

TESIS

**EVALUASI STRATEGI FUSI FITUR DALAM KLASIFIKASI
CITRA MENGGUNAKAN HOG, GABOR FILTER DAN CNN-
MOBILENET**



Oleh

RIKI RIYANDI

NIM: 23206051030

**STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
PROGRAM MAGISTER FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA**

YOGYAKARTA

2025



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1508/Un.02/DST/PP.00.9/07/2025

Tugas Akhir dengan judul : "Evaluasi Strategi Fusi Fitur Dalam Kalsifikasi Citra Menggunakan HOG, Gabor Filter dan CNN"

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : RIKI RIYANDI, S.Pd.,
Nomor Induk Mahasiswa : 23206051030
Telah diujikan pada : Selasa, 15 Juli 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A/B

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Dr. Ir. Sumarsono, S.T., M.Kom.
SIGNED

Valid ID: 68860d6d06092



Penguji I
Ir. Maria Ulfah Siregar, S.Kom., MIT., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 687df5b2354eb



Penguji II
Siti Mutmainah, S.Kom., M.Cs., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 688a295278b79



Yogyakarta, 15 Juli 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 688ada018d603

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Riki Riyandi

NIM : 23206051030

Jenjang : Magister

Program Studi : Informatika

menyatakan bahwa naskah tesis ini secara keseluruhan adalah hasil penelitian/
karya saya sendiri, kecuali pada bagian-bagian yang dirujuk sumbernya.

Yogyakarta, 15 Juli 2025

Saya yang menyatakan,



Riki Riyandi

NIM: 23206051030

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Riki Riyandi

NIM : 23206051030

Jenjang : Magister

Program Studi : Informatika

menyatakan bahwa naskah tesis ini secara keseluruhan benar-benar bebas dari plagiasi. Jika di kemudian hari terbukti melakukan plagiasi, maka saya siap ditindak sesuai ketentuan hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 15 Juli 2025

Saya yang menyatakan,


STATE UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
Riki Riyandi
NIM: 23206051030

NOTA DINAS PEMBIMBING

Kepada Yth.,

Dekan Fakultas Sains dan
Teknologi

UIN Sunan Kalijaga

Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr. wb.

Setelah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi terhadap penulisan tesis yang berjudul:

EVALUASI STRATEGI FUSI FITUR DALAM KLASIFIKASI CITRA MENGUNAKAN HOG, GABOR FILTER DAN CNN-MOBILENET

Yang ditulis oleh:

Nama : Riki Riyandi

NIM : 23206051030

Jenjang : Magister

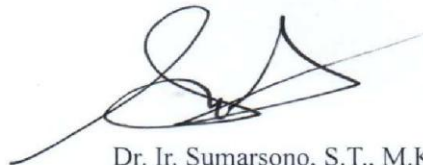
Program Studi : Informatika

Saya berpendapat bahwa tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Magister Informatika UIN Sunan Kalijaga untuk diujikan dalam rangka memperoleh gelar Magister Informatika.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 15 Juli 2025

Pembimbing,



Dr. Ir. Sumarsono, S.T., M.Kom.

NIP. 19710209 2005011 003

ABSTRAK

Klasifikasi citra daun herbal menghadirkan tantangan substansial akibat keragaman tekstur dan morfologi yang tinggi. Keberhasilan klasifikasi sangat bergantung pada representasi fitur yang mampu menangkap informasi diskriminatif secara efisien. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas strategi fusi fitur yang menggabungkan pendekatan hand-crafted (Histogram of Oriented Gradients/HOG dan Gabor Filter) dengan fitur deep-learned dari CNN-MobileNet. Fokus diarahkan pada pengujian apakah penggabungan fitur heterogen tersebut dapat meningkatkan akurasi klasifikasi atau justru memperburuk performa akibat redundansi dan ketidaksesuaian statistik.

Dataset yang digunakan terdiri atas 1.000 citra grayscale dari sepuluh kelas daun herbal. Fitur yang dihasilkan dari ketiga metode dievaluasi secara individual dan dalam tiga konfigurasi fusi. Vektor fitur diuji menggunakan tiga algoritma klasifikasi: Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN), dan Random Forest (RF). Evaluasi kinerja dilakukan melalui akurasi, presisi, recall, F1-score, AUC, dan analisis visual melalui confusion matrix dan kurva ROC. Analisis tambahan dilakukan untuk menelaah pengaruh Curse of Dimensionality terhadap hasil klasifikasi.

Hasil menunjukkan bahwa fitur CNN-MobileNet dengan klasifikator SVM menghasilkan akurasi tertinggi (91,0%) dan stabil. Sebaliknya, strategi fusi fitur terbukti tidak efektif. Kombinasi HOG berdimensi tinggi (34.596) dengan CNN-MobileNet (1.280) menurunkan akurasi SVM secara drastis menjadi 57,5%. Fenomena ini mengindikasikan bahwa penambahan dimensi tanpa regularisasi justru memperbesar risiko overfitting, meningkatkan sparsity, dan menurunkan kemampuan generalisasi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa dalam konteks klasifikasi citra kompleks, pendekatan berbasis deep learning terfokus lebih unggul dibanding fusi fitur tanpa kontrol struktural.

