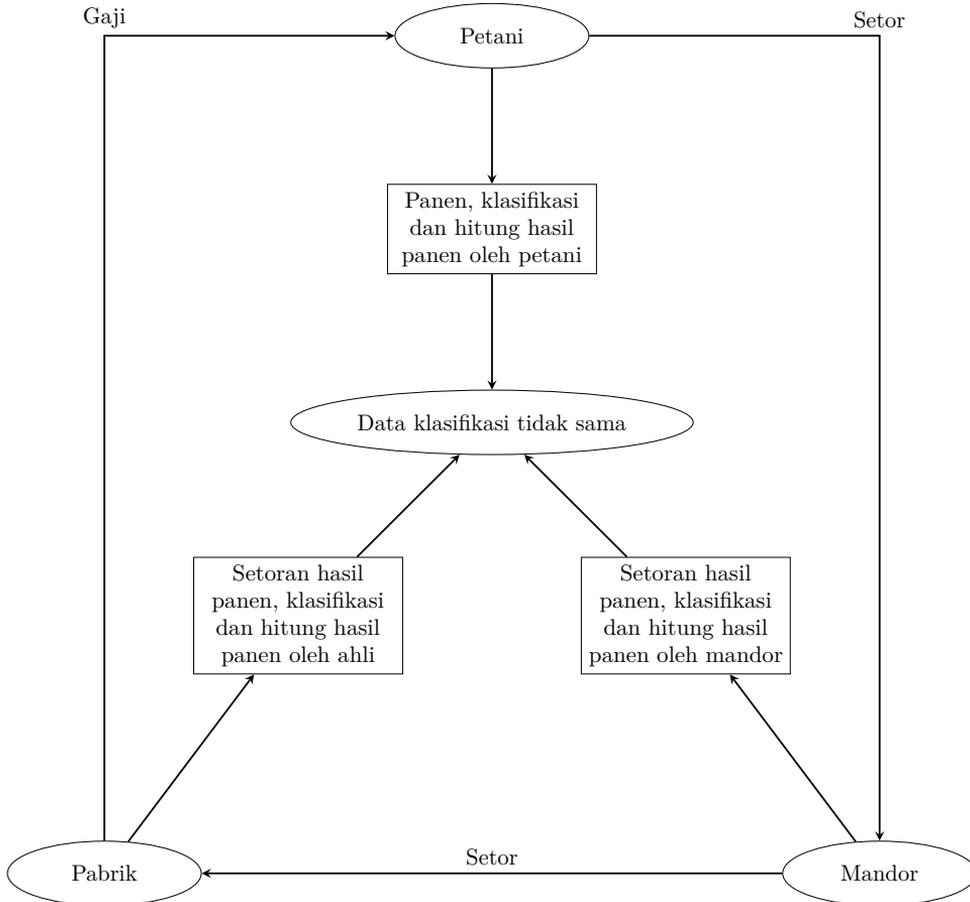
### 1.1 Latar Belakang Masalah

Perkebunan kelapa sawit merupakan sektor pertanian yang berkontribusi cukup besar pada Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia. Menurut Direktorat Jendral Perkebunan [3], kelapa sawit memiliki 13,5% kontribusi pada ekspor nonmigas yang mana setara juga dengan 3,5% PDB Indonesia. Kelapa sawit tentunya menjadi salah satu pilar penopang perekonomian negara sehingga sudah sewajarnya sektor perkebunan ini diharapkan untuk terus berkembang.

Di Indonesia, perkebunan kelapa sawit secara mayoritas masih menggunakan metode konvensional baik dalam proses perencanaan, pemantauan serta pelaporan mengenai aktivitas operasional panennya. Dengan kondisi lahan yang luas sehingga tenaga kerja yang dibutuhkan relatif cukup banyak, diikuti dengan meningkatnya kesalahan manusia atau *human error*. Selain itu, faktor lahan kelapa sawit yang terbagi ke beberapa pemilik lahan menjadi suatu tantangan tersendiri dalam pemantauan dan pelaporannya. Salah satu contoh adanya faktor kesalahan manusia adalah terjadinya perbedaan laporan mengenai hasil panen nyata dengan hasil panen yang dilaporkan serta lokasi panen yang tidak sesuai dengan yang dilaporkan.

Dalam hal ini, sistem pemantauan yang diharapkan adalah untuk mengetahui aktivitas petani dalam melakukan panen. Sedangkan untuk sistem pelaporannya adalah untuk mengetahui hasil panen untuk masing-masing petani serta lokasi panen.

