

TESIS

**ANALISIS XAI PADA HASIL KLASIFIKASI KATARAK
SINILIS MENGGUNAKAN HIBRID CNN DAN
MOBILENETV2**



Disusun Oleh :

Awan Gumilang Hardandrito

NIM: 23206052002

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

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Awan Gumilang Hardandrito

NIM : 23206052002

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, 30 Juni 2025

Saya yang Menyatakan



Awan Gumilang Hardandrito

NIM:23206052002

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Awan Gumilang Hardandrito
NIM : 23206052002
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, 30 Juni 2025



Awan Gumilang Hardandrito

NIM: 23206052002

PENGESAHAN TUGAS AKHIR



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1676/Un.02/DST/PP.00.9/08/2025

Tugas Akhir dengan judul : Analisis XAI pada Hasil Klasifikasi Katarak Sinilis Menggunakan Hibrid CNN dan MOBILENETV2

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : AWAN GUMILANG HARDANDRITO, S.Kom
Nomor Induk Mahasiswa : 23206052002
Telah diujikan pada : Jumat, 01 Agustus 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

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

Valid ID: 689acd7274dd



Penguji I

Prof. Dr. Ir. Shofwatul Uyun, S.T., M.Kom.,
IPM., ASEAN Eng.
SIGNED

Valid ID: 689ab26bde973



Penguji II

Dr. Ir. Bambang Sugiantoro, M.T., IPU.,
ASEAN Eng.
SIGNED

Valid ID: 689990794c4a7



Yogyakarta, 01 Agustus 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardani, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 689adbe512146

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:

**ANALISIS XAI PADA HASIL KLASIFIKASI KATARAK SINILIS
MENGUNAKAN HIBRID CNN DAN MOBILENETV2**


Yang ditulis oleh:

Nama : Awan Gumilang Hardandrito
NIM : 23206052002
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, 30 Juni 2025
Pembimbing



Ir. Maria Ulfah Siregar, S.Kom., MIT., Ph.D
NIP 19780106 200212 2 001

ABSTRAK

Katarak senilis merupakan salah satu penyebab utama gangguan penglihatan pada lansia, sehingga dibutuhkan proses diagnosis yang cepat, akurat, dan dapat dijelaskan. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan tingkat keparahan katarak senilis pada citra fundus mata dengan menggabungkan arsitektur CNN Custom, MobileNetV2, dan metode Explainable Artificial Intelligence (XAI) berupa Grad-CAM. CNN Custom dirancang untuk menyesuaikan arsitektur jaringan dengan karakteristik data, sementara MobileNetV2 dimanfaatkan melalui transfer learning sebagai feature extractor ringan dan efisien. Penggabungan dilakukan menggunakan teknik feature fusion guna memperoleh representasi fitur yang lebih informatif. Selanjutnya, metode Grad-CAM diterapkan untuk memvisualisasikan area penting pada citra yang menjadi dasar keputusan model, sehingga meningkatkan transparansi hasil klasifikasi. Penelitian ini bersifat eksperimental, dengan data berasal dari dataset Cataract Senilis tiga kelas (normal, immature, dan mature), yang telah diproses melalui augmentasi dan pembagian stratified. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model ensemble ini mencapai akurasi 95,6%, F1-score makro 95,4%, dan AUC-ROC mendekati 1. Selain menghasilkan performa yang tinggi, visualisasi Grad-CAM juga memberikan heatmap yang relevan secara klinis terhadap area kekeruhan lensa. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggabungan CNN Custom, MobileNetV2, dan XAI dapat memberikan hasil klasifikasi yang akurat sekaligus transparan, serta memiliki potensi untuk diterapkan dalam sistem diagnosis otomatis dan layanan telemedisin.