Kata Kunci: Klasifikasi Citra, Fusi Fitur, Convolutional Neural Network (CNN-MOBILENET), Histogram of Oriented Gradients (HOG), Curse of Dimensionality, Daun Herbal, Support Vector Machine (SVM).

MOTTO

“Jadilah orang baik, yang berbuat baik, dan menyeru pada kebaikan”

“Ilmu adalah kehidupan bagi pikiran”



HALAMA PERSEMBAHAN

*Tesis ini saya persembahkan kepada
Almamater tercinta UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta*

*Dua Cahaya yang Takkan Pernah Padam,
Almarhum Ayahanda dan Almarhumah Ibunda*

Meski raga tak lagi dapat kurangkul dan restu tak lagi terucap langsung, namun setiap ajaran, teladan, dan kasih sayang Ayah dan Ibu adalah fondasi terkuat dalam setiap langkahku. Perjuangan menyelesaikan karya ini adalah caraku untuk membuat kalian tersenyum.

Inilah persembahan baktiku, sebuah rindu yang terwujud, dan harapan agar Ayah dan Ibu bangga di tempat terindah di sisi-Nya. Semoga setiap huruf yang tertulis di sini menjadi aliran pahala yang tak terputus untuk kalian.

Al-Fatihah...

*Dermaga Hatiku, Ulfah Anwar Zen,
Terima kasih telah menjadi rumah ternyaman untuk pulang, sauh terkuat di tengah badai, dan kompas yang selalu menunjuk pada kebaikan.*

*Untuk Buah Hatiku, Muhammad Fakhri Alfarizqi,
Semoga jejak kecil Ayah ini menjadi inspirasi bagi langkah besarmu kelak.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rasa syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan Karunia dan Rahmat-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tesis yang berjudul “EVALUASI STRATEGI FUSI FITUR DALAM KLASIFIKASI CITRA MENGGUNAKAN HOG, GABOR FILTER DAN CNN-MOBILENET”.

Tujuan penulisan tesis ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat dalam menempuh ujian Magister Program Studi Informatika Program Magister Fakultas Sains Dan Teknologi Uin Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Dalam penyusunan tesis ini, penulis sangat bersyukur dan berterima kasih banyak atas bantuan baik moril maupun materiil. Oleh karena itu dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya disertai penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

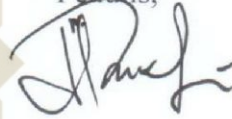
1. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
2. Ibu Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
3. Bapak Dr. Ir. Sumarsono, S.T., M.Kom. selaku Ketua Program Studi Magister Informatika sekaligus pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dengan penuh kesabaran
4. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Magister Informatika

Semoga segala motivasi, bantuan serta dorongan yang diberikan kepada penulis dari berbagai pihak, mendapat balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT.

Akhirul kata semoga tesis ini bermanfaat khususnya bagi penulis, umumnya bagi kita semua. Aamiin.

Yogyakarta, 15 Juli
2025

Penulis,



Riki Riyandi



DAFTAR ISI

JUDUL	i
PEGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERSETUJUAN TIM PENGUJI UJIAN TESIS	Error! Bookmark not defined.
NOTA DINAS PEMBIMBING	v
ABSTRAK	vi
MOTTO	vii
HALAMA PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah	4
D. Hipotesis	5

E. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	8
A. Kajian Pustaka	8
1. Ekstraksi Fitur Tradisional	8
2. Revolusi Deep Learning	8
3. Strategi Fusi Fitur	9
B. Landasan Teori.....	10
1. Histogram of Oriented Gradients (HOG)	10
2. Gabor Filter	12
3. Convolutional Neural Network (CNN-MobileNet).....	12
4. Pertimbangan Teoritis.....	13
5. Metrik Evaluasi Kinerja.....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
A. Desain Penelitian	16
B. Data dan Sumber Data	16
C. Metode Pengumpulan Data	17
D. Kerangka Penelitian.....	18
E. Prosedur Penelitian	21
F. Metode Analisis Data	24
G. Perangkat Penelitian	26
H. Validasi Model.....	27

BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	29
A.	Deskripsi Dataset dan Alur Penelitian	29
B.	Ekstraksi Fitur	33
1.	Pemodelan Matematika Ekstraksi Fitur.....	34
2.	Fitur Histogram of Oriented Gradients (HOG)	40
3.	Fitur Gabor Filter.....	40
4.	Fitur Convolutional Neural Network (CNN) menggunakan MobileNetV2	41
C.	Penggabungan Fitur dan Strategi Eksperimen	42
1.	Hasil Eksperimen Klasifikasi	45
2.	Kinerja Model dengan Fitur Tunggal (HOG, Gabor, CNN-MobileNet)	45
3.	Kinerja Model dengan Kombinasi Fitur.....	47
4.	Ringkasan Hasil Evaluasi Keseluruhan.....	49
D.	Analisis Kinerja Model dalam Konteks Pemodelan Matematika Fitur.....	51
1.	Superioritas Fitur CNN-MobileNet Dibandingkan Metode Tradisional	52
2.	Analisis Kegagalan Fusi Fitur: Studi Kasus "Curse of Dimensionality"	53
E.	Visualisasi Fitur	56
1.	Confusion Matrix untuk Model Terbaik (SVM + CNN-MobileNet)	57

