

**OPTIMASI HYPERPARAMETER TPE DAN GP
BERBASIS OPTUNA UNTUK KLASIFIKASI
PENYAKIT PARU PADA CITRA X-RAY**

Tugas Akhir

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



Dibuat Oleh:

Aldo Putra Wohangara

210711104

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Berjudul

OPTIMASI HYPERPARAMETER TPE DAN GP BERBASIS OPTUNA UNTUK KLASIFIKASI PENYAKIT PARU
PADA CITRA X-RAY

yang disusun oleh

Aldo Putra Wohangara

210711104

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 29 Oktober 2025

		Keterangan
Dosen Pembimbing 1	: Wilfridus Bambang Triadi H, ST., M.Cs	Telah Menyetujui
Dosen Pembimbing 2	: Prof. Ir. A. Djoko Budiyanto, M.Eng., Ph.D.	Telah Menyetujui
Tim Penguji		
Penguji 1	: Wilfridus Bambang Triadi H, ST., M.Cs	Telah Menyetujui
Penguji 2	: Dra. Ernawati, M.T., Ph.D.	Telah Menyetujui
Penguji 3	: Irya Wisnubhadra, S.T., M.T., Ph.D., IPM	Telah Menyetujui

Yogyakarta, 29 Oktober 2025

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Teknologi Industri

Dekan

ttd.

Prof. Dr. Ir. Parama Kartika Dewa SP., S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng.

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 : Aldo Putra Wohangara
NPM : 2107111104
Program Studi : Informatika
Fakultas : Teknologi Industri
Judul Penelitian : Optimasi Hyperparameter TPE dan GP berbasis Optuna
untuk Klasifikasi Penyakit Paru pada Citra X-Ray

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, DD MM 2025

Yang menyatakan,

Aldo Putra Wohangara

2107111104

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.

"It is only when we are brave enough to explore the darkness will we discover the infinite power of our own light."

Brené Brown

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya yang melimpah, sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul " Optimasi Hyperparameter TPE dan GP berbasis Optuna untuk Klasifikasi Penyakit Paru pada Citra X-Ray". Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa proses penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, izinkanlah penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, atas segala anugerah, bimbingan, dan penyertaan-Nya yang selalu hadir dalam setiap langkah penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Parama Kartika Dewa SP., S.T., M.T. IPU, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, yang telah memberikan fasilitas dan dukungan selama masa studi penulis.
3. Bapak Wilfridus Bambang Triadi H., S.T., M.Cs, sebagai Dosen Pembimbing I, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang tiada henti, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Bapak Prof. Ir. A. Djoko Budiyanto, .Eng., Ph.D., sebagai Dosen Pembimbing II, atas arahan, masukan berharga, dan dukungan moral yang sangat membantu penulis selama proses pengerjaan.
5. Kedua orang tua tercinta, Bapak Bernardus Retang Wohangara dan Ibu Iswardani Tri Harjanti, atas segala kasih sayang, doa tulus, dan pengorbanan yang tak terhingga. Skripsi ini penulis persembahkan untuk kalian. Terima kasih telah menjadi sumber kekuatan dan motivasi terbesar penulis dalam mengejar cita-cita; juga kepada adik penulis, Reda Rambu Wohangara, yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
6. Yosefin Tanti Melinda, yang telah menjadi penyemangat hidup dan selalu memberikan dukungan, motivasi, serta doa yang tak pernah putus.

7. Sahabat-sahabat seperjuangan, yaitu Candra, Kevin, Rico, Geby, Jo, Wili, Bimo, dan Dion, atas persahabatan, kebersamaan, dan dukungan moral yang sangat berarti selama masa perkuliahan hingga tugas akhir ini selesai.
8. Seluruh teman-teman di Program Studi Informatika Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah berbagi ilmu dan pengalaman.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas bantuan dan kontribusinya dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Penulis juga menyampaikan bahwa dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis memanfaatkan beberapa sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) seperti ChatGPT (OpenAI), Qwen (Alibaba Cloud), Claude (Anthropic), dan DeepSeek sebagai alat bantu untuk *brainstorming* ide, pencarian referensi awal, serta pemberian rekomendasi topik dan pendekatan penelitian. Seluruh informasi yang dihasilkan oleh sistem tersebut dikurasi, diverifikasi, dan disesuaikan kembali oleh penulis agar sesuai dengan konteks akademik dan metodologi penelitian yang digunakan.

