

**KLASIFIKASI CITRA PENYAKIT DAUN PEPAYA
DENGAN *ENSEMBLE LEARNING***

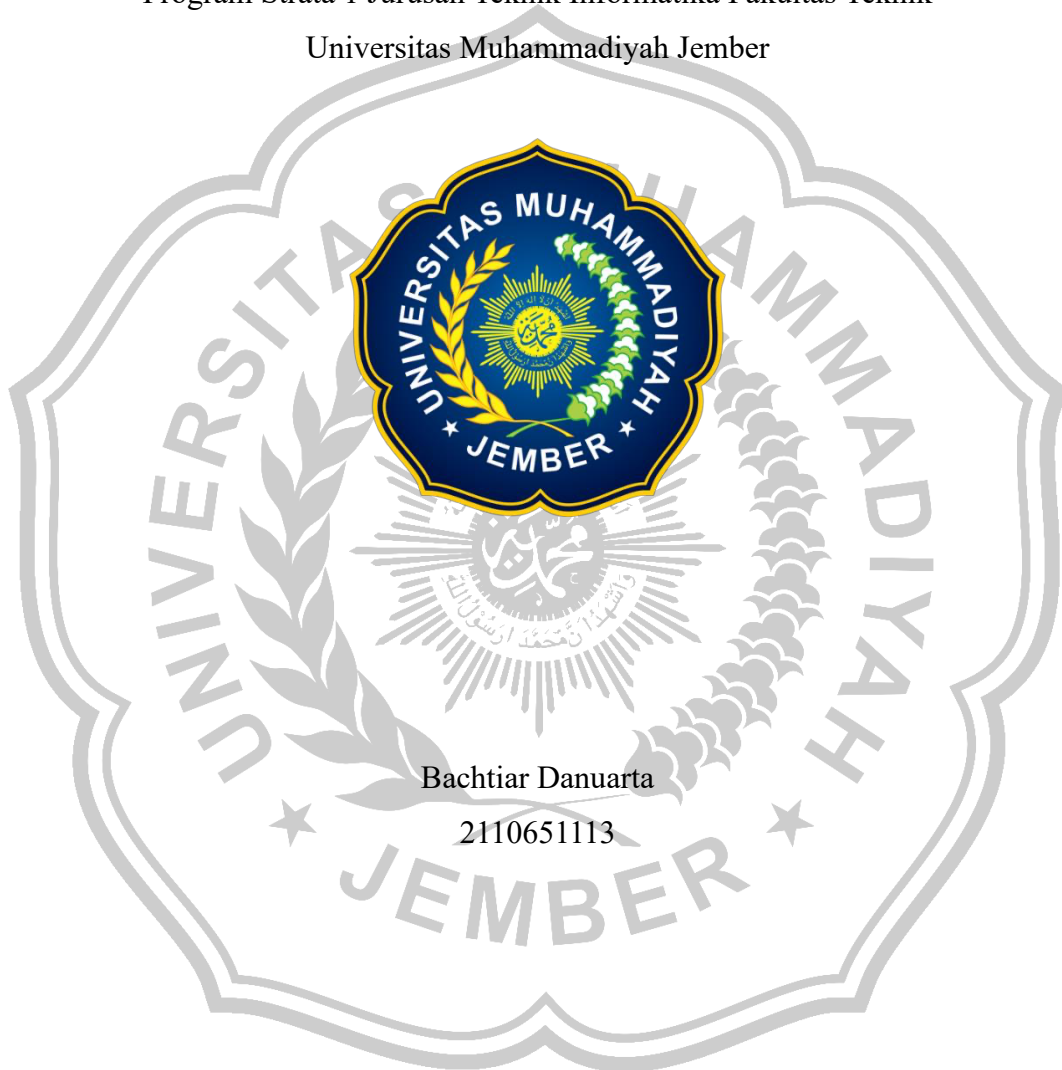


**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JEMBER
2025**

TUGAS AKHIR

KLASIFIKASI CITRA PENYAKIT DAUN PEPAYA DENGAN *ENSEMBLE LEARNING*

Disusun untuk Memenuhi Persyaratan Guna Meraih Gelar Kelulusan
Program Strata 1 Jurusan Teknik Informatika Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Jember



Bachtiar Danuarta

2110651113

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JEMBER**

2025

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bachtiar Danuarta
NIM : 2110651113
Program Studi : Teknik Informatika
Judul Tugas Akhir : Klasifikasi Citra Penyakit Daun Pepaya Dengan *Ensemble Learning*

Dengan ini menyatakan bahwa karya ilmiah yang saya susun adalah murni hasil pemikiran, penelitian, dan penyusunan saya sendiri. Segala sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya orang lain, baik berupa publikasi, artikel, buku, maupun sumber lainnya, telah disebutkan dengan jelas di dalam daftar pustaka sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah.