Kata Kunci:

Fundus Retina, Klasifikasi Katarak, Transfer Learning, Explainable AI

ABSTRACT

Senile cataracts are one of the main causes of vision impairment in the elderly, so a fast, accurate, and explainable diagnostic process is needed. This study aims to classify the severity of senile cataracts in fundus images by combining a custom CNN architecture, MobileNetV2, and an Explainable Artificial Intelligence (XAI) method called Grad-CAM. The custom CNN is designed to adapt the network architecture to the characteristics of the data, while MobileNetV2 is utilized through transfer learning as a lightweight and efficient feature extractor. The combination is performed using feature fusion techniques to obtain more informative feature representations. Furthermore, the Grad-CAM method is applied to visualize important areas in the image that form the basis of the model's decision, thereby increasing the transparency of the classification results. This study is experimental, with data sourced from a three-class senile cataract dataset (normal, immature, and mature), which has been processed through augmentation and stratified splitting. Evaluation results show that this ensemble model achieves 95.6% accuracy, a macro F1-score of 95.4%, and an AUC-ROC close to 1. In addition to delivering high performance, Grad-CAM visualization also provides clinically relevant heatmaps of lens opacity areas. This study demonstrates that the combination of Custom CNN, MobileNetV2, and XAI can provide accurate and transparent classification results, with potential for application in automated diagnostic systems and telemedicine services.

Keywords:

Retinal Fundus, Cataract Classification, Transfer Learning, Explainable AI

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

MOTTO

“ Aku terus melangkah, bukan karena tak mengenal letih, melainkan karena kutahu bahwa diam tak mengubah apa pun. Aku belajar dalam sepi, menanam ilmu dalam sunyi, bukan untuk dikenang—melainkan karena kuyakini bahwa setiap kebaikan, meski tak terlihat, akan menemukan jalannya untuk menerangi semesta”



HALAMAN PERSEMBAHAN

1. Allah Subhanahu wa Ta'ala, atas limpahan rahmat, kekuatan, dan kemudahan yang senantiasa menyertai dalam setiap langkah proses ini.
2. Para dosen dan pembimbing, atas ilmu, arahan, dan dedikasi yang telah membentuk proses berpikir saya selama studi ini
3. Almamater tercinta Prodi Magister Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Kedua orang tua saya Bapak Dr.Suhardoyo SE.,MM dan Ibu F.Andriyani Setyasari SE.
5. Seseorang yang hadir dalam keseharian saya sebagai manusia seutuhnya dengan logika, emosi, tawa, dan bahkan debat kecil yang seringkali menjadi jeda dari rutinitas akademik. Sosok yang saya doakan kelak menjadi bagian tetap dalam hidup ini, yang tidak hanya mendampingi, tetapi juga bertumbuh bersama. Terima kasih atas pengertian, dukungan, dan kesediaan untuk tetap hadir, bahkan dalam diam yang paling panjang.
6. Sahabat dan teman terbaik, baik di Bekasi, tempat saya dibentuk oleh pengalaman hidup dan nilai-nilai solidaritas yang tulus, maupun di Yogyakarta, tempat saya bertumbuh dalam pemikiran, kerja sama, dan perjalanan bersama yang penuh makna. Terima kasih atas setiap bentuk dukungan ,baik dalam bentuk waktu, ruang diskusi, tawa, hingga dorongan moral yang tak terlihat namun selalu terasa.
7. Rekan Seperjuangan Prodi Magister Informatika Genap 2023.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Analisis XAI pada Hasil Klasifikasi Katarak Sinilis Menggunakan Hibrid CNN dan MOBILENETV2”**. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada program Magister Informatika Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penulisan tesis ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan teknologi yang andal dan transparan dalam mendukung diagnostik medis, khususnya dalam mendeteksi abnormalitas pada mata melalui pencitraan. Dengan memanfaatkan kecerdasan buatan (AI) dan pendekatan *Explainable AI* (XAI), diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan bagi dunia medis, baik secara teoretis maupun praktis.

