

PENGEMBANGAN MODEL ENSEMBLE UNTUK KLASIFIKASI PENYAKIT RETINA BERBASIS CITRA OCT

Tugas Akhir

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Mencapai Derajat
Sarjana Komputer**



Dibuat Oleh:

Vincentius Kevin Nicklaus Rudolf Huizen

210711083

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Berjudul

PENGEMBANGAN MODEL ENSEMBLE UNTUK KLASIFIKASI PENYAKIT RETINA BERBASIS CITRA OCT

yang disusun oleh

Vincentius Kevin Nicklaus Rudolf Huizen

210711083

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 25 Juni 2025

		Keterangan
Dosen Pembimbing 1	: Prof. Dr. Pranowo, S.T., M.T.	Telah Menyetujui
Dosen Pembimbing 2	: Dra. Ernawati, M.T., Ph.D.	Telah Menyetujui
Tim Penguji		
Penguji 1	: Prof. Dr. Pranowo, S.T., M.T.	Telah Menyetujui
Penguji 2	: Prof. Dr. Andi Wahyu Rahardjo Emanuel, BSEE., MSSE	Telah Menyetujui
Penguji 3	: Aloysius Gonzaga Pradnya Sidhawara, S.T., M.Eng.	Telah Menyetujui

Yogyakarta, 25 Juni 2025

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Teknologi Industri

Dekan

ttd.

Dr. Ir. Parama Kartika Dewa SP., S.T., M.T.

Dokumen ini merupakan dokumen resmi UAJY yang tidak memerlukan tanda tangan karena dihasilkan secara elektronik oleh Sistem Bimbingan UAJY. UAJY bertanggung jawab penuh atas informasi yang tertera di dalam dokumen ini

PERNYATAAN ORISINALITAS & PUBLIKASI ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Vincentius Kevin Nicklaus Rudolf Huizen

NPM : 210711083

Program Studi : Informatika

Fakultas : Teknologi Industri

Judul Penelitian : Pengembangan Model Ensemble Untuk Klasifikasi Penyakit Retina Berbasis Citra OCT

Menyatakan dengan ini:

1. Tugas Akhir ini adalah benar tidak merupakan salinan sebagian atau keseluruhan dari karya penelitian lain.
2. Memberikan kepada Universitas Atma Jaya Yogyakarta atas penelitian ini, berupa Hak untuk menyimpan, mengelola, mendistribusikan, dan menampilkan hasil penelitian selama tetap mencantumkan nama penulis.
3. Bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk tuntutan hukum atas pelanggaran Hak Cipta dalam pembuatan Tugas Akhir ini.

Demikianlah pernyataan ini dibuat dan dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 31 Mei 2025

Yang menyatakan,

Vincentius Kevin Nicklaus Rudolf Huizen
210711083

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri, keluarga tercinta, serta sahabat-sahabat yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat tanpa henti selama proses pengerjaannya. Terutama, saya panjatkan rasa syukur yang mendalam kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang selalu melimpahkan rahmat, penyertaan, dan kemurahan-Nya dalam setiap langkah perjalanan hidup saya.

“Jangan takut pada hal-hal yang lebih besar dan menantang, tapi takutlah jika hidupmu biasa-biasa saja”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan pembuatan tugas akhir "Pengembangan Model Ensemble Untuk Klasifikasi Penyakit Retina Berbasis Citra OCT" ini dengan baik.

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat sarjana komputer dari Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Industri di Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan tugas akhir ini penulis telah mendapatkan bantuan, bimbingan, dan dorongan dari banyak pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang selalu membimbing dalam iman-Nya, memberikan berkat-Nya, dan menyertai penulis selalu.
2. Bapak Dr. Ir. Parama Kartika Dewa SP., S.T., M.T. IPU, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Bapak Thomas Adi Purnomo Sidhi, S.T., M.T. , selaku Kaprodi Informatika Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
4. Bapak Eddy Julianto, S.T., M.T., selaku Dosen Wali yang telah memberikan bimbingan dan bantuan selama penulis menempuh studi di Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
5. Bapak Prof. Dr. Pranowo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan masukan serta motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Ibu Dra. Ernawati, M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan masukan serta motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