Hal ini berkaitan dengan lahan perkebunan yang terbagi ke beberapa pemilik. Dengan sistem tersebut, pemilik dapat meninjau kinerja petani, hasil perkebunannya masing-masing serta petani juga dapat mendapat upah yang sesuai dengan hasil kerjanya. Dengan dibuatnya sebuah sistem pemantauan, ketidaksesuaian laporan dengan hasil dapat terselesaikan sehingga setiap pihak dapat mendapat haknya masing-masing. Ketidaksesuaian laporan tersebut dapat dijelaskan melalui skema kerja pada Gambar 1.1.



**Gambar 1.1** Skema Kerja pada Perkebunan Kelapa Sawit

Namun untuk mewujudkan hal itu, tentunya diperlukan suatu inovasi yang dapat menjadi jembatan informasi dalam sistem pemantauan maupun sistem pelaporan. Jika melihat alur kerjanya, orang pertama yang terlibat dalam proses panen adalah petani yang melakukan panen tersebut sedangkan pemilik hampir tidak terlibat langsung dalam proses panen. Untuk menjembatani hal ini, pemantauan dan pelaporan perlu dimulai dari petani yang melakukan panen sehingga dapat

dibandingkan laporan dari orang pertama dengan orang terakhir yang terlibat dalam pelaporan. Informasi yang perlu dilaporkan adalah lokasi panen serta informasi hasil panen dari segi kualitas dan kuantitas dari masing-masing hasil panen. Penelitian ini akan membahas lebih lanjut mengenai kualitas hasil panen yaitu tingkat kematangan.

Suatu inovasi tentunya harus memperhatikan dampak penggunaannya yang mana tidak mengganggu aktivitas lainnya. Dalam pertimbangan tersebut, untuk mengumpulkan informasi tersebut diperlukan teknologi seperti *Global Positioning System* (GPS) yang berfungsi sebagai pelacak lokasi panen, teknologi kamera untuk mengambil gambar hasil panen, serta *machine learning* maupun *deep learning* yang berperan dalam mengklasifikasi hasil panen. Teknologi tersebut dapat dikombinasikan ke dalam helm keselamatan yang dipakai petani sehari-hari di perkebunan sehingga tidak perlu adanya penambahan atribut petani. Berdasarkan itu, proyek penelitian untuk merancang purwarupa *smart helmet* dilakukan untuk menjawab kebutuhan perkebunan.

Dalam pelaporan hasil panen yang mana hanya sebatas gambar hasil panen tentunya belum dapat menjadi suatu laporan yang diinginkan pemilik. Kualitas dan kuantitas dari hasil panen perlu disajikan dalam laporan hasil panen. Saat ini, terdapat teknologi pengolahan citra serta *machine learning* maupun *deep learning* yang dapat mengolah gambar hasil panen untuk mendapatkan informasi kualitas bahkan kuantitasnya baik melalui sensor optik [4–7] maupun menggunakan gambar objek [8–11]. Melalui penelitian tersebut, teknologi pengolahan citra, *machine learning* ataupun *deep learning* sudah mampu melakukan penilaian kualitas maupun kuantitas dari suatu objek panen seperti pada produk perkebunan yaitu kelapa sawit.

Dalam penentuan kualitas melalui klasifikasi tingkat kematangan hasil panen, terdapat banyak indikator seperti umur buah, warna buah, kandungan minyak ataupun asam lemak dalam kondisi buahnya. Pada pedoman yang disusun oleh Direktorat Jendral Perkebunan [12], terdapat 7 (tujuh) kriteria tingkat kematangan tandan buah kelapa sawit (TBKS) berdasarkan warna buahnya dari mentah hingga lewat matang yaitu dari hitam menuju merah hingga menjadi oranye. Dengan memanfaatkan pedoman tersebut, salah satu alternatif klasifikasi tingkat kematangan dengan menggunakan model *machine learning* melalui aplikasi *Convolution Neural Network* dapat dilakukan dengan mempelajari tampak visual pada TBKS pada masing-masing kriteria.

## 1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah.

Berdasarkan latar belakang, dapat diidentifikasi permasalahan yaitu metode konvensional dari sistem klasifikasi tingkat kematangan TBKS saat ini masih menggunakan pendapat ahli yang dapat berbeda satu dengan yang lainnya sehingga belum dapat dinilai secara kuantitatif. Dari permasalahan yang sudah teridentifikasi, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana teknik *machine learning* yang sesuai untuk tujuan klasifikasi?
2. Bagaimana variabel pelatihan model *machine learning* yang sesuai dengan kebutuhan klasifikasi tingkat kematangan TBKS?
3. Bagaimana performa klasifikasi tingkat kematangan TBKS menggunakan model *machine learning*?

Melalui rumusan masalah tersebut, penelitian ini ditujukan untuk menjadi solusi dari masalah yang telah disebutkan.