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

Yogyakarta, DD MM 2025

Aldo Putra Wohangara

210711104

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS & PUBLIKASI ILMIAH.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
INTISARI	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Batasan Masalah	5
D. Tujuan penelitian	7
E. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
A. Klasifikasi Penyakit Paru-paru Menggunakan <i>Deep Learning</i> pada Citra <i>X-ray</i> .	11
B. Perbandingan Arsitektur <i>Deep Learning</i> untuk <i>Medical Imaging</i>	12
C. Optimasi <i>Hyperparameter</i> Menggunakan <i>Bayesian Optimization</i>	13
D. <i>Tree-structured Parzen Estimator</i> (TPE) dan <i>Gaussian Process</i> (GP) dalam <i>Hyperparameter Optimization</i>	15
E. <i>Attention Mechanism: Convolutional Block Attention Module</i> (CBAM)	17
F. Keterbatasan Penelitian Terdahulu dan Kontribusi Penelitian.....	18
BAB III LANDASAN TEORI	23
A. Penyakit Paru-paru.....	23
B. <i>X-ray</i>	24
C. <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN).....	25
D. <i>Deep Learning</i>	26
E. Arsitektur CNN Modern	26
F. Mekanisme <i>Attention</i> – CBAM	30
G. <i>Preprocessing</i> Citra <i>X-ray</i> Toraks	32
H. <i>Bayesian Optimization</i>	35
I. <i>Hyperparameter</i>	41
J. Strategi <i>Training</i>	45
K. Metrik Evaluasi untuk Data Medis Tidak Seimbang	49
BAB IV DATASET DAN PENGEMBANGAN MODEL.....	53
A. Deskripsi Problem.....	53

B. <i>Load Data</i>	54
C. <i>Pre-processing Dataset</i>	58
D. <i>Hyperparameter Tuning with Optuna</i>	60
E. <i>Training 6 Model</i>	62
F. <i>Evaluasi</i>	62
G. <i>Visualisasi</i>	63
BAB V IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN MODEL	65
A. <i>Implementasi Model</i>	65
B. <i>Pengujian Komparasi HyperParameter dan Model</i>	107
C. <i>Deploy Model Terbaik</i>	171
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	197
A. <i>Kesimpulan</i>	197
B. <i>Saran</i>	198

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Tahapan Metodologi	54
Gambar 2 X-ray Bacterial Pneumonia	57
Gambar 3 X-ray Covid-19	57
Gambar 4 X-ray Normal	57
Gambar 5 X-ray Tuberculosis.....	58
Gambar 6 X-ray Viral Pneumonia	58
Gambar 7 Confusion Matrix EfficientNetB2_Default.....	110
Gambar 8 Training Curve Loss EfficientNetB2_Default	111
Gambar 9 Training Curve Pr-AUC EfficientNetB2_Default	112
Gambar 10 Confusion Matrix EfficientNetB2_BestParams.....	113
Gambar 11 Training Curve Loss EfficientNetB2_BestParams	115
Gambar 12 Training Curve Pr-AUC EfficientNetB2_BestParams.....	115
Gambar 13 Confusion Matrix DenseNet121_Default	117
Gambar 14 Training Curve Loss DenseNet121_Default.....	118
Gambar 15 Training Curve Pr-AUC DenseNet121_Default	119
Gambar 16 Confusion Matrix DenseNet121_BestParams.....	121
Gambar 17 Training Curve Loss DenseNet121_BestParams	122
Gambar 18 Training Curve Pr-AUC DenseNet121_BestParams	123
Gambar 19 Confusion Matrix ResNet50_Default	125
Gambar 20 Training Curve Loss RestNet_Default.....	126
Gambar 21 Training Curve Pr-AUC RestNet_Default.....	127
Gambar 22 Confusion Matrix ResNet50_BestParams.....	129
Gambar 23 Training Curve Loss RestNet_BestParams.....	131
Gambar 24 Training Curve Pr-AUC RestNet_BestParams	131
Gambar 25 Ranging Efficiency Score	135
Gambar 26 Trade-Off Akurasi vs Waktu Training.....	136
Gambar 27 Performa per 100 Epochs Training	137
Gambar 28 Distribusi Epochs per Stage Training	138
Gambar 29 Confusion Matrix - EfficientNetB2 Default-part 0.....	141
Gambar 30 Confusion Matrix - EfficientNetB2 BestParams-part 0.....	142
Gambar 31 Confusion Matrix - DenseNet121 Default-part 0.....	144
Gambar 32 Confusion Matrix - DenseNet121 BestParams -part 0.....	145
Gambar 33 Confusion Matrix - ResNet50 Default-part 0.....	146
Gambar 34 Confusion Matrix - ResNet50 BestParams-part 0.....	148
Gambar 35 Confusion Matrix - EfficientNetB2 Default-part 1	149
Gambar 36 Confusion Matrix - EfficientNetB2 BestParams-part 1	150
Gambar 37 Confusion Matrix - DenseNet121 Default-part 1.....	151
Gambar 38 Confusion Matrix - DenseNet121 BestParams-part 1.....	152
Gambar 39 Confusion Matrix - ResNet50 Default-part 1.....	153
Gambar 40 Confusion Matrix - ResNet50 BestParams-part 1.....	154
Gambar 41 Confusion Matrix - EfficientNetB2 Default-part 2.....	155
Gambar 42 Confusion Matrix - EfficientNetB2 BestParams-part 2	156
Gambar 43 Confusion Matrix - DenseNet121 Default-part 2.....	157
Gambar 44 Confusion Matrix - DenseNet121 BestParams -part 2.....	158
Gambar 45 Confusion Matrix - ResNet50 Default-part 2.....	159
Gambar 46 Confusion Matrix - ResNet50 BestParams-part 2.....	160