7. Kedua orang tua penulis, Papa (Bapak Roy Rudolf Huizen) dan Mama (Ibu Florentina Tatrini Kurniati), untuk beliau berdualah skripsi ini penulis persembahkan. Terimakasih atas segala kasih sayang yang diberikan dalam membesarkan dan membimbing penulis selama ini sehingga penulis dapat terus berjuang dalam meraih mimpi dan cita-cita. Kesuksesan dan segala hal baik yang kedepannya akan penulis dapatkan adalah karena dan untuk kalian berdua. Serta adik penulis, Laurentius Andre Cornelis Rudolf Huizen, yang telah memberikan dukungan, semangat motivasi dan doa, dalam setiap langkah perjalanan akademik penulis dari awal.
8. Seluruh keluarga besar, yang selalu memberikan dukungan penuh, doa, dan motivasi dalam setiap langkah perjalanan akademik penulis.
9. Sahabat sekaligus saudara penulis dari semester satu, Yerico Elwido, Elyn Geby Monica Panjaitan, dan Joanna, yang telah menjadi bagian tak terpisahkan dari perjalanan akademik penulis. Terima kasih atas segala kenangan indah, tawa, tangis, perjuangan, dan kebersamaan yang telah kalian berikan selama ini. Kalian adalah saksi bisu dari setiap langkah perjalanan penulis, mulai dari hari pertama memasuki dunia perkuliahan hingga detik terakhir penyelesaian tugas akhir ini. Dukungan moral, semangat yang tak pernah surut, bantuan dalam setiap kesulitan akademik, serta kesetiaan kalian dalam mendengarkan setiap keluh kesah penulis adalah hal yang sangat berharga dan tak akan pernah terlupakan. Tanpa kehadiran kalian, perjalanan ini tidak akan seindah dan seerti seperti sekarang ini. Demikian laporan tugas akhir ini dibuat, dan penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.
10. Sahabat terbaik penulis, Rico, Aldo, Bimo, Dion, dan Wili, yang telah menemani perjalanan akademik penulis sejak awal semester. Terima kasih atas persahabatan yang tulus, kebersamaan yang penuh makna, dan dukungan yang tak pernah putus. Kalian telah menjadi keluarga baru yang

selalu hadir dalam suka maupun duka, memberikan semangat dan keceriaan di tengah tekanan perkuliahan.

11. Teman-teman lab, Klasik dan Candra, yang telah membantu dan memberikan dukungan yang luar biasa selama proses pengerjaan skripsi ini. Terima kasih atas bantuan teknis, diskusi-diskusi yang bermanfaat, dan semangat yang kalian berikan.
12. Teman-teman seperjuangan lainnya di Program Studi Informatika yang telah berbagi ilmu, pengalaman, dan memberikan dukungan selama masa perkuliahan.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Demikian laporan tugas akhir ini dibuat, dan penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 31 Mei 2025

Vincentius Kevin Nicklaus Rudolf Huizen
210711083

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS & PUBLIKASI ILMIAH.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
INTISARI	xii
BAB I.....	14
PENDAHULUAN	14
A. Latar Belakang	14
B. Rumusan Masalah	16
C. Batasan Masalah.....	16
D. Tujuan Penelitian.....	18
E. Sistematika Penulisan	18
BAB II	20
TINJAUAN PUSTAKA	20
A. <i>Ensemble Learning</i> dengan <i>Hyperparameter</i>	20
B. <i>Ensemble Learning</i> dengan <i>Hyperparameter Tuning</i>	25
BAB III	27
LANDASAN TEORI	27
A. Penyakit Retina	27
B. <i>Optical Coherence Tomography (OCT)</i>	29
C. <i>Deep Learning</i>	31
D. <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	31
E. <i>Ensemble Learning</i>	37
F. <i>Hyperparameter</i>	40
G. Fungsi Aktivasi.....	41
H. Optimasi Gradien	42
I. Metode Evaluasi Klasifikasi.....	44