Saya menyadari bahwa dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, saya memanfaatkan bantuan teknologi kecerdasan buatan (AI) seperti *ChatGPT/Grammarly/Alat AI lain* hanya sebatas untuk:

1. Membantu dalam penyusunan tata bahasa, parafrasa, atau perbaikan redaksi.
2. Memberikan inspirasi ide awal atau kerangka berpikir, yang selanjutnya saya kembangkan secara mandiri.
3. Membantu dalam pengecekan konsistensi format, ejaan, dan tata tulis.

Saya menegaskan bahwa tidak ada bagian dari karya ilmiah ini yang seluruhnya dibuat oleh AI tanpa keterlibatan pemikiran kritis saya sendiri. Tanggung jawab penuh atas isi, keaslian, dan kebenaran karya ilmiah ini ada pada diri saya.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia menerima segala konsekuensi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Jember.

Jember, 18 Oktober 2025

Yang membuat pernyataan,



Bachtiar Danuarta

HALAMAN PERSETUJUAN

**KLASIFIKASI CITRA PENYAKIT DAUN PEPAYA
DENGAN *ENSEMBLE LEARNING***

Oleh:

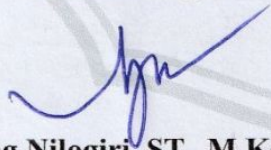
Bachtiar Danuarta

2110651113

Telah disetujui bahwa Laporan Tugas Akhir ini untuk diajukan pada sidang Tugas Akhir sebagai salah satu syarat kelulusan dan mendapatkan gelar Sarjana Komputer (S. Kom.) di Universitas Muhammadiyah Jember

Disetujui oleh,

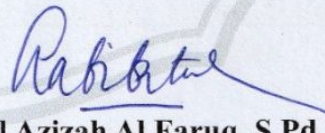
Pembimbing I



Agung Nilogiri, ST., M.Kom.

NIDN. 0030037701

Pembimbing II



Habibatul Azizah Al Faruq, S.Pd., M.Pd.

NIDN. 0718128901

LEMBAR PENGESAHAN

KLASIFIKASI CITRA PENYAKIT DAUN PEPAYA DENGAN *ENSEMBLE LEARNING*

Oleh:

Bachtiar Danuarta

2110651113

Telah mempertanggung jawabkan Laporan Tugas Akhirnya pada sidang Tugas Akhir tanggal 28 November 2025 sebagai salah satu syarat kelulusan dan mendapatkan gelar Sarjana Komputer (S.Kom.)
di
Universitas Muhammadiyah Jember

Disetujui oleh,

Penguji I



Rosita Yanuarti, S.Kom., M.Cs.

NIDN. 0629018601

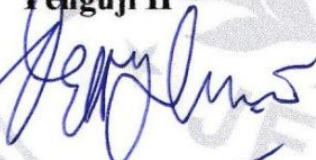
Pembimbing I



Agung Nilogiri, ST., M.Kom.

NIDN. 0030037701

Penguji II



Dewi Lusiana Pater, Ir., MT.

NIDN. 0712086702

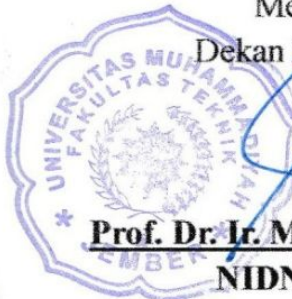
Pembimbing II



Habibatul Azizah Al Faruq, S.Pd., M.Pd.

NIDN. 0718128901

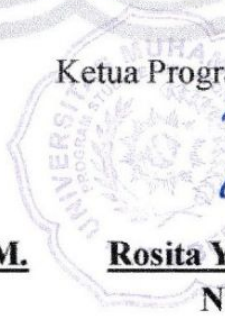
Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Ir. Muhtar, ST., MT., IPM.

NIDN. 0010067301

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Informatika



Rosita Yanuarti, S.Kom., M.Cs.

