

KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH KOPI ARABIKA LAMPUNG UTARA MENGGUNAKAN CONVOLUTION NEURAL NETWORK

INDAH PUTRI RAMADHAN



PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Kopi Arabika Lampung Utara Menggunakan *Convolutional Neural Network*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Indah Putri Ramadhan
G6501222053

RINGKASAN

INDAH PUTRI RAMADHAN. Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Kopi Arabika Lampung Utara Menggunakan *Convolutional Neural Network*. Dibimbing oleh IMAS SUKAESIH SITANGGANG dan TOTO HARYANTO.

Provinsi Lampung memegang peranan krusial sebagai produsen kopi terbesar kedua di Indonesia, di mana varietas kopi Arabika menjadi salah satu komoditas bernilai ekonomi tinggi. Namun, penentuan tingkat kematangan buah kopi secara konvensional oleh petani masih mengandalkan pengamatan visual subjektif yang sangat rentan terhadap bias intensitas pencahayaan di lapangan serta faktor kelelahan fisik manusia. Keterbatasan indra penglihatan ini sering kali menyebabkan ketidakkonsistenan pemilihan waktu panen yang berdampak langsung pada penurunan kualitas biji kopi pascapanen. Sebagai solusi objektif, teknologi computer vision berbasis deep learning dieksplorasi dalam penelitian ini untuk menggantikan keterbatasan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model klasifikasi otomatis tingkat kematangan buah kopi Arabika menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN), sekaligus membandingkan secara komparatif performa akurasi antara dua arsitektur, yaitu VGG16 dan DenseNet201.

Dataset primer diperoleh dari 572 citra gugusan buah kopi dari Kabupaten Lampung Utara yang diklasifikasikan ke dalam lima tingkat kematangan, yaitu: mentah, setengah matang, matang, sangat matang, dan busuk. Tahapan prapemrosesan data melibatkan pemotongan citra (*cropping*) untuk mengisolasi dan memfokuskan objek utama, penyesuaian dimensi resolusi menjadi 224×224 piksel dengan format warna RGB, serta konversi citra ke dalam bentuk array numerik yang siap diproses. Guna mengatasi kendala ketidakseimbangan jumlah kelas (*class imbalance*) yang dapat menurunkan akurasi generalisasi model, diterapkan strategi penyeimbangan data melalui kombinasi *undersampling* pada kelas mayoritas dan *oversampling* menggunakan metode *Synthetic Minority Over-sampling Technique* (SMOTE) pada kelas minoritas. Pendekatan eksperimental ini berhasil menghasilkan dataset akhir yang seimbang secara ideal sebanyak 1.000 citra (200 citra per kelas). Keseluruhan data tersebut kemudian dibagi dengan rasio pembagian 80:10:10, yang dialokasikan menjadi 800 data latih, 100 data validasi, dan 100 data uji.

Proses pelatihan model diimplementasikan dengan memanfaatkan teknik pembelajaran *transfer learning*, untuk mengoptimalkan kapabilitas ekstraksi fitur visual berupa tekstur dan degradasi warna yang kompleks pada permukaan buah kopi. Berdasarkan hasil pengujian akhir pada data uji, arsitektur DenseNet201 menunjukkan performa dengan capaian nilai akurasi, presisi, recall, dan F1 score 0,91. Kinerja tersebut berhasil mengungguli arsitektur VGG16 yang memperoleh skor 0,88 pada seluruh metrik evaluasi yang diuji. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa implementasi pembelajaran mendalam melalui CNN. Sistem otomatis ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis yang signifikan bagi komunitas pertanian dalam mengotomatisasi standarisasi mutu hasil panen, meningkatkan efisiensi waktu kerja petani, serta meminimalisasi risiko kerugian materi akibat kesalahan klasifikasi manual.

Kata kunci: *convolutional neural network*, kematangan, klasifikasi, kopi.

SUMMARY

INDAH PUTRI RAMADHAN. Maturity Level Classification of North Lampung Arabica Coffee Cherries Using a Convolutional Neural Network. Supervised by IMAS SUKAESIH SITANGGANG of 1st SUPERVISOR 1st, TOTO HARYANTO of 2nd SUPERVISOR.

Lampung Province plays a crucial role as the second-largest coffee producer in Indonesia, where Arabica coffee is one of the high-value economic commodities. However, the conventional determination of coffee fruit ripeness by farmers still relies on subjective visual observation, which is highly susceptible to variations in field lighting conditions and human physical fatigue. These limitations of human vision often lead to inconsistencies in determining the optimal harvest time, directly affecting the quality of post-harvest coffee beans. As an objective solution, deep learning-based computer vision technology was explored in this study to overcome these limitations. This study aims to develop an automatic classification model for Arabica coffee fruit ripeness using the Convolutional Neural Network (CNN) method while comparatively evaluating the classification performance of two architectures, namely VGG16 and DenseNet201.