2. Confusion Matrix (HOG+Gabor, SVM).....	58
3. Kurva ROC (OvR) untuk Model Terbaik (SVM + CNN-MobileNet)	59
4. ROC Curve Macro-Average (HOG+Gabor, SVM)	59
F. Implikasi dan Aplikasi Praktis Penelitian.....	60
G. Keterbatasan Penelitian	61
H. Saran untuk Penelitian Selanjutnya	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
A. Kesimpulan.....	65
B. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	69



DAFTAR TABEL

No.	Tabel	Halaman
4.1	Distribusi Citra Dataset Tanaman Herbal per Kelas	30
4.2	Ringkasan Properti Matematis dan Dimensi Output Ekstraktor Fitur	39
4.3	Dimensi Fitur Hasil Ekstraksi dan Kombinasi (Setelah Normalisasi)	43
4.4	Ringkasan Hasil Evaluasi Kinerja Model Klasifikasi pada Dataset Uji	49



DAFTAR GAMBAR

- Gambar 3.1 Kerangka Penelitian, 20.
- Gambar 4.1 Struktur Dataset Citra Daun Herbal, 29.
- Gambar 4.2 Proses Penelitian Klasifikasi Daun Herbal, 31,
- Gambar 4.3 Contoh Citra Sebelum dan Sesudah Pra-pemrosesan, 32.
- Gambar 4.4 Perbandingan Akurasi, 44.
- Gambar 4.5 Confusion Matrix untuk Model Terbaik (SVM + CNN-MobileNet), 57.
- Gambar 4.6 Confusion Matrix (HOG+Gabor, SVM), 58.
- Gambar 4.7 Kurva ROC (OvR) untuk Model Terbaik (SVM + CNN-MobileNet), 59.
- Gambar 4.8 ROC Curve Macro-Average (HOG+Gabor, SVM), 59.



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Dokumentasi Dataset, 75
- Lampiran 2 Rangkaian Kode Program, 78
- Lampiran 3 Ringkasan Dimensi dan Statistik Fitur, 83
- Lampiran 4 Hasil Eksperimen Detail, 86
- Lampiran 5 Validasi Model dan Grid Search, 95
- Lampiran 6 Dokumentasi Visualisasi, 97
- Lampiran 7 Dokumentasi Lingkungan Pemrograman, 101
- Lampiran 8 Daftar Riwayat Hidup, 102



DAFTAR SINGKATAN

HOG	: <i>Histogram of Oriented Gradients</i>
SVM	: <i>Support Vector Machine</i>
KNN	: <i>K-Nearest Neighbors</i>
RF	: <i>Random Forest</i>
CNN	: <i>Convolutional Neural Network</i>
SVM	: <i>Support Vector Machine</i>
AUC	: <i>Area Under Curve</i>
TP	: <i>True Positive</i>
TN	: <i>True Negative</i>
FP	: <i>False Positive</i>
FN	: <i>False Negative</i>
ROC	: <i>Receiver Operating Characteristic</i>
L2-Hys	: <i>L2 Normalization, Histogram Equalization</i>
K-Fold	: <i>K-Fold Cross Validation</i>
GridSearchCV	: <i>Grid Search with Cross Validation</i>
AI	: <i>Artificial Intelligence</i>
CV	: <i>Computer Vision</i>
ML	: <i>Machine Learning</i>
Gabor	: <i>Gabor Filter</i>
GPU	: <i>Graphics Processing Unit</i>
RAM	: <i>Random Access Memory</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Klasifikasi daun tanaman herbal bukan hanya relevan secara akademik, tetapi juga memiliki implikasi praktis dalam bidang botani terapan, farmasi tradisional, dan pertanian berbasis data. Daun tanaman sering kali menjadi indikator utama dalam identifikasi spesies dan diagnosis kondisi fisiologis tanaman, terutama dalam ekosistem tropis yang kaya biodiversitas. Dalam praktiknya, sistem klasifikasi berbasis citra dapat digunakan untuk membantu petani dan ahli botani dalam proses identifikasi tanaman secara cepat dan akurat, serta sebagai alat pendukung dalam pemantauan kualitas dan deteksi penyakit tanaman secara otomatis (Nazila dkk., 2023).