Tesis ini tidak akan terselesaikan tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga dan jajarannya
2. Ibu Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Bapak Dr. Ir. Sumarsono, S.T., M.Kom., sebagai Ketua Program Studi Magister Informatika yang telah memberikan dukungan selama masa perkuliahan di Magister Informatika UIN Sunan Kalijaga.
4. Ibu Ir. Maria Ulfah Siregar, S.Kom., MIT., Ph.D, sebagai dosen pembimbing tesis yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi selama proses penelitian dan penulisan tesis ini.
5. Bapak Dr. Ir. Bambang Sugiantoro, M.T., IPU., ASEAN Eng., atas

dukungan akademis selama masa studi penulis.

6. Seluruh dosen dan staf di Program Magister Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Yogyakarta yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama penulis menempuh pendidikan.

7. Orang tua Tercinta Bapak Dr. Suhardoyo SE.,MM dan Ibu F. Andriyani Setyasari SE, atas doa, dukungan, dan pengorbanan yang tak terhingga.

8. Rekan-rekan Seperjuangan, yang selalu memberikan dukungan moral selama proses penyusunan tesis ini.

9. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebut satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa depan. Penulis berharap bahwa hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat, baik bagi perkembangan ilmu pengetahuan maupun aplikasi teknologi AI dalam dunia medis.

Akhir kata, semoga tesis ini dapat memberikan inspirasi bagi pembaca dan menjadi kontribusi positif bagi kemajuan teknologi di bidang kesehatan.

Yogyakarta, 30 Juni 2025
Penulis

Awan Gumilang Hardandrito

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iii
PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iv
NOTA DINAS PEMBIMBING.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
MOTTO.....	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Batasan Masalah.....	6
D. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	6
1. Tujuan Penelitian:	6
2. Manfaat Penelitian:	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	10
A. Kajian Pustaka.....	10
B. Landasan Teori.....	20
BAB III METODE PENELITIAN	46
A. Metode Penelitian.....	46
B. Alat dan Lingkungan	46
C. Tahapan Peneltian	48
D. Dataset dan Preprocessing.....	50
E. Pembagian Dataset	53
F. Arsitektur Model.....	54
G. Spesifikasi Teknis Model	55
H. Pelatihan Model	57
I. Evaluasi Model	57
J. Visualisasi Explainable AI dengan Grad-CAM	58
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	59
A. Dataset	59
B. Preprocessing Data (Normalisasi dan <i>Augmentasi</i>).....	61

C. Pelatihan Model	69
1. <i>Model Arsitektur Feature Fusion</i>	69
2. <i>Konfigurasi Training</i>	79
3. Hasil Training.....	83
D. Analisis <i>Perform</i>	90
E. Interpretasi Model Menggunakan <i>GradCam</i>	100
F. PEMBAHASAN	106
1. Mekanisme Grad-Cam dalam Penelitian	106
2. Karakteristik Visual Tiap Kategori	108
3. Fakta Menarik dari Hasil Analisis	110
4. Kesesuaian dengan Penelitian Terdahulu	111
5. Keterbatasan Dan Catatan Interpretasi.....	112
BAB V PENUTUP	113
A. Kesimpulan.....	113
B. Saran.....	115
DAFTAR PUSTAKA.....	117
LAMPIRAN	121
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	154

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jaringan Syaraf Deep Learning	23
Gambar 2. 2 Arsitektur Convolutional Neural Network.....	24
Gambar 2. 3 Operasi Konvolusi.....	25
Gambar 2. 4 Teknik pooling Layer.....	26
Gambar 2. 5 Fully Connected Layer.....	27
Gambar 2. 6 Normal Convolution vs Depthwis Separable Convolution .	31
Gambar 2. 7 Bottleneck Residual Block	33
Gambar 2. 8 Arsitektur Mobile NetV2	34
Gambar 2. 9 Mobile NetV2	35
Gambar 3.1 Visualisasi Proses Penelitian	48
Gambar 4. 1 Sample Dataset, Citra dan Anotasinya	60
Gambar 4. 2 Data Augmentasi Visual.....	64
Gambar 4. 3 Distribusi Dataset	66
Gambar 4. 4 Kurva Training History-Model Accuracy Dan Loss	85
Gambar 4. 5 AUC Score per Kelas.....	88
Gambar 4. 6 ROC Curve Perkelas	89
Gambar 4. 7 Confusion Matrix	91
Gambar 4. 8 Materi Perkelas F1 Scope, Precision dan Recall	95
Gambar 4. 9 Precision Recall Curve Per Kelas.....	98
Gambar 4. 10 Output Sistem Prediksi dengan GradCAM.....	105