The primary dataset consisted of 572 images of Arabica coffee fruit clusters collected from North Lampung Regency and classified into five ripeness levels: unripe, semi-ripe, ripe, overripe, and rotten. The data preprocessing stage included image cropping to isolate and focus on the main object, resizing the images to a resolution of 224×224 pixels in RGB format, and converting them into numerical arrays suitable for model processing. To address the class imbalance problem that could reduce the model's generalization accuracy, a data balancing strategy was applied by combining undersampling for majority classes and oversampling using the Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) for minority classes. This experimental approach successfully produced a balanced final dataset of 1,000 images (200 images per class). The dataset was then divided using an 80:10:10 ratio into 800 training images, 100 validation images, and 100 testing images.

The model training process was implemented using the transfer learning technique to optimize the extraction of complex visual features, including texture and color degradation on the surface of coffee fruits. Based on the final evaluation using the testing dataset, the DenseNet201 architecture achieved an accuracy, precision, recall, and F1-score of 0.91. This performance outperformed the VGG16 architecture, which achieved a score of 0.88 across all evaluation metrics. Overall, this study demonstrates the effectiveness of implementing deep learning through CNN for Arabica coffee fruit ripeness classification. The proposed automated system is expected to provide significant practical contributions to the agricultural community by automating harvest quality standardization, improving farmers' work efficiency, and minimizing the risk of economic losses caused by manual classification errors.

Keywords: classification, coffee, convolutional neural network, ripeness



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH KOPI ARABIKA LAMPUNG UTARA MENGGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

INDAH PUTRI RAMADHAN

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Ilmu Komputer

**PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis:
Dr. Aziz Kustiyo, S.Si, M.Kom



Judul Proposal : Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Kopi Arabika
Lampung Utara Menggunakan *Convolutional Neural Network*
Nama : Indah Putri Ramadhan
NIM : G6501222053

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si, M.Kom

Pembimbing 2:

Dr. Toto Haryanto, S.Kom., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Toto Haryanto, S.Kom., M.Si.

NIP 198211172014041001

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika, dan
Informatika:

Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom.

NIP. 196607021993021001

Tanggal Ujian:
27 Juli 2026

Tanggal Pengesahan:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala karunia dan rahmat-Nya, sehingga karya ilmiah yang berjudul “Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Kopi Arabika Lampung Utara Menggunakan *Convolutional Neural Network*” ini dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian ini telah dilaksanakan sejak bulan Juli 2023 hingga Juli 2026. Penyelesaian karya ilmiah ini tentu tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah berjasa selama masa studi dan penelitian ini.

Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si., M.Kom. dan Dr. Toto Haryanto, S.Kom., M.Si. selaku dosen pembimbing, atas segala waktu, kesabaran, arahan, serta masukan yang sangat konstruktif sepanjang proses penyusunan tesis ini. Selanjutnya, ucapan terima kasih ditujukan kepada seluruh bapak dan ibu dosen program studi yang telah membagikan ilmu pengetahuannya selama masa perkuliahan, serta kepada seluruh staf dan tenaga kependidikan (tendik) yang telah banyak membantu memfasilitasi kelancaran urusan administrasi akademik penulis hingga tahap akhir.

Penulis turut menyampaikan penghargaan kepada Pihak Perkebunan Kopi Arabika atas dukungan fasilitas, izin, dan kolaborasi yang sangat baik selama proses pengambilan data di lapangan. Tidak lupa, ucapan terima kasih yang tak terhingga penulis persembahkan kepada Ayahanda Raden Atmaja dan Ibunda Handayana, serta seluruh keluarga tercinta atas curahan doa, kasih sayang, dan dukungan moral maupun material yang tiada henti. Terima kasih pula kepada seluruh rekan sejawat dan teman-teman satu angkatan yang senantiasa saling membantu, bertukar pikiran, serta memberikan semangat juang selama proses perkuliahan dan penyelesaian penelitian ini berlangsung.