Ekstraksi fitur merupakan salah satu tahap kritis dalam sistem klasifikasi citra yang bertujuan untuk mengubah data citra mentah menjadi representasi numerik yang dapat diproses oleh algoritma klasifikasi. Tahapan ini sangat menentukan keberhasilan sistem secara keseluruhan, terutama ketika objek yang diklasifikasikan memiliki kompleksitas visual yang tinggi. Di ranah tersebut, pendekatan berbasis teknik klasik seperti Histogram of Oriented Gradients (HOG) dan Gabor Filter telah banyak diterapkan dan terbukti mampu menangkap karakteristik visual penting dari sebuah citra. HOG dikenal karena kemampuannya dalam merepresentasikan informasi bentuk dan kontur dengan cara menganalisis pola distribusi orientasi gradien lokal dalam suatu citra (Yohannes dkk., 2023). Di sisi lain, Gabor Filter unggul dalam pengenalan tekstur karena memanfaatkan analisis frekuensi dan orientasi lokal (Prasetyo dkk., 2023).

Studi-studi sebelumnya mengonfirmasi bahwa penggabungan fitur dari dua pendekatan ini dapat menghasilkan representasi yang lebih lengkap dan diskriminatif (Dwi Putro & Tantyoko, 2023; Hidayat & Putra, 2019; Prasvita dkk., 2021).

Seiring berkembangnya teknologi komputasi dan meningkatnya ketersediaan dataset citra dalam skala besar, metode berbasis deep learning mulai mendominasi dalam berbagai aplikasi pengolahan citra digital. Convolutional Neural Network (CNN) merupakan salah satu arsitektur yang paling banyak digunakan karena kemampuannya dalam mengekstraksi dan mempelajari fitur visual secara otomatis dari data mentah, tanpa perlu desain fitur manual (Arrank Tonapa dkk., 2024; Miranda & Aryuni, 2021; Prastyo dkk., 2023). CNN-MobileNet bekerja secara hierarkis, di mana lapisan awal mengenali fitur dasar seperti tepi dan tekstur, dan lapisan lebih dalam mengabstraksikan fitur semantik yang lebih kompleks.

Kekuatan CNN-MobileNet dalam belajar secara end-to-end mendorong munculnya pendekatan baru yang dikenal dengan strategi fusi fitur, yaitu penggabungan antara fitur hand-crafted seperti HOG dan Gabor dengan fitur deep-learned dari CNN-MobileNet. Tujuannya adalah menciptakan representasi fitur yang lebih kaya dan adaptif terhadap variasi data (Fuad & Suciati, 2018). Strategi hibrida ini mampu meningkatkan ketangguhan model terhadap distorsi citra, noise latar belakang, maupun kondisi pencahayaan yang tidak seragam (Cai dkk., 2022; Cao dkk., 2023; S. Anami & (Corresponding Author), 2023).

Namun demikian, penerapan fusi fitur tidak terlepas dari tantangan teknis. Salah satu persoalan utama adalah fenomena "Curse of

Dimensionality" (CoD) yang muncul ketika jumlah dimensi fitur jauh melebihi jumlah sampel latih (Ramirez dkk., 2021). Hal ini sering terjadi ketika fitur HOG digunakan karena vektor hasil ekstraksinya memiliki dimensi yang sangat besar. Jika fitur berdimensi tinggi ini digabungkan secara naif dengan fitur lain seperti CNN-MobileNet, dapat terjadi ledakan dimensi yang menyebabkan algoritma kesulitan dalam membedakan fitur yang relevan dari noise (Wang & Zhang, 2023).

Mengingat tantangan ini, penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi efektivitas strategi fusi fitur dalam klasifikasi daun herbal. Fokus diarahkan pada perbandingan performa fitur HOG, Gabor, dan CNN-MobileNet, baik secara individual maupun dalam konfigurasi gabungan. Penelitian ini juga menelusuri interaksi antar fitur yang memiliki skala dimensi berbeda dan bagaimana hal tersebut memengaruhi generalisasi model. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan panduan ilmiah mengenai efektivitas, keterbatasan, serta potensi jebakan dari strategi fusi fitur, sembari menekankan pentingnya kualitas fitur dibandingkan kuantitasnya (Xue dkk., 2020; Yu dkk., 2025; Zhou dkk., 2024).

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan performa metode ekstraksi fitur tradisional (HOG, Gabor) dengan pendekatan berbasis deep learning (CNN-MobileNet) dalam konteks klasifikasi citra daun herbal?
2. Apakah penerapan strategi fusi fitur antara HOG, Gabor, dan CNN-MobileNet mampu memberikan peningkatan akurasi klasifikasi

secara signifikan dibandingkan penggunaan masing-masing fitur secara mandiri?

3. Bagaimana dampak fenomena Curse of Dimensionality terhadap performa klasifikasi ketika fitur HOG yang berdimensi tinggi digabungkan dengan fitur lain?
4. Dari ketiga algoritma klasifikasi yang digunakan (SVM, KNN, dan RF), manakah yang memberikan kinerja paling optimal untuk masing-masing skenario kombinasi fitur?