NIDN. 0629018601

MOTTO

Verily, with hardship comes ease

— Ash-Shura (94:5)

The best time to plant a tree was 20 years ago, the second best time is now

— Chinese Proverb

Lady luck favors the one who tries

— Barbara Oakley



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian berjudul **“KLASIFIKASI CITRA PENYAKIT DAUN PEPAYA DENGAN *ENSEMBLE LEARNING*”**. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan jenjang Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember. Persembahkan tugas akhir ini dan rasa terima kasih saya ucapkan untuk:

1. Allah S.W.T Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, dengan segala nikmat dan karunia-Nya, telah memberikan kelancaran dalam meraih gelar Sarjana Komputer (S. Kom.).
2. Keluarga tercinta, Ahmad Sampurno dan Wiji Utami sebagai kedua orang tua saya, serta adik saya Yusril Ihsan Maulana yang telah memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan baik secara moril maupun materiil.
3. Bapak Agung Nilogiri, S.T., M.Kom. dan Ibu Habibatul Azizah Al Faruq, S.Pd., M.Pd. selaku dosen pembimbing pertama dan kedua, yang telah membimbing, memberikan arahan, serta memberikan saran selama proses penyusunan dan pelaksanaan penelitian ini.
4. Ibu Rosita Yanuarti, S.Kom., M.Cs. selaku penguji pertama sekaligus Ketua Program Studi Teknik Informatika, dan Ibu Dewi Lusiana Pater, Ir., M.T. selaku penguji kedua, yang telah memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat berharga demi kesempurnaan penelitian dan penulisan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhtar, ST., MT., IPM. Selaku dekan fakultas teknik dan seluruh staf dosen serta karyawan yang telah memberikan ilmu, fasilitas, dan pelayanan terbaik untuk peneliti saat menimba ilmu.
6. Kak Wira yang telah memberikan ilmu pengetahuan mengenai *machine learning* dan *deep learning*. Peneliti tidak akan melupakan ilmu yang telah diberikan.
7. Bapak Agus dari BPP Kalibaru, Ibu Oktariana, dan Bapak Danu Indra Wardhana selaku dosen Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Jember, yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam pelaksanaan riset penelitian ini

8. Serta teman-teman Program Studi Teknik Informatika 2021, yang telah memberikan dukungan, pengalaman serta kenangan berharga selama masa perkuliahan.

Sebagai penutup, peneliti menyadari bahwa penelitian dan penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, peneliti dengan lapang dada menerima segala kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Besar harapan peneliti, semoga karya sederhana ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi kontribusi kecil bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Informatika.

Jember, Oktober 2025

Bachtiar Danuarta



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
SURAT PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
MOTTO	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 <i>Research Gap</i>	9
2.3 Pepaya	11
2.3.1 Daun Pepaya.....	12
2.3.2 Penyakit <i>Ringspot</i> Pada Daun Pepaya	12
2.3.3 Penyakit Menguning Pada Daun Pepaya	13