Semoga segala bentuk kerja sama dan dukungan yang telah diberikan menjadi berkah dan mendapatkan balasan yang setimpal. Terima kasih atas perhatian dan bantuan yang telah diberikan. Penulis berharap karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan serta turut berkontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, 9 Agustus 2026

Indah Putri Ramadhan
G6501222053

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Buah Kopi	4
2.2 Standar Kematangan Kopi	4
2.3 Pengolahan Citra Digital (<i>Digital Image Processing</i>)	5
2.4 Klasifikasi Citra	5
2.5 <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN)	6
2.5.1 VGG (<i>Visual Geometry Group</i>)	8
2.5.2 DenseNet201	8
2.6 <i>Hyperparameter Tuning</i>	9
2.7 <i>Confusion Matrix</i>	9
2.8 Penelitian terkait	11
III METODE	16
3.1 Data Penelitian	16
3.2 Tahapan Penelitian	16
3.3 Pengumpulan Data Citra	17
3.4 Praproses Data Citra	17
3.5 Pembagian Dataset	17
3.6 Pembangunan Model Klasifikasi	18
3.7 <i>Hyperparameter Tuning</i>	19
3.8 Evaluasi Model	19
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Pengumpulan Data	21
4.2 Praproses Data	23
4.3 Penyeimbangan Data	23
4.4 Manajemen dan Penyimpanan Dataset	25
4.5 Pembagian Data	26
4.6 Pelatihan Model	27
4.6.1 Pelatihan Model dengan Arsitektur VGG16 dan Evaluasi	27
4.6.2 Pembangunan Model dengan Arsitektur DenseNet201 dan Evaluasi	31
4.7 Perbandingan Hasil dengan Penelitian Terdahulu	34
4.8 Penerapan Model pada Data Uji	35
V SIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Simpulan	41
5.2 Saran	41
RIWAYAT HIDUP	45



DAFTAR TABEL

1	Struktur lapisan pada <i>convolutional neural network</i>	7
2	<i>Confusion matrix</i>	10
3	Penelitian terkait penerapan cnn untuk klasifikasi kematangan buah	11
4	konfigurasi augmentasi data	18
5	Rincian struktur <i>hyperparameter</i>	18
6	Rincian <i>hyperparameter</i>	19
7	Distribusi jumlah citra	22
8	Distribusi jumlah citra sebelum dan sesudah penyeimbangan	24
9	Distribusi dataset per kelas setelah pembagian	27
10	Konfigurasi <i>hyperparameter</i> terbaik dan hasil evaluasi model VGG16	28
11	Evaluasi model VGG16	30
12	<i>Best hyperparameter</i> model Densenet201 dari hasil <i>tuning</i>	31
13	Evaluasi model klasifikasi menggunakan Densenet201	33

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR GAMBAR

1	Citra kelas buah kopi	4
2	<i>Convolutional neural network</i> (albawi <i>et al.</i> 2017).	6
3	Arsitektur VGG16 (younis <i>et al.</i> 2022)	7
4	Struktur Densenet201 (huang <i>et al.</i> 2017)	9
5	Lokasi perkebunan kopi lampung utara	16
6	Tahapan penelitian	17
7	Foto citra awal pohon kopi di lahan perkebunan kopi	21
8	Distribusi jumlah citra pada setiap kelas kematangan	22
9	Contoh citra pada masing-masing kelas kematangan buah kopi (a) mentah, (b) setengah matang, (c) matang, (d) sangat matang, dan (e) busuk.	23
10	Persebaran citra sesudah penyeimbangan	25
11	Hasil visualisasi lima kelas kematangan buah kopi	25
12	Distribusi citra perkelas setelah pembagian data	27
13	Akurasi dan loss pelatihan model VGG16	29
14	<i>Confusion matrix</i> hasil pengujian model VGG16	30
15	Akurasi dan <i>loss</i> pelatihan model Densenet201	33
16	<i>Confusion matrix</i> hasil pengujian model Densenet201	34
17	Data uji kelas busuk	35
18	Hasil prediksi data baru kelas busuk menggunakan (a) model VGG16, dan (b) menggunakan model Densenet201	36
19	Data uji kelas matang sekali	36
20	Hasil prediksi data baru kelas matang sekali menggunakan model : (a) VGG16, dan (b) Densenet201	37
21	data uji kelas matang	37
22	Hasil prediksi data baru kelas matang menggunakan model: (a) VGG16, dan (b) Densenet201	38
23	Data uji kelas setengah matang	38
24	Hasil prediksi data kelas setengah matang menggunakan model : (a) VGG16, dan (b) Densenet201	39
25	Data uji kelas mentah	39
26	Hasil prediksi data baru kelas mentah menggunakan model : (a) VGG16, dan (b) Densenet201	40
27	Prediksi menggunakan data uji	40