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini memiliki fokus yang jelas dan ruang lingkup yang terkendali, maka ditetapkan beberapa batasan sebagai berikut:

1. Dataset penelitian terdiri dari 1.000 citra grayscale yang terbagi ke dalam 10 kelas daun herbal, dengan latar belakang yang relatif seragam dan kondisi pencahayaan yang standar.
2. Jumlah citra yang digunakan untuk pelatihan model dibatasi pada 800 sampel. Hal ini dimaksudkan untuk menyoroti isu rasio jumlah sampel terhadap dimensi fitur (rasio n/d), yang berkaitan erat dengan fenomena Curse of Dimensionality dan Fenomena Hughes.
3. Penelitian ini hanya memanfaatkan tiga jenis metode ekstraksi fitur: HOG, Gabor Filter, dan CNN-MobileNet pra-latih berbasis arsitektur MobileNetV2.
4. Algoritma klasifikasi yang digunakan dibatasi pada tiga pendekatan populer: Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN), dan Random Forest (RF).
5. Semua citra diproses dalam format grayscale sehingga informasi berbasis warna tidak digunakan dalam proses ekstraksi maupun klasifikasi.

D. Hipotesis

Hipotesis yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fitur yang diekstraksi menggunakan model CNN-MobileNet cenderung menghasilkan akurasi klasifikasi yang lebih tinggi dibandingkan fitur hasil ekstraksi HOG dan Gabor karena kemampuannya dalam menyusun representasi kompleks secara otomatis.
2. Strategi fusi fitur antara HOG, Gabor, dan CNN-MobileNet diasumsikan dapat meningkatkan akurasi klasifikasi dengan memperkaya representasi fitur yang digunakan. Namun, ketika fusi dilakukan tanpa pertimbangan dimensi dan regularisasi, khususnya pada fitur HOG, maka akurasi model berpotensi menurun akibat Curse of Dimensionality.
3. Di antara ketiga algoritma klasifikasi yang diuji, SVM diprediksi akan memberikan performa terbaik apabila dipasangkan dengan fitur yang bersifat padat, relevan, dan rendah redundansi.
4. Model klasifikasi berbasis fusi fitur yang mengintegrasikan HOG, Gabor, dan CNN-MobileNet berpotensi meningkatkan risiko overfitting jika tidak disertai dengan teknik regularisasi atau reduksi dimensi yang tepat. Oleh karena itu, perlu diuji apakah kompleksitas model berdampak pada generalisasi hasil klasifikasi.

E. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan Penelitian:

1. Mengevaluasi secara kuantitatif efektivitas metode ekstraksi fitur HOG, Gabor, dan CNN-MobileNet dalam tugas klasifikasi citra daun herbal.
2. Menganalisis dampak dari strategi fusi fitur terhadap kinerja klasifikasi serta mengidentifikasi penyebab peningkatan atau penurunan performa model.
3. Mengidentifikasi kombinasi metode ekstraksi dan algoritma klasifikasi yang memberikan hasil terbaik dalam hal akurasi, efisiensi, dan stabilitas model.

Manfaat Penelitian:

1. Memberikan kontribusi empiris yang dapat dijadikan acuan dalam pemilihan strategi ekstraksi fitur pada tugas klasifikasi citra dengan kompleksitas tinggi.
2. Menawarkan wawasan teoretis dan praktis mengenai tantangan yang dihadapi dalam strategi fusi fitur, termasuk bagaimana mengatasi isu Curse of Dimensionality melalui pendekatan desain fitur yang lebih cerdas.
3. Menghasilkan model klasifikasi daun herbal yang akurat dan efisien, yang berpotensi untuk diadopsi dalam aplikasi nyata seperti sistem identifikasi tanaman berbasis citra.
4. Menyediakan referensi awal bagi penelitian selanjutnya yang tertarik mengembangkan pendekatan fusi fitur atau eksplorasi kombinasi arsitektur deep learning dan algoritma machine learning klasik.

5. Memberikan pijakan konseptual bagi pengembangan model Explainable AI (XAI), khususnya dalam konteks interpretasi kontribusi fitur dari berbagai sumber terhadap hasil klasifikasi citra daun, misalnya melalui visualisasi heatmap atau saliency map berbasis CNN-MobileNet. Pijakan untuk pengembangan Explainable AI (XAI) pada sistem klasifikasi citra.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan evaluasi komparatif yang dilakukan secara sistematis terhadap berbagai strategi ekstraksi dan fusi fitur untuk klasifikasi citra daun herbal, penelitian ini menghasilkan sejumlah kesimpulan fundamental yang memiliki relevansi konseptual dan praktis. Pertama, pendekatan berbasis deep learning, khususnya dengan menggunakan arsitektur CNN-MobileNet (Convolutional Neural Network), terbukti secara meyakinkan lebih unggul dibandingkan metode ekstraksi fitur tradisional. Fitur yang dihasilkan oleh MobileNetV2, ketika dipadukan dengan klasifikator Support Vector Machine (SVM), mampu mencapai akurasi puncak sebesar 91,0%. Capaian ini secara signifikan melampaui performa metode HOG yang hanya mampu mencapai akurasi maksimum sebesar 53,0%, sehingga mengukuhkan hipotesis pertama bahwa fitur berbasis CNN-MobileNet memberikan representasi yang lebih informatif dan diskriminatif.