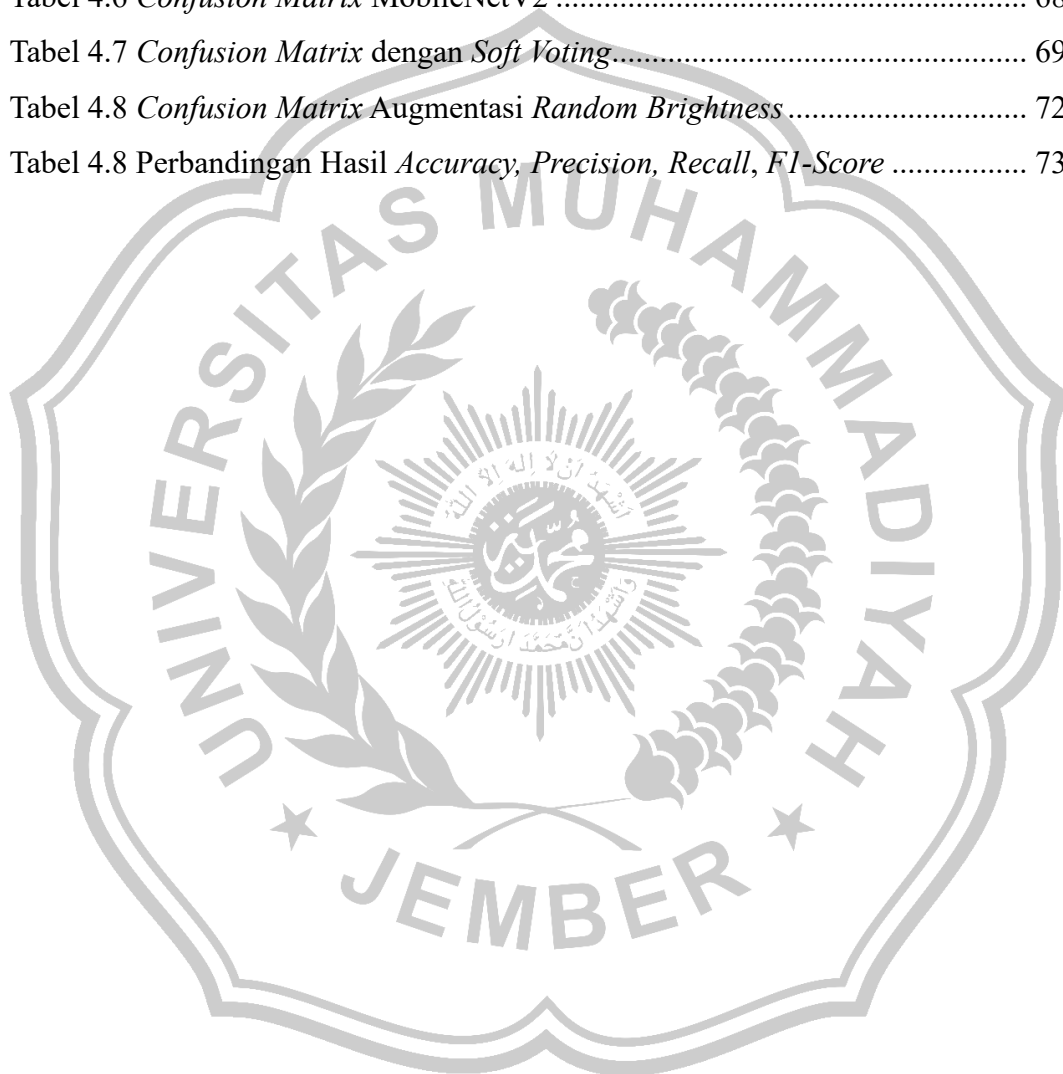
2.4 Artificial Intelligence	14
2.5 Machine Learning	14
2.6 Deep Learning.....	16
2.7 Convolutional Neural Network (CNN)	16
2.7.1 Lapisan CNN.....	18
2.7.2 Regularization	23
2.7.3 VGG16	25
2.7.4 ResNet-34.....	26
2.7.5 MobileNetV2	28
2.8 Perhitungan dalam Operasi CNN	30
2.9 Hyperparameter CNN.....	42
2.9.1 Hyperparameter Optimization dengan Grid Search	42
2.10 Ensemble Learning	43
2.10.1 Soft Voting	44
2.11 Evaluasi Model.....	44
2.12 Gradio	47
2.13 PyTorch	48
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	49
3.1 Kerangka Kerja Penelitian	49
3.2 Persiapan Data.....	50
3.2.1 Pengumpulan Dataset	50
3.2.2 Dataset Splitting.....	51
3.2.3 Augmentasi dan Normalisasi Citra.....	51
3.2.4 Membuat Dataloader	53
3.3 Membangun Arsitektur Model	54
3.4 Training Model	57