Gambar 47 Confusion Matrix - EfficientNetB2 Default-part 3	161
Gambar 48 Confusion Matrix - EfficientNetB2 BestParams-part 3	162
Gambar 49 Confusion Matrix - DenseNet121 Default-part 3.....	163
Gambar 50 Confusion Matrix - DenseNet121 BestParams-part 3.....	164
Gambar 51 Confusion Matrix - ResNet50 Default-part 3.....	165
Gambar 52 Confusion Matrix - ResNet50 BestParams-part 3.....	166
Gambar 53 Arsitektur Web Flask	172
Gambar 54 Struktur Folder Flask Web	173
Gambar 55 Halaman Utama.....	180
Gambar 56 Halaman Upload.....	181
Gambar 57 Daftar Berkas Preview Mask	182
Gambar 58 Hasil Analisis	183
Gambar 59 Pie Chart, Candle Confidence, dan Count Data.....	184
Gambar 60 Filter dan Daftar Data.....	186
Gambar 61 Detail Heatmap pada satu sampel data.....	188
Gambar 62 Analitik Dataset di PDF	191
Gambar 63 Hasil Prediksi di PDF	193
Gambar 64 Lampiran Detail pada PDF	195

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perbandingan Penelitian	19
Tabel 2 Distribusi Dataset dengan 5 kelas	56
Tabel 3 Perbandingan Konfigurasi DefaultParams dan BestParams	108
Tabel 4 Performa Keseluruhan DefaultParams dan BestParams	109
Tabel 5 Perbandingan Performa Antar Model	133
Tabel 6 Hasil Nilai Stabilitas seluruh model	167
Tabel 7 Hasil Nilai Keseluruhan Hasil Uji	168

INTISARI

OPTIMASI HYPERPARAMETER TPE DAN GP BERBASIS OPTUNA UNTUK KLASIFIKASI PENYAKIT PARU PADA CITRA X-RAY

Aldo Putra Wohangara
2107111104

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tingginya beban penyakit pernapasan di Indonesia, khususnya tuberkulosis yang menempatkan Indonesia di peringkat kedua dunia dengan 1,02 juta kasus baru pada tahun 2023, serta Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) dengan 27,8 juta kasus rawat jalan. Interpretasi citra X-ray toraks secara manual sangat bergantung pada keahlian radiolog dan rentan terhadap variabilitas diagnostik antar pengamat, dengan sensitivitas deteksi tuberkulosis pada X-ray konvensional hanya berkisar 50–70%. Keterbatasan infrastruktur diagnostik dan distribusi tenaga radiolog yang tidak merata di Indonesia, terutama di daerah terpencil, menyebabkan keterlambatan diagnosis yang meningkatkan angka komplikasi dan mortalitas. Kondisi tersebut mendorong perlunya solusi berbasis kecerdasan buatan yang mampu meningkatkan akurasi dan efisiensi proses diagnosa, dengan mengembangkan sistem klasifikasi penyakit paru-paru menggunakan *deep learning* yang dioptimasi melalui strategi *hyperparameter tuning* sistematis untuk mengklasifikasikan lima kategori penyakit: Bacterial Pneumonia, COVID-19, *Normal*, *Tuberculosis*, dan Viral Pneumonia.