### 1.3 Batasan Masalah dan Asumsi

Batasan masalah dari sistem yang akan dibuat adalah sebagai berikut.

1. Sistem yang diteliti dan dirancang hanya berfokus pada pelatihan model klasifikasi tingkat kematangan TBKS berdasarkan sampel gambar terbatas dengan total 330 yang terbagi pada 4 kelompok kematangan.
2. Sistem yang dibahas merupakan bagian dari penelitian *smart helmet* untuk diperkebunan.
3. Metode penilaian kualitas TBKS mengadopsi metode konvensional sebagai basis klasifikasi.
4. Tingkat kematangan disederhanakan menjadi 4 (empat) kategori yaitu mentah, belum matang, matang dan lewat matang untuk menyederhanakan penelitian serta jumlah sampel yang terbatas.
5. Variabel pelatihan model adalah set data, *optimizer*, *learning rate* dan arsitektur.
6. Metode *machine learning* yang digunakan adalah *supervised learning* dengan teknik *convolution neural network*.
7. Parameter akurasi dan *loss* menjadi tolak ukur penilaian performa model *machine learning*.

Asumsi dari sistem yang dibuat adalah sebagai berikut.

1. Klasifikasi tingkat kematangan berdasarkan set data terbatas dapat direalisasikan melalui pelatihan model *machine learning* dengan menggunakan *Convolution Neural Network*.
2. Sistem penilaian pada metode konvensional menggunakan penilaian fisik TBKS yang dapat dipelajari melalui gambar.
3. Kecocokan variabel pelatihan mempengaruhi performa model *machine learning*.

## 1.4 Tujuan Tugas Akhir

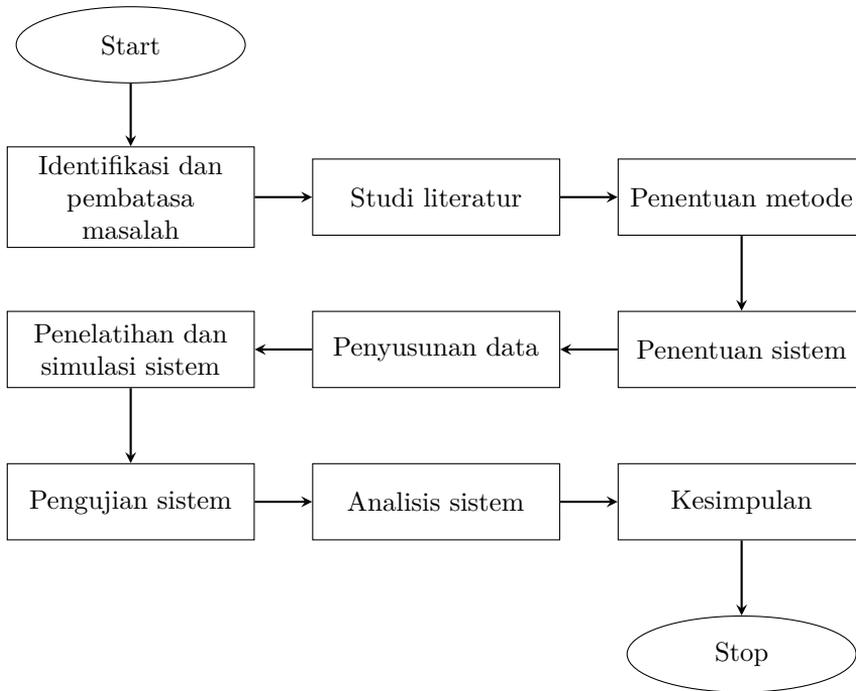
Dari perumusan masalah dan asumsi yang dibahas sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah mencari metode pelatihan model *machine learning* menggunakan *Convolution Neural Network* untuk klasifikasi kematangan TBKS.

## 1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan sistem pelatihan yang sesuai untuk membuat model *machine learning* menggunakan *Convolution Neural Network* untuk klasifikasi tingkat kematangan TBKS berdasarkan set data pada masing-masing perkebunan.
2. Menghasilkan penelitian yang membandingkan pengaruh variabel set data, *optimizer*, dan arsitektur pada kasus klasifikasi
3. Mengembangkan sistem klasifikasi tingkat kematangan TBKS konvensional secara digital.