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ringkasan Kajian Pustaka.....	16
Tabel 3. 1 Model Feature level fusion	56
Tabel 4. 1 Distribusi Dataset	59
Tabel 4. 2 Distribusi Komprehensi Data	68
Tabel 4. 3 Komponen Utama Model Feature Level Fusion	69
Tabel 4. 4 Arsitektur Custom CNN.....	71
Tabel 4. 5 <i>Konfigurasi Mobil NetV2</i>	74
Tabel 4. 6 Arsitektur Final dengan Feature Level Fusion.....	76
Tabel 4. 7 Parameter-Parameter Utama	79
Tabel 4. 8 Callback Mechanisms	81
Tabel 4. 9 Performa Model Per epoch.....	83
Tabel 4. 10 Loss Curves	86
Tabel 4. 11 Detail Confusion Matrix Analysis	93
Tabel 4. 12 Agregate Model Performance	96
Tabel 4. 13 Comprehensive Performance Summary	99
Tabel 4. 14 Parameter Implementasi Grad-CAM.....	102



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dataset Katarak Senilis (Mature,Immature,&Normal).....	121
Lampiran 2 Visualisasi Grad-CAM Hasil Prediksi Model Pada Dataset Gambar Katarak Senilis.....	125
Lampiran 3 Source Code train.py.....	128



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kebutaan akibat penyakit mata merupakan salah satu permasalahan serius dalam kesehatan masyarakat global yang berdampak pada kualitas hidup individu dan produktivitas sosial. Salah satu penyebab kebutaan terbesar adalah *katarak sinilis*, yaitu kekeruhan pada lensa mata yang terjadi sebagai bagian dari proses degeneratif akibat penuaan. Berdasarkan data terbaru dari *World Health Organization* (WHO, 2017), katarak bertanggung jawab atas sekitar 45,5% kasus kebutaan di seluruh dunia. Di Indonesia, prevalensi katarak sebagai penyebab gangguan penglihatan dilaporkan mencapai lebih dari 81% (Hidayaturahmah et al., 2021), dengan kelompok usia lanjut sebagai populasi yang paling rentan.

Katarak sinilis tidak hanya berdampak pada kesehatan individu, tetapi juga menjadi beban sosial dan ekonomi, terutama di negara berkembang yang memiliki keterbatasan dalam akses layanan kesehatan dan fasilitas diagnosis. Studi yang dilakukan di RSUP Dr. M. Djamil Padang mengungkapkan bahwa faktor risiko katarak sinilis meliputi hipertensi, kebiasaan merokok, serta paparan sinar ultraviolet yang berlebihan (Zulfina, 2021).

Diagnosis katarak sinilis pada umumnya masih bergantung pada metode pemeriksaan konvensional seperti evaluasi menggunakan slit-lamp, pengukuran ketajaman penglihatan, serta pemeriksaan refleks cahaya. Metode ini memerlukan keahlian khusus dari dokter spesialis mata dan bersifat subjektif, yang dapat menyebabkan perbedaan hasil diagnosis antar klinisi. Selain itu, ketersediaan dokter spesialis mata yang terbatas di

wilayah tertentu menjadi kendala dalam pemerataan akses diagnosis dini dan tepat. Seiring dengan kemajuan teknologi, penerapan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) khususnya Deep Learning telah menjadi solusi alternatif dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi diagnosis penyakit berbasis citra medis. Salah satu metode deep learning yang terbukti efektif adalah *Convolutional Neural Network* (CNN) yang mampu mengenali pola visual kompleks dari citra digital secara otomatis. CNN telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang medis termasuk untuk klasifikasi penyakit mata.