Dataset publik citra X-ray toraks dari Kaggle (25.141 citra) diproses melalui *pipeline preprocessing* komprehensif meliputi segmentasi paru-paru otomatis menggunakan *pre-trained* U-Net, *Normalisasi ImageNet statistics*, dan augmentasi adaptif (*aggressive* untuk *minority classes* dengan *ShiftScaleRotate*, *RandomBrightnessContrast*, *GaussNoise*). Enam model klasifikasi independen dikembangkan dari kombinasi tiga arsitektur CNN (EfficientNetB2, DenseNet121, ResNet50) dengan *hyperparameter default* dan hasil optimasi Bayesian. Optimasi *hyperparameter* menggunakan *framework* Optuna dengan strategi *two-phase*: *Gaussian Process* (20 *trials*) untuk eksplorasi awal dan *Tree-structured Parzen Estimator* (30 *trials*) untuk eksploitasi, mengeksplorasi enam parameter kritis yaitu *learning rate* (1×10^{-6} – 1×10^{-2}), *weight decay* (1×10^{-7} – 1×10^{-3}), *dense units* (128–512), *dropout rate* (0,3–0,7), *activation function* (ReLU, Swish), dan *label smoothing* (0,0–0,2). Model dilatih menggunakan metodologi *two-stage fine-tuning* dengan *transfer learning* dari *ImageNet pre-trained weights*, dilengkapi *class weighting strategy*, *early stopping*, dan *ReduceLROnPlateau*. Penambahan *Convolutional Block Attention Module* (CBAM) dengan *reduction ratio* 8

diterapkan untuk meningkatkan fokus model pada *anatomically relevant regions*. Pelatihan dilakukan pada server Supermicro dengan dual Intel Xeon processor dan NVIDIA Ada L40S GPU 48GB, menggunakan *mixed precision training* untuk efisiensi komputasi.

Hasil pengujian pada *test set* dengan 5.007 sampel menunjukkan bahwa konfigurasi *default* mengungguli hasil optimasi Bayesian pada semua arsitektur yang diuji. EfficientNetB2_Default mencapai performa terbaik dengan *Test Accuracy* 98,38%, *F1-Macro* 98,16%, *Precision* 98,10%, *Recall* 98,23%, dan *Val PR-AUC* 99,87%. Model ini mencapai akurasi sempurna 100% untuk *Tuberculosis* (517/517 prediksi benar, *zero false negative*) dan 99,6% untuk COVID-19, dengan hanya 2 kasus *high clinical impact errors* (0,04% *false negative rate* COVID-19 ke *Normal*). Meskipun optimasi *hyperparameter* menghasilkan perubahan signifikan pada *weight_decay* (+1102,8%), *dropout_rate* (+40%), dan *dense_units* (+25%), EfficientNetB2_BestParams hanya mencapai akurasi 98,36% dengan waktu *training* 24,9% lebih lama (291 vs 233 *epochs*). DenseNet121_Default menunjukkan akurasi 97,70% yang lebih baik dari DenseNet121_BestParams (96,83%), mengindikasikan regularisasi agresif menghambat *feature reuse*. ResNet50_Default mencapai akurasi 98,20% dengan efisiensi *training* tertinggi (139 *epochs*, *efficiency score* 70,45), jauh mengungguli ResNet50_BestParams (97,03%) yang mengalami gangguan *gradient flow*. Stabilitas model sangat tinggi *across 4 test partitions* (*F1_mean* 0,9882, *std* 0,0083), membuktikan *generalization capability* yang *excellent*. *Confusion* terbesar terjadi antara *Bacterial Pneumonia* dan *Viral Pneumonia* (57 kesalahan, 11,5% dari total *misclassifications*), mencerminkan *realistic clinical challenge* pada diferensiasi kedua kondisi dengan manifestasi radiologis sangat mirip.

Kata kunci: *Deep Learning, Hyperparameter Optimization, Bayesian Optimization, Convolutional Neural Network, Klasifikasi Penyakit Paru-paru, Citra X-ray Toraks, Optuna Framework, Convolutional Block Attention Module*

Dosen Pembimbing I : Wilfridus Bambang Triadi H, ST., M.Cs
Dosen Pembimbing II : Prof. Ir. A. Djoko Budiyo, M.Eng., Ph.D.
Jadwal Sidang Tugas Akhir : 28 Oktober 2025