3.5 <i>Ensemble</i> Model.....	58
3.6 Evaluasi Model.....	58
3.7 <i>Deployment</i> Model.....	61
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	62
4.1 Hasil Pelatihan	62
4.1.1 VGG16	62
4.1.2 ResNet-34.....	63
4.1.3 MobileNetV2	64
4.2 Evaluasi Model.....	66
4.2.1 Evaluasi Model VGG16.....	66
4.2.2 Evaluasi Model ResNet-34	67
4.2.3 Evaluasi Model MobileNetV2	68
4.2.4 Evaluasi <i>Ensemble</i> Model	69
4.3 Eksperimen Augmentasi <i>Brightness</i> Pada Citra Daun Pepaya	70
4.4 Perbandingan Hasil	73
4.5 Pembahasan Hasil	74
4.6 <i>Deployment</i> Model.....	74
BAB 5 KESIMPULAN	76
5.1 Kesimpulan	76
5.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN.....	82
<i>CURRICULUM VITAE</i>	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	6
Tabel 2.2 Arsitektur MobileNetV2 (Sumber: Hariz dkk., 2022).....	29
Tabel 2.3 Nilai Citra <i>Grayscale</i> Angka 0 (8x8 piksel) dari <i>Dataset UCI Machine Learning</i>	31
Tabel 2.4 Nilai <i>Kernel</i> Berukuran 3x3	31
Tabel 2.5 Tabel Nilai <i>feature maps</i> $f_{1,1}$:	32
Tabel 2.6 Nilai <i>feature maps</i> $f_{1,2}$:	33
Tabel 2.7 Nilai <i>feature maps</i> $f_{1,3}$:	33
Tabel 2.8 Nilai <i>feature maps</i> $f_{1,4}$:	33
Tabel 2.9 Nilai <i>feature maps</i> $f_{1,5}$:	34
Tabel 2.10 Nilai <i>feature maps</i> $f_{1,6}$:	34
Tabel 2.11 Nilai Akhir <i>feature maps</i>	34
Tabel 2.12 Nilai Hasil Fungsi Aktivasi ReLU	35
Tabel 2.13 Nilai Hasil <i>Max Pooling</i>	35
Tabel 2.14 Nilai Hasil <i>Flatten</i>	36
Tabel 2.15 Daftar <i>Parameter</i> dan <i>Hyperparameter</i> CNN (Sumber: Yamashita dkk., 2018)	42
Tabel 2.16 Probabilitas prediksi beberapa <i>base learner</i> terhadap kelas tertentu dengan metode <i>Soft Voting</i>	44
Tabel 2.10 Ilustrasi <i>Confusion Matrix</i>	45
Tabel 3.1 Jumlah <i>Dataset</i> Terhadap Setiap Kelas Citra	50
Tabel 3.2 Jumlah <i>Train Set</i> , <i>Validation Set</i> , dan <i>Test Set</i>	51
Tabel 3.3 Skenario <i>Hyperparameter Optimization</i> dengan <i>Grid Search</i>	57
Tabel 3.4 Contoh <i>Confusion Matrix</i> 4x4	59
Tabel 3.5 <i>Confusion Matrix</i> pada Kategori <i>Healthy Leaf</i>	59
Tabel 3.6 <i>Confusion Matrix</i> pada Kategori <i>Ringspot Leaf</i>	60
Tabel 3.7 <i>Confusion Matrix</i> pada Kategori <i>Yellow Leaf</i>	60
Tabel 3.8 <i>Confusion Matrix</i> pada Kategori <i>Others</i>	60
Tabel 4.1 Hasil <i>Hyperparameter Optimization Epoch</i> dan <i>Learning Rate</i> dengan <i>Grid Search</i> pada VGG16	62