## 1.6 Metodologi Tugas Akhir



**Gambar 1.2** Diagram Alir Metodologi Penelitian

Gambar 1.2 menggambarkan alur proses yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. **Identifikasi dan pembatasan masalah.** Identifikasi dilakukan untuk penentuan objektif dan fokus penelitian yang akan dilakukan yaitu mengenai *machine learning* untuk klasifikasi tingkat kematangan tanda buah kelapa sawit berdasarkan set data. Pembatasan masalah diperlukan untuk membatasi penelitian dalam mencari penyelesaian masalah sesuai dengan yang dibutuhkan.
2. **Studi literatur.** Studi literatur bertujuan untuk mempelajari parameter objek penelitian yaitu buah kelapa sawit. Hal ini dilakukan untuk mencari dan mempelajari metode-metode yang dapat dilakukan untuk keperluan sistem klasifikasi dan pembuatan model *machine learning*. Selain itu, mempelajari komponen-komponen yang dibutuhkan untuk setiap metode.
3. **Penentuan metode.** Metode yang dimaksud adalah metode penyusunan model *machine learning* berdasarkan informasi yang didapatkan melalui studi literatur. Setiap metode dibandingkan satu sama lain untuk mencari metode

yang sesuai dengan kebutuhan penelitian *machine learning* untuk sistem klasifikasi tingkat kematangna TBKS.

4. **Perancangan sistem.** Sistem dirancang berdasarkan metode serta komponen-komponen yang dipilih dengan memperhatikan struktur cara kerja sistem tersebut secara keseluruhan. Dalam hal ini dibahas mengenai rancangan sistem pengolahan citra serta sistem *machine learning* yang akan digunakan. Selain rancangan sistem, rencana pengujian sistem disusun terlebih dahulu sebelum masuk ke tahap selanjutnya.
5. **Penyusunan data.** Data merupakan gambar TBKS sebagai objek penelitian. Data dikumpulkan melalui pencarian set data yang sudah ada ataupun pengambilan gambar objek secara langsung di lokasi perkebunan kelapa sawit maupun di lokasi pabrik atau penampungan kelapa sawit.
6. **Pelatihan dan simulasi sistem.** Pelatihan dimulai dengan pengolahan sampel untuk keperluan pelatihan *machine learning* serta simulasi pengujian modelnya dengan rasio 60:20:20 menggunakan metode-metode yang telah dirancang sebelumnya.
7. **Pengujian sistem.** Sistem yang sudah dilakukan pengujian menggunakan set data yang sudah diverifikasi oleh ahli dan diambil dari lokasi perkebunan untuk melihat akurasi dari sistem yang dibuat. Hasil pengujian kemudian dibandingkan kembali dengan hasil dari simulasi.
8. **Analisis sistem.** Hasil simulasi dan pengujian sistem dianalisis untuk menilai performanya. Tingkat akurasi sebagai tolak ukur performa dan pengaruh variabel pelatihan terhadap akurasi.
9. **Kesimpulan.** Hasil analisis simulasi dan pengujian menjadi hasil dari penelitian ini. Hasil penelitian dibandingkan dengan rumusan masalah. Serta disusun saran dan masukan untuk pengembangan sistem juga dicantumkan di bagian ini.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Buku Tugas Akhir ini dibagi menjadi 5 bab, yakni sebagai berikut:

1. **Bab 1 Pendahuluan.** Dalam bab ini dijelaskan mengenai latar belakang masalah, identifikasi dan perumusan masalah, batasan masalah dan asumsi, tujuan Tugas Akhir, manfaat Tugas Akhir, metodologi Tugas Akhir serta sistematika penulisan Buku Tugas Akhir.
2. **Bab 2 Tinjauan Pustaka.** Bab ini berisi teori-teori yang berhubungan dengan pemecahan masalah dan dibutuhkan dalam pengolahan data serta analisis. Teori-teori dasar ini diperoleh melalui proses telaah pustaka yang intensif pada sejumlah pustaka yang direkomendasikan oleh dosen pembimbing,

seperti: teori tentang parameter tingkat kematangan TBKS dan teori tentang metode *machine learning*.

3. **Bab 3 Perancangan Sistem.** Pada bab ini akan dipaparkan mengenai spesifikasi sistem, cara kerja sistem serta rincian desain sistem terutama untuk sistem pelatihan model *machine learning*. Selain itu, dijelaskan juga mengenai rancangan penentuan variabel pelatihan, rancangan pengolahan data, rancangan tahapan pelatihan, serta rencana pengujian model.
4. **Bab 4 Data dan Analisa.** Bab ini berisi data hasil pelatihan dan pengujian model dengan menggunakan berbagai variabel dan metode yang sudah ditentukan. Selain itu, analisa juga dibahas berdasarkan data yang didapatkan untuk membandingkan hasil berupa performa model untuk setiap variabel yang digunakan.
5. **Bab 5 Kesimpulan dan Saran.** Berdasarkan hasil analisa, bab yang kelima membahas kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah pada penelitian ini. Setelah itu, dibahas juga saran untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini.