

KAJIAN KLASIFIKASI CITRA HAMA ULAT API KELAPA SAWIT MENGUNAKAN METODE *MACHINE LEARNING* DAN *DEEP LEARNING*

RHEYHAN FAHRY



**PROGRAM STUDI SARJANA STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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.

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Kajian Klasifikasi Citra Hama Ulat Api Kelapa Sawit Menggunakan Metode *Machine Learning* dan *Deep Learning*” 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 skripsi ini.

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

Bogor, Desember 2025

Rheyhan Fahry
G1401211030



ABSTRAK

RHEYHAN FAHRY. Kajian Klasifikasi Citra Hama Ulat Api Kelapa Sawit Menggunakan Metode *Machine Learning* dan *Deep Learning*. Dibimbing oleh SEPTIAN RAHARDIANTORO dan ANANG KURNIA.

Kelapa sawit merupakan komoditas penting di Indonesia, dengan salah satu tantangan utama berasal dari serangan hama ulat api. Identifikasi spesies hama menjadi tahapan penting dalam upaya pencegahan serangan tersebut, sehingga diperlukan metode yang efektif untuk mengenali spesies hama, khususnya ulat api. Penelitian ini menerapkan klasifikasi citra menggunakan 3 pendekatan, yakni *machine learning* dengan *Support Vector Machine* (SVM), *Histogram of oriented gradients* (HOG) sebagai teknik ekstraksi fitur pada SVM (HOG-SVM), dan *deep learning* dengan *Convolutional Neural Network* (CNN). Masing-masing pendekatan dioptimalkan melalui proses *hyperparameter tuning* menggunakan *Tree-structured Parzen Estimator* (TPE) dan *stratified k-fold crossvalidation*. Evaluasi kinerja model diukur menggunakan metrik *macro average F1-score* dan waktu prediksi per citra. Hasil penelitian menunjukkan CNN memberikan kinerja terbaik dengan *F1-score* 90% dan waktu prediksi 0,0105 detik. HOG-SVM memperoleh *F1-score* 69% dengan lama prediksi 0,0006 detik, sedangkan SVM mencapai 52% dengan waktu prediksi 0,0403 detik. Temuan ini mengindikasikan CNN unggul dalam menangani data citra dengan kompleksitas tinggi, sedangkan HOG-SVM dapat menjadi alternatif yang efisien pada kondisi keterbatasan sumber daya komputasi.

Kata kunci: CNN, HOG-SVM, *hyperparameter tuning*, klasifikasi citra, SVM.

ABSTRACT

RHEYHAN FAHRY. Image classification of oil palm caterpillars using machine learning and deep learning approaches. Supervised by SEPTIAN RAHARDIANTORO dan ANANG KURNIA.

Oil palm is an important commodity in Indonesia, with one of the main challenges being caterpillar pest attacks. Identifying pest species is a crucial step in preventing such attacks. Therefore, an effective method for species classification is required. This study applies image classification using three approaches: machine learning with Support Vector Machine (SVM), Histogram of Oriented Gradients as a feature extraction technique combined with SVM (HOG-SVM), and deep learning with Convolutional Neural Network (CNN). Each approach was optimized through hyperparameter tuning using Tree-structured Parzen Estimator (TPE) and validated using stratified k-fold cross-validation. Model performance was evaluated using the macro average F1-score and prediction time for a single image. The results show that CNN achieved the best performance with an F1-score of 90% and prediction time of 0.0105 seconds. HOG-SVM obtained an F1-score of 69% with a prediction time of 0.0006 seconds, while SVM only reached 52% with a prediction time of 0.0403 seconds. These findings indicate that CNN excels in handling image data, whereas HOG-SVM can serve as an efficient alternative under limited computational resources.

Keywords: CNN, HOG-SVM, hyperparameter tuning, image classification, SVM.



@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.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025¹
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.

KAJIAN KLASIFIKASI CITRA HAMA ULAT API KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE *MACHINE LEARNING* DAN *DEEP LEARNING*

RHEYHAN FAHRY

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Statistika dan Sains Data

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:
Gerry Alfa Dito, S.Si., M.Si



Judul Skripsi : Kajian Klasifikasi Citra Hama Ulat Api Kelapa Sawit
Menggunakan Metode *Machine Learning* dan *Deep Learning*

Nama : Rheyhan Fahry
NIM : G1401211030

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Septian Rahardianto S.Stat., M.Si.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Anang Kurnia S.Si., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi Statistika dan Sains Data:
Dr. Bagus Sartono, S.Si., M.Si
NIP 197804112005011002

Tanggal Ujian:
Selasa, 25 November 2025

Tanggal Lulus:
-

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Mei 2025 sampai bulan Desember 2025 ini ialah penerapan klasifikasi citra pada industri kelapa sawit, dengan judul “Kajian Klasifikasi Citra Hama Ulat Api Kelapa Sawit Menggunakan Metode *Machine Learning* dan *Deep Learning*”.

Penulisan karya ilmiah ini tidak luput atas bantuan dan dukungan berbagai pihak sehingga karya ilmiah ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Choirul Anwar dan Ibu Cucu Indah selaku orang tua yang telah memberi restu, doa, dukungan, serta saran dan arahan pada penempuhan studi dan penyelesaian karya ilmiah ini;
2. Bapak Dr. Septian Rahardianto S.Stat., M.Si. dan Bapak Prof. Dr. Anang Kurnia S.Si., M.Si. Selaku komisi pembimbing yang telah membantu, membimbing, mengarahkan, dan mendukung selama penyusunan karya ilmiah ini;
3. Bapak Gerry Alfa Dito, S.Si., M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyelesaian karya ilmiah ini;
4. seluruh dosen dan staf Prodi Statistika dan Sains Data SSMI IPB yang telah membantu penulis selama perkuliahan sehingga dapat menyelesaikan pendidikan dan administrasi sampai lulus;
5. Kak Fitri Karlinda dan Kak Ethaliani Karlinda selaku saudara kandung penulis yang kerap memberikan doa dan dukungannya;
6. Jono, Rafli, Ubed, Mahesa, Abin, Doni, Pratama, Rakbar, Angga, Hakim, Jojo, & Farik serta seluruh teman-teman Statistika 58 yang telah meluangkan waktu dengan penulis selama menempuh studi; dan
7. seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu dan telah memberikan kontribusi dan kebaikan mereka sehingga penulis berhasil menyelesaikan karya ilmiah ini.

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini masih memiliki banyak kekurangan. Penulis berharap karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Desember 2025

Rheyhan Fahry

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Ruang Lingkup	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Machine Learning</i>	3
2.2 <i>Support Vector Machine</i>	3
2.3 <i>Histogram of Oriented Gradient</i>	7
2.4 HOG-SVM	9
2.5 <i>Deep Learning</i>	9
2.6 <i>Convolutional Neural Network</i>	13
2.7 <i>Tree-structured Parzen Estimator</i>	15
2.8 <i>Stratified K-Fold Cross Validation</i>	16
2.9 Metrik Evaluasi	17
2.10 Uji Non-Parametrik	18
2.11 <i>Hyperparameter Importance</i>	20
III METODE	21
3.1 Data	21
3.2 Prosedur Kerja	21
3.3 Lingkungan Pengembangan	31
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Praproses Data	32
4.2 Pembagian Data Uji	32
4.3 <i>Hyperparameter Tuning</i>	33
4.4 Evaluasi Model Optimal	46
V SIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Simpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	54
RIWAYAT HIDUP	81

DAFTAR TABEL

1	Ilustrasi pencarian nilai d pada <i>Spearman</i>	19
2	Interpretasi nilai koefisien korelasi (Napitupulu <i>et al.</i> 2018)	19
3	Nilai <i>hyperparameter</i> SVM	26
4	Nilai <i>hyperparameter</i> HOG-SVM	26
5	Nilai <i>hyperparameter</i> CNN	27
6	Banyak citra per kelas setelah tahapan praproses	32
7	Banyak citra per kelas pada data 1 dan data 2	32
8	Set <i>hyperparameter</i> optimal pada metode SVM	33
9	<i>Kruskal–Wallis</i> dan <i>Dunn</i> pada jenis <i>kernel</i> SVM terhadap <i>F1-score</i>	34
10	Ringkasan hasil uji masing-masing <i>hyperparameter</i> terhadap nilai <i>F1-score</i> pada setiap <i>kernel</i> SVM	35
11	Set <i>hyperparameter</i> optimal pada metode HOG-SVM	37
12	Hasil uji <i>Kruskal–Wallis</i> dan <i>Dunn</i> pada jenis <i>kernel</i> HOG-SVM terhadap nilai <i>F1-score</i>	38
13	Ringkasan hasil uji masing-masing <i>hyperparameter</i> terhadap nilai <i>F1-score</i> pada setiap <i>kernel</i> HOG-SVM	39
14	Set <i>hyperparameter</i> terbaik pada metode CNN	42
15	Hasil uji <i>Kruskal–Wallis</i> dan <i>Dunn</i> pada jenis <i>optimizer</i> CNN terhadap nilai <i>F1-score</i>	43
16	Ringkasan hasil uji masing-masing <i>hyperparameter</i> terhadap nilai <i>F1-score</i> pada setiap <i>optimizer</i> CNN	44
17	Metrik evaluasi pada setiap model optimal	46