Tabel 4.2 Hasil <i>Hyperparameter Optimization Epoch</i> dan <i>Learning Rate</i> dengan <i>Grid Search</i> pada ResNet-34.....	63
Tabel 4.3 Hasil <i>Hyperparameter Optimization Epoch</i> dan <i>Learning Rate</i> dengan <i>Grid Search</i> pada MobileNetV2	65
Tabel 4.4 <i>Confusion Matrix</i> VGG16	66
Tabel 4.5 <i>Confusion Matrix</i> ResNet-34	67
Tabel 4.6 <i>Confusion Matrix</i> MobileNetV2	68
Tabel 4.7 <i>Confusion Matrix</i> dengan <i>Soft Voting</i>	69
Tabel 4.8 <i>Confusion Matrix</i> Augmentasi <i>Random Brightness</i>	72
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil <i>Accuracy, Precision, Recall, F1-Score</i>	73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi Perbedaan <i>Machine Learning</i> dan <i>Deep Learning</i>	2
Gambar 2.1 Buah Pepaya Calina (Sumber: Harsono, 2021).....	11
Gambar 2.2 Infeksi <i>Ringspot</i> Virus pada Daun Pepaya	13
Gambar 2.3 Daun Menguning pada Pepaya.....	14
Gambar 2.4 Contoh Arsitektur CNN (Sumber: Alzubaidi dkk., 2021).....	17
Gambar 2.5 Ilustrasi Operasi Konvolusi dengan <i>Kernel</i> 3x3 dan <i>Stride</i> 1 (Sumber: Yamashita dkk., 2018)	19
Gambar 2.6 Ilustrasi Operasi <i>Max Pooling</i> (Sumber: Yamashita dkk., 2018).....	20
Gambar 2.7 Ilustrasi Fungsi Aktivasi (a) ReLU, (b) Sigmoid, dan (c) Tanh (Sumber: Yamashita dkk., 2018)	21
Gambar 2.8 Ilustrasi (a) <i>Underfitting</i> , (b) <i>Overfitting</i> , dan (c) Seimbang	23
Gambar 2.9 Ilustrasi Grafik <i>Loss</i> terhadap Iterasi (<i>epoch</i>) pada <i>Neural Network</i> (Sumber: Yamashita dkk., 2018).....	24
Gambar 2.10 Ilustrasi <i>Neural Network</i> (a) sebelum <i>Dropout</i> dan (b) setelah <i>Dropout</i> (Sumber: Salehin & Kang, 2023)	24
Gambar 2.11 Visualisasi Arsitektur VGG16 (Sumber: Ren dkk., 2018)	25
Gambar 2.12 Ilustrasi Lapisan dengan <i>Residual Connection</i> (Sumber: He dkk., 2015).....	26
Gambar 2.13 Perbandingan <i>error</i> pada <i>Plain Neural Network</i> (a) dan <i>Residual Network</i> (b) (Sumber: He dkk., 2015)	27
Gambar 2.14 Perbandingan permukaan <i>loss ResNet-56</i> tanpa <i>skip connection</i> (a) dan dengan <i>skip connection</i> (b) (Sumber: Li dkk., 2017).....	27
Gambar 2.15 Visualisasi arsitektur ResNet-34	28
Gambar 2.16 Ilustrasi Bagian <i>Feature Extraction</i> dan <i>Classification</i> pada Contoh Perhitungan CNN.....	30
Gambar 2.17 Contoh Citra <i>Grayscale</i> Angka 0 8x8 piksel.....	30
Gambar 2.18 Ilustrasi <i>Fully Connected Layer</i>	36
Gambar 2.19 Ilustrasi <i>Grid Search</i> pada <i>Hyperparameter Learning Rate</i> terhadap <i>Dropout Rate</i> dengan Eksekusi <i>Parallel Concurrent</i>	43
Gambar 2.20 Kurva ROC dan AUC (Sumber: Schlosser dkk., 2024).....	47

Gambar 3.1 Blok Diagram Penelitian	49
Gambar 3.2 Ilustrasi Augmentasi <i>Random Rotation</i>	52
Gambar 3.3 Ilustrasi Augmentasi <i>Random Horizontal Flip</i>	52
Gambar 3.4 Ilustrasi Augmentasi <i>Random Vertical Flip</i>	52
Gambar 3.5 Ilustrasi Augmentasi <i>Random Resized Crop</i>	53
Gambar 3.6 Modifikasi Lapisan <i>Fully Connected</i> pada VGG16	55
Gambar 3.7 Modifikasi Lapisan <i>Fully Connected</i> pada ResNet-34	56
Gambar 3.8 Modifikasi Lapisan <i>Fully Connected</i> pada MobileNetV2	57
Gambar 3.9 Blok diagram Penggabungan dengan <i>Soft Voting</i>	58
Gambar 4.1 Grafik <i>Loss</i> dan Akurasi VGG16	63
Gambar 4.2 Grafik <i>Loss</i> dan Akurasi ResNet-34.....	64
Gambar 4.3 Grafik <i>Loss</i> dan Akurasi MobileNetV2.....	65
Gambar 4.4 Kurva ROC-AUC VGG16	67
Gambar 4.5 Kurva ROC-AUC ResNet-34.....	68
Gambar 4.6 Kurva ROC-AUC MobileNetV2.....	69
Gambar 4.7 Kurva ROC-AUC <i>Ensemble Model</i>	70
Gambar 4.8 Ilustrasi Augmentasi <i>Random Brightness</i>	71
Gambar 4.9 Grafik <i>Loss</i> dan <i>Accuracy</i> dengan Augmentasi <i>Random Brightness</i>	71
Gambar 4.10 Kurva ROC-AUC Augmentasi <i>Random Brightness</i> VGG16.....	72
Gambar 4.11 <i>User Interface Deployment Model</i> dengan <i>Gradio</i> (tautan publik: https://zentoichi-demo-ensemble-learning.hf.space/).....	75