Kedua, hipotesis awal yang menyatakan bahwa strategi fusi fitur akan meningkatkan akurasi secara keseluruhan justru terbantahkan secara empiris. Fusi fitur melalui pendekatan konkatenasi sederhana terbukti kontra-produktif, terutama ketika menggabungkan fitur-fitur dengan dimensi yang tidak seimbang. Penggabungan fitur HOG yang memiliki 34.596 dimensi dengan fitur CNN-MobileNet yang hanya 1.280 dimensi menyebabkan penurunan drastis dalam performa model, dengan akurasi SVM anjlok dari 91,0% menjadi hanya 57,5%. Fenomena ini merupakan manifestasi langsung dari Curse of Dimensionality, di mana fitur berdimensi sangat tinggi seperti HOG justru menambahkan noise dan informasi redundan, bukan sinyal komplementer. Akibatnya, kemampuan

generalisasi model menurun drastis, yang sekaligus membuktikan hipotesis kedua dan keempat dalam penelitian ini.

Ketiga, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa efektivitas suatu algoritma klasifikasi sangat bergantung pada karakteristik dan kualitas fitur yang digunakan. SVM tampil sebagai algoritma paling optimal ketika digunakan bersama dengan fitur CNN-MobileNet yang padat, relevan, dan diskriminatif. Di sisi lain, Random Forest menunjukkan ketahanan yang relatif lebih baik terhadap fitur berdimensi tinggi dan cenderung bernoise, seperti terlihat dari penurunan performanya yang tidak seburuk SVM dalam skenario fusi fitur. Temuan ini mendukung hipotesis ketiga bahwa kecocokan antara metode klasifikasi dan jenis fitur merupakan faktor determinan dalam pencapaian performa optimal.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan prinsip utama yang menjadi benang merah dari seluruh eksperimen: kualitas dan relevansi fitur jauh lebih menentukan dibandingkan kuantitas atau kompleksitas strukturnya. Untuk tugas klasifikasi citra yang kompleks dan variatif seperti identifikasi daun herbal, pendekatan deep learning yang terfokus dan efisien terbukti lebih efektif dan andal dibandingkan dengan strategi penggabungan fitur yang dilakukan secara naif tanpa mempertimbangkan aspek dimensionalitas dan redundansi informasi.

B. Saran

Berdasarkan kesimpulan dan keterbatasan yang telah diidentifikasi dalam penelitian ini, diajukan beberapa saran konstruktif untuk pengembangan di masa depan:

1. Memprioritaskan dan Memperdalam Pendekatan Deep Learning.
Mengingat superioritas absolut fitur CNN-MobileNet, penelitian

selanjutnya sebaiknya berfokus pada eksplorasi arsitektur yang lebih mutakhir (misalnya, EfficientNet, Vision Transformers) atau melatih model secara end-to-end jika tersedia dataset yang lebih besar dan beragam.

2. Mengintegrasikan Fitur Warna. Penelitian ini sengaja menggunakan citra grayscale untuk mengisolasi analisis pada bentuk dan tekstur. Untuk potensi peningkatan akurasi, disarankan untuk melakukan evaluasi komparatif dengan mempertahankan informasi warna asli (RGB) pada citra input, karena warna seringkali menjadi pembeda kunci dalam identifikasi spesies tanaman.
3. Mengeksplorasi Strategi Fusi Cerdas (Intelligent Fusion). Untuk mengatasi kegagalan konkatenasi sederhana yang terbukti dalam studi ini, penelitian di masa depan harus beralih ke metode fusi yang lebih canggih. Pendekatan seperti attention-based fusion (yang dapat memberi bobot pada fitur relevan) atau decision-level fusion (menggabungkan hasil prediksi dari model terpisah) perlu dieksplorasi untuk mengatasi dampak negatif dari Curse of Dimensionality.
4. Melakukan Pengujian pada Skenario Dunia Nyata. Disarankan untuk mengumpulkan dataset baru yang lebih menantang dengan variasi latar belakang yang kompleks, kondisi pencahayaan yang tidak seragam, dan potensi adanya oklusi. Pengujian pada data semacam ini akan secara akurat mengukur ketahanan (robustness) dan kemampuan generalisasi model di luar lingkungan laboratorium yang terkontrol.
5. Menerapkan Optimasi Hyperparameter yang Komprehensif. Kinerja yang dilaporkan dalam penelitian ini sebagian besar

menggunakan parameter default. Melakukan proses tuning hyperparameter yang sistematis (misalnya menggunakan GridSearchCV dengan cakupan luas atau Bayesian optimization) sangat direkomendasikan untuk menemukan konfigurasi model yang benar-benar optimal dan memaksimalkan potensi kinerjanya.