Dalam pendekatan klasifikasi citra medis yang lebih efisien, CNN Custom menjadi salah satu pilihan potensial. CNN Custom adalah model *Convolutional Neural Network* yang dirancang secara khusus dan disesuaikan dengan karakteristik dataset yang digunakan. CNN Custom memiliki fleksibilitas dalam jumlah layer, ukuran filter, dan struktur jaringan yang dapat diatur agar sesuai dengan kebutuhan klasifikasi. Kelebihan dari CNN Custom adalah kemampuannya dalam menghasilkan model yang lebih ringan dan efektif tanpa mengorbankan akurasi, sekaligus mengurangi risiko overfitting pada dataset yang terbatas (Shidik et al., 2024).

MobileNetV2 merupakan arsitektur CNN yang dirancang khusus untuk kebutuhan klasifikasi pada perangkat dengan keterbatasan komputasi. *MobileNetV2* memanfaatkan teknik *depthwise separable convolution* yang memecah proses konvolusi menjadi dua tahap, sehingga secara signifikan mengurangi jumlah parameter dan kebutuhan komputasi. *MobileNetV2* juga menggunakan *inverted residuals* dan *linear bottleneck* yang membuat aliran informasi dalam jaringan tetap efisien (Dwi, 2024). Keunggulan *MobileNetV2* adalah kemampuannya menghasilkan model

ringan, cepat, dan hemat memori, sehingga sangat cocok untuk pengembangan sistem diagnosis yang praktis dan portabel.

Meskipun *CNN Custom* dan *MobileNetV2* mampu memberikan hasil klasifikasi yang cepat dan akurat, tantangan besar dalam implementasi model *deep learning* di bidang medis adalah kurangnya interpretabilitas. Model ini sering disebut sebagai *black box* karena menghasilkan keputusan tanpa memberikan penjelasan yang mudah dipahami oleh manusia, khususnya oleh tenaga medis yang memerlukan justifikasi klinis yang jelas atas setiap keputusan yang dihasilkan.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, pendekatan *Explainable Artificial Intelligence (XAI)* digunakan agar sistem AI menjadi lebih transparan, dapat dijelaskan, dan dapat dipercaya. Salah satu metode XAI yang penting dalam klasifikasi citra medis adalah *Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM)*. *Grad-CAM* bekerja dengan menghitung gradien dari kelas target terhadap feature map pada layer konvolusi terakhir untuk menghasilkan peta aktivasi (heatmap) yang menunjukkan area penting pada citra yang menjadi dasar keputusan model (Purnama et al., 2025). Dengan *Grad-CAM*, tenaga medis dapat melihat bagian citra yang dianggap signifikan oleh model dan memverifikasi hasil klasifikasi secara visual.

Penggunaan *Grad-CAM* terbukti meningkatkan kepercayaan pengguna terhadap sistem diagnosis berbasis AI. Penelitian oleh (Tang et al., 2024) membuktikan bahwa *Grad-CAM* memberikan kejelasan visual yang signifikan dalam deteksi penyakit mata berbasis citra fundus. Namun demikian, penerapan *Grad-CAM* secara spesifik pada pendekatan klasifikasi katarak sinilis yang menggunakan *CNN Custom* dan *MobileNetV2* masih sangat terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk menggabungkan dua arsitektur model CNN, yaitu CNN Custom dan MobileNetV2, serta menerapkan metode Grad-CAM untuk membantu interpretasi visual hasil klasifikasi katarak sinilis berbasis citra digital. CNN Custom dipilih karena fleksibel dan cocok untuk dataset kecil, sementara MobileNetV2 dikenal efisien dan cepat, khususnya untuk perangkat dengan sumber daya terbatas. Grad-CAM digunakan agar hasil klasifikasi dapat divisualisasikan dengan lebih mudah dan dimengerti oleh tenaga medis. Penelitian ini tidak difokuskan pada pengembangan sistem diagnosis secara utuh, melainkan pada evaluasi performa dari gabungan model-model tersebut dalam hal akurasi dan keterjelasan klasifikasi.