BAB IV	47
DATASET DAN PENGEMBANGAN MODEL	47
A. Deskripsi Masalah	47
B. Pengumpulan Data	48
C. Pre-processing Data	49
D. Pengembangan Model	50
BAB V.....	54
IMPLEMENTASI MODEL DAN PENGUJIAN SISTEM	54
A. Implementasi Model.....	54
B. Pengujian Sistem	63
C. Analisis Hasil.....	76
BAB VI	78
KESIMPULAN DAN SARAN.....	78
A. Kesimpulan	78
B. Saran-saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Choroidal Neovascularization.....	28
Gambar 2. Diabetic Macular Edema.....	28
Gambar 3. Drusen	29
Gambar 4. Arsitektur CNN [32]	32
Gambar 5. Arsitektur VGG16	34
Gambar 6. Arsitektur ResNet50	35
Gambar 7. Arsitektur InceptionV3	35
Gambar 8. Arsitektur DenseNet121.....	36
Gambar 9. Arsitektur EfficientNetB0	37
Gambar 10. Tahapan Metodologi.....	48
Gambar 11. Klasifikasi Penyakit Mata (a).CNV, (b).DME, (c).Drusen, (d).Normal.....	49
Gambar 12. Model Usulan	52
Gambar 13. Test Accuracy dan Test Loss Uji Ke-1	65
Gambar 14. Training and Validation Accuracy, Training and Validation Loss Uji Ke-1.	66
Gambar 15. Classification Report Uji Ke-1	66
Gambar 16. Confusion Matrix Uji Ke-1.....	67
Gambar 17. Test Accuracy dan Test Loss Uji Ke-2	68
Gambar 18. Training and Validation Accuracy, Training and Validation Loss Uji Ke-2.	68
Gambar 19. Classification Report Uji Ke-2	69
Gambar 20. Confusion Matrix Uji Ke-2.....	70
Gambar 21. Test Accuracy dan Test Loss Uji Ke-3	71
Gambar 22. Training and Validation Accuracy, Training and Validation Loss Uji Ke-3.	72
Gambar 23. Classification Report Uji Ke-3	72
Gambar 24. Confusion Matrix Uji Ke-3.....	73
Gambar 25. Test Accuracy dan Test Loss Uji Ke-4	74
Gambar 26. Training and Validation Accuracy, Training and Validation Loss Uji Ke-4.	74
Gambar 27. Classification Report Uji Ke-3	75
Gambar 28. Confusion Matrix.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Review Klasifikasi Citra dengan Hyperparameter dan Ensemble Learning	23
Tabel 2. Rincian Hyperparameter Uji 1	64
Table 3. Rincian Hyperparameter Uji 2	67
Tabel 4. Rincian Hyperparameter Uji 3	70
Table 5. Rincian Hyperparameter Uji 4	73
Table 6. Tabel Perbandingan Konfigurasi Hyperparameter Lengkap	77

INTISARI

PENGEMBANGAN MODEL ENSEMBLE UNTUK KLASIFIKASI PENYAKIT RETINA BERBASIS CITRA OCT

Vincentius Kevin Nicklaus Rudolf Huizen
210711083

Tingginya angka kebutaan global yang dapat dicegah akibat penyakit retina seperti *choroidal neovascularization* (CNV), *diabetic macular edema* (DME), dan Drusen, menjadi tantangan utama dalam dunia oftalmologi. Di Indonesia, tantangan ini diperburuk oleh keterbatasan jumlah dokter spesialis. Sementara itu, proses diagnosis manual menggunakan citra *Optical Coherence Tomography* (OCT) tidak hanya memakan waktu 10-15 menit per pasien, tetapi juga rentan terhadap variabilitas subjektif yang dapat menyebabkan tingkat kesalahan diagnosis hingga 30%. Meskipun model *deep learning* tunggal menawarkan potensi otomatisasi, model tersebut seringkali memiliki keterbatasan seperti bias arsitektur dan risiko *overfitting*. Menjawab tantangan-tantangan tersebut, penelitian ini mengembangkan sebuah model *ensemble* dengan lima arsitektur CNN (VGG16, ResNet50, InceptionV3, DenseNet121, dan EfficientNetB0) yang dioptimalkan secara sistematis untuk meningkatkan akurasi klasifikasi empat kelas penyakit retina.

Dataset citra OCT publik dari Kaggle digunakan dalam penelitian ini. Sebuah *pipeline pre-processing* komprehensif diterapkan, mencakup augmentasi data (rotasi, zoom, flip) untuk meningkatkan generalisasi dan *class weighting* untuk mengatasi ketidakseimbangan data. Arsitektur model yang diusulkan menggunakan mekanisme *feature fusion*, di mana vektor fitur dari kelima cabang CNN digabungkan melalui operasi *concatenate*. Untuk menemukan konfigurasi terbaik, dilakukan optimasi terhadap 12 *hyperparameter* kritis termasuk *learning rate*, *dropout rate*, jumlah neuron, dan optimizer menggunakan metode Keras Tuner *RandomSearch*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi *hyperparameter* yang optimal berhasil menghasilkan model *ensemble* dengan performa superior. Model terbaik mencapai akurasi pengujian sebesar **95,5%** dengan nilai *loss* yang rendah, serta menunjukkan proses pelatihan yang stabil tanpa indikasi *overfitting*. Performa model juga sangat baik di seluruh kelas penyakit dengan nilai *precision*, *recall*, dan *F1-score* rata-rata di atas 0,9. Keberhasilan ini dicapai melalui kombinasi optimizer SGD dengan *learning rate* 0,00285, serta keseimbangan antara kapasitas neuron dan regularisasi *dropout*. Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa pendekatan *ensemble* yang dioptimalkan secara holistik merupakan strategi yang sangat efektif dan andal untuk klasifikasi penyakit retina berbasis citra OCT.

Kata kunci: *Ensemble Learning, Hyperparameter Tuning, Convolutional Neural Network, Optical Coherence Tomography, Penyakit Retina*

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Pranowo, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing II : Dra. Ernawati, M.T., Ph.D.
Jadwal Sidang Tugas Akhir : 20 Juni 2025