6. Implementasi Explainable AI (XAI) untuk Peningkatan Interpretasi. Untuk membuka "kotak hitam" pada model CNN-MobileNet, disarankan untuk menerapkan teknik XAI seperti Grad-CAM. Metode ini dapat memvisualisasikan bagian mana dari citra daun yang paling berpengaruh pada keputusan model, sehingga tidak hanya meningkatkan kepercayaan terhadap sistem tetapi juga berpotensi memberikan wawasan botani yang berharga.

DAFTAR PUSTAKA

- Althuniyan, N., Al-Shamasneh, A. R., Bawazir, A., Mohiuddin, Z., & Bawazir, S. (2024). DeepLeaf: Automated Leaf Classification Using Convolutional Neural Networks. *European Scientific Journal, ESJ*, 20(30), 22. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n30p22>
- Arrank Tonapa, W., D.K. Manembu, P., & D. Kambey, F. (2024). Klasifikasi Ikan Cakalang dan Tongkol Menggunakan Convolutional Neural Network. *Jurnal Teknik Informatika*, 19(01), 31–36. <https://doi.org/10.35793/jti.v19i01.52013>
- Cai, Z., Yang, J., Fang, H., Ji, T., Hu, Y., & Wang, X. (2022). Research on Waste Plastics Classification Method Based on Multi-Scale Feature Fusion. *Sensors*, 22(20), 7974. <https://doi.org/10.3390/s22207974>
- Cao, Y., Ma, H., Fan, Y., Liu, Y., Zhang, H., Cao, C., & Yu, H. (2023). A deep learning-based method for cervical transformation zone classification in colposcopy images. *Technology and Health Care*, 31(2), 527–538. <https://doi.org/10.3233/THC-220141>
- Chen, H. (2019). Plant Leaves Recognition Combined PCA With AdaBoost.M1. *Ijpe*. <https://doi.org/10.23940/ijpe.19.04.p7.11221130>
- Dalal, N., & Triggs, B. (t.t.). Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)*, 886–893. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2005.177>
- Dwi Putro, A., & Tantyoko, H. (2023). Hybrid Algoritma Vgg16-Net Dengan Support Vector Machine Untuk Klasifikasi Jenis Buah dan

- sayuran. *JTIM : Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, 5(2), 56–65. <https://doi.org/10.35746/jtim.v5i2.335>
- Dyrmann, M., Karstoft, H., & Midtiby, H. S. (2016). Plant species classification using deep convolutional neural network. *Biosystems Engineering*, 151, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.08.024>
- Fuad, M. N., & Suciati, N. (2018). KLASIFIKASI MULTILABEL MOTIF CITRA BATIK MENGGUNAKAN BOOSTED RANDOM FERNS. *JUTI: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 79–89. <https://doi.org/10.12962/j24068535.v16i1.a673>
- Hasan, Z. F. (2022). An Improved Facial Expression Recognition Method Using Combined Hog and Gabor Features. *Science Journal of University of Zakho*, 10(2), 54–59. <https://doi.org/10.25271/sjuoz.2022.10.2.897>
- He, X., Wang, G., Zhang, X.-P., Shang, L., & Huang, Z.-K. (2016). *Leaf Classification Utilizing a Convolutional Neural Network with a Structure of Single Connected Layer* (hlm. 332–340). https://doi.org/10.1007/978-3-319-42294-7_29
- Hidayat, B. M. H., & Putra, R. E. (2019). Penerapan CNN dengan Filter Gabor sebagai feature extractor untuk Content-Based Image Retrieval. *Journal of Informatics and Computer Science (JINACS)*, 1(01), 16–25. <https://doi.org/10.26740/jinacs.v1n01.p16-25>
- Hmood, A. K., Suen, C. Y., & Lam, L. (2018). An Enhanced Histogram of Oriented Gradient Descriptor for Numismatic Applications. *Pattern*

- Recognition and Image Analysis*, 28(4), 569–587.
<https://doi.org/10.1134/S1054661818040028>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Miranda, E., & Aryuni, M. (2021). Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Convolutional Neural Network pada Citra Satelit Sentinel-2. *SISTEMASI*, 10(2), 323.
<https://doi.org/10.32520/stmsi.v10i2.1226>
- Nazila, S. F., Arman, Y., Wahyuni, D., Nurhasanah, N., & Putra, Y. S. (2023). Deteksi Dini Serangan Hama Penyakit Pada Cabai Rawit Menggunakan Metode Image Recognition. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 9(2). <https://doi.org/10.28932/jutisi.v9i2.6342>
- Önler, E. (2023). Feature fusion based artificial neural network model for disease detection of bean leaves. *Electronic Research Archive*, 31(5), 2409–2427. <https://doi.org/10.3934/era.2023122>
- Ou, J., Bai, X.-B., Pei, Y., Ma, L., & Liu, W. (2010). Automatic Facial Expression Recognition Using Gabor Filter and Expression Analysis. *2010 Second International Conference on Computer Modeling and Simulation*, 215–218. <https://doi.org/10.1109/ICCMS.2010.45>
- Prasetyo, M. E., Faza, M. R., Pratama, R., Alhabsy, S. N. H., Purwanti, H., & Masa, A. P. A. (2023). Klasifikasi Ragam Kendaraan Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (Cnn). *Adopsi Teknologi dan Sistem Informasi (ATASI)*, 2(2), 142–148.
<https://doi.org/10.30872/atasi.v2i2.1156>