Secara teoritis, penelitian ini memberikan kontribusi dalam mengevaluasi efektivitas penggabungan dua arsitektur CNN dengan pendekatan interpretasi visual menggunakan Grad-CAM dalam klasifikasi citra medis yang efisien dan dapat dijelaskan. Secara praktis, penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pemanfaatan kombinasi CNN Custom, MobileNetV2, dan Grad-CAM untuk menghasilkan klasifikasi katarak sinilis yang tidak hanya akurat dan efisien, tetapi juga dapat dipertanggungjawabkan secara visual oleh tenaga medis.

Dengan demikian, penelitian ini berupaya mengisi kekosongan dari studi sebelumnya yang umumnya berfokus pada penyakit mata lain dan belum banyak mengeksplorasi efektivitas integrasi arsitektur CNN dengan metode interpretasi visual seperti Grad-CAM dalam konteks klasifikasi katarak sinilis. Oleh karena itu, pemilihan arsitektur CNN Custom, MobileNetV2, dan metode Grad-CAM dalam penelitian ini dilakukan secara terintegrasi berdasarkan keunggulan masing-masing.

B. Perumusan Masalah

Dalam era digital saat ini, pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan dalam bidang kesehatan semakin berkembang pesat. Salah satu tantangan yang dihadapi dalam diagnosis penyakit katarak adalah kebutuhan akan proses klasifikasi yang cepat, akurat, dan dapat dipahami oleh tenaga medis. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini dirancang untuk menjawab permasalahan berikut:

1. Bagaimana mengintegrasikan model CNN Custom dan MobileNetV2 dalam klasifikasi citra mata untuk membedakan tiga kelas pada dataset katarak sinilis, yaitu: Katarak Immature, Katarak Mature, dan Normal?
2. Bagaimana metode *Grad-CAM* dapat digunakan untuk menjelaskan area-area penting dalam citra yang menjadi dasar pengambilan keputusan oleh model *CNN Custom* dan MobileNetV2?
3. Bagaimana penerapan *Grad-CAM* Dapat Digunakan Untuk Memberikan Interpretasi Visual Terhadap Prediksi Model, Sehingga Mendukung Transparansi Dan Validasi Hasil Klasifikasi Dalam Konteks Citra Medis?

C. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan agar ruang lingkupnya tetap terfokus dan dapat diselesaikan secara optimal. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang Digunakan

Penelitian ini hanya menggunakan dataset citra mata yang terdiri dari tiga kelas, yaitu katarak immature, katarak mature, dan mata normal. Dataset yang digunakan berasal dari sumber terbuka (open dataset) dan hanya mencakup citra RGB. Data citra dari penyakit mata lainnya atau format citra selain RGB tidak digunakan dalam penelitian ini.

2. **Model dan Metode yang Digunakan**

Penelitian ini bertujuan untuk menggabungkan model CNN Custom dan MobileNetV2 dalam klasifikasi citra katarak sinilis. Penelitian ini juga menerapkan metode Explainable AI (XAI) dengan menggunakan Grad-CAM untuk memvisualisasikan area penting pada citra yang menjadi acuan dalam proses klasifikasi. Model deep learning lain maupun metode Explainable AI selain Grad-CAM tidak dibahas dalam ruang lingkup penelitian ini.

3. **Ruang Lingkup Evaluasi**

Evaluasi performa model dilakukan menggunakan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score. Visualisasi Grad-CAM digunakan untuk mengevaluasi interpretabilitas model. Validasi hasil klasifikasi hanya berdasarkan label pada dataset tanpa melibatkan uji klinis atau verifikasi