DAFTAR GAMBAR

1	Ilustrasi proses <i>machine learning</i> (Huang <i>et al.</i> 2022)	3
2	Penentuan <i>hyperplane</i> untuk memaksimalkan margin (Kecman 2005)	4
3	<i>Hyperplane</i> dan margin optimal sebagai pemisah dua kelas (Kecman 2005)	4
4	Fungsi <i>kernel</i> memetakan data ke dimensi lebih tinggi (Yu <i>et al.</i> 2019)	6
5	Ilustrasi masing-masing batas keputusan yang dihasilkan oleh OVO pada <i>kernel</i> linier (Fleury <i>et al.</i> 2010)	7
6	Ilustrasi (a) citra asli (b) citra <i>grayscale</i> (c) citra hasil HOG	8
7	Ilustrasi proses <i>deep learning</i> (dimodifikasi dari Huang <i>et al.</i> 2022)	10
8	Ilustrasi arsitektur <i>deep learning</i> (Schmitt 2023)	10
9	Ilustrasi arsitektur CNN (Sutama <i>et al.</i> 2020)	14
10	Ilustrasi <i>output convolutional layer</i> (Elyasi dan Moghadam 2020)	14
11	Ilustrasi <i>output</i> (a) <i>max pooling</i> dan (b) <i>average pooling</i> pada <i>input</i> ukuran 4×4 (Yani <i>et al.</i> 2019)	14
12	Ilustrasi implementasi <i>stratified k-fold cross validation</i> (Duan 2023)	17
13	Contoh <i>tabel confusion matrix</i> ukuran 2×2	17
14	Ilustrasi pencarian R_i	19
15	Contoh data citra (a) <i>Darna trima</i> (b) <i>Setothosea asigna</i> (c) <i>Setora nitens</i> (d) <i>Parasa lepida</i>	21

16	Diagram alir penelitian	21
17	Ilustrasi pemotongan data citra deteksi objek	22
18	Proses <i>hyperparameter tuning</i>	23
19	Arsitektur CNN pada penelitian	28
20	Diagram alir evaluasi model optimal SVM	29
21	Diagram alir evaluasi model optimal HOG-SVM	30
22	Diagram alir evaluasi model optimal CNN	30
23	Contoh (a) citra asli dan (b) citra teraugmentasi	33
24	Besar kepentingan setiap <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada metode SVM	34
25	<i>Boxplot</i> perbandingan jenis <i>kernel</i> terhadap <i>F1-score</i> pada SVM	34
26	Besar kepentingan setiap <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada metode HOG-SVM	37
27	Perbandingan jenis <i>kernel</i> terhadap <i>F1-score</i> pada HOG-SVM	37
28	Besar kepentingan setiap <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada metode CNN	42
29	Perbandingan jenis <i>optimizer</i> terhadap <i>F1-score</i> pada CNN	43

DAFTAR LAMPIRAN

1	Distribusi dan hasil uji <i>Shapiro-Wilk</i> pada <i>F1-score</i> dalam proses <i>hyperparameter tuning</i>	55
2	Hasil <i>study Optuna</i> pada SVM	56
3	Besar kepentingan setiap <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada masing-masing <i>kernel</i> metode SVM	59
4	Plot beserta hasil uji statistik nilai <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada <i>kernel</i> linier metode SVM	60
5	Plot beserta hasil uji statistik nilai <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada <i>kernel</i> polinomial metode SVM	61
6	Plot beserta hasil uji statistik nilai <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada <i>kernel</i> RBF metode SVM	62
7	Hasil <i>study Optuna</i> pada HOG-SVM	63
8	Besar kepentingan setiap <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada masing-masing <i>kernel</i> metode HOG-SVM	66
9	Plot beserta hasil uji statistik nilai <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada <i>kernel</i> linier metode HOG-SVM	67
10	Plot beserta hasil uji statistik nilai <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada <i>kernel</i> polinomial metode HOG-SVM	69
11	Plot beserta hasil uji statistik nilai <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada <i>kernel</i> RBF metode HOG-SVM	71
12	Hasil <i>study Optuna</i> pada CNN	73
13	Besar kepentingan setiap <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada masing-masing <i>optimizer</i> metode CNN	76
14	Plot beserta hasil uji statistik nilai <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada <i>optimizer</i> RMSProp metode CNM	77
15	Plot beserta hasil uji statistik nilai <i>hyperparameter</i> terhadap <i>F1-score</i> pada <i>optimizer</i> Adam metode CNM	79