- Prastyo, B. A., Istiadi, I., & Rahman, A. Y. (2023). KLASIFIKASI PENYAKIT DAUN PADI MENGGUNAKAN SUPPORT VECTOR MACHINE MELALUI TEKSTUR DAN WARNA DAUN DENGAN HSV DAN GABOR FILTER. *Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH)*, 6(1), 567. <https://doi.org/10.31328/ciastech.v6i1.5348>
- Prasvita, D. S., Santoni, M. M., Wirawan, R., & Trihastuti, N. (2021). KLASIFIKASI POHON KELAPA SAWIT PADA DATA FUSI CITRA LIDAR DAN FOTO UDARA MENGGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK. *JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, 6(2), 406–415. <https://doi.org/10.29100/jipi.v6i2.2437>
- Quan, Y., Tong, Y., Feng, W., Dauphin, G., Huang, W., & Xing, M. (2020). A Novel Image Fusion Method of Multi-Spectral and SAR Images for Land Cover Classification. *Remote Sensing*, 12(22), 3801. <https://doi.org/10.3390/rs12223801>
- Ramirez, J., Vargas, H., Martinez, J. I., & Arguello, H. (2021). Subspace-Based Feature Fusion from Hyperspectral and Multispectral Images for Land Cover Classification. *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 3003–3006. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9554465>
- S. Anami, B., & (Corresponding Author), C. V. S. (2023). A FUSION OF HAND-CRAFTED FEATURES AND DEEP NEURAL NETWORK FOR INDOOR SCENE CLASSIFICATION. *Malaysian Journal of Computer Science*, 36(2), 193–207. <https://doi.org/10.22452/mjcs.vol36no2.5>

- Sarwar, S. S., Panda, P., & Roy, K. (2017). Gabor filter assisted energy efficient fast learning Convolutional Neural Networks. *2017 IEEE/ACM International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISLPED.2017.8009202>
- Sharma, N., Tanwar, P., Garg, N., & Priyadarshi, S. (2024). Leveraging Deep Learning for Medicinal Plant Identification. *2024 2nd International Conference on Advances in Computation, Communication and Information Technology (ICAICCIT)*, 1003–1008. <https://doi.org/10.1109/ICAICCIT64383.2024.10912420>
- Shi, C., Dang, Y., Fang, L., Lv, Z., & Shen, H. (2021). Attention-Guided Multispectral and Panchromatic Image Classification. *Remote Sensing*, 13(23), 4823. <https://doi.org/10.3390/rs13234823>
- Sobuj, Md. S. I., Hossen, Md. I., Mahmud, Md. F., & Khan, M. U. I. (2024). *Leveraging Pre-trained CNNs for Efficient Feature Extraction in Rice Leaf Disease Classification.*
- Verleysen, M., & François, D. (2005). *The Curse of Dimensionality in Data Mining and Time Series Prediction* (hlm. 758–770). https://doi.org/10.1007/11494669_93
- Wang, Y., & Zhang, C.-J. (2023). Intensity classification for tropical cyclone using feature fusion of infrared satellite image. Dalam S. Zhuang & J. Chu (Ed.), *Conference on Infrared, Millimeter, Terahertz Waves and Applications (IMT2022)* (hlm. 64). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2662183>

- Wu, P., & Qian, Z. (2021). Leaf Classification Based on Convolutional Neural Network. *Journal of Physics: Conference Series*, 1820(1), 012161. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1820/1/012161>
- Xue, W., Dai, X., & Liu, L. (2020). Remote Sensing Scene Classification Based on Multi-Structure Deep Features Fusion. *IEEE Access*, 8, 28746–28755. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2968771>
- Yohannes, Y., Al Rivan, M. E., Devella, S., & Meiriyama, M. (2023). Klasifikasi Motif Songket Palembang menggunakan Support Vector Machine berdasarkan Histogram of Oriented Gradients. *Jurnal Teknologi Terpadu*, 9(2), 143–149. <https://doi.org/10.54914/jtt.v9i2.1032>
- Yu, R., Yao, X., Huo, Y., & Chang, C. (2025). Enhancing Skin Lesion Classification using Segmentation-based Global-Local Feature Fusion. Dalam O. Colliot & J. Mitra (Ed.), *Medical Imaging 2025: Image Processing* (hlm. 111). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3047527>
- Zhou, M., Zhou, Y., Yang, D., & Song, K. (2024). Remote Sensing Image Classification Based on Canny Operator Enhanced Edge Features. *Sensors*, 24(12), 3912. <https://doi.org/10.3390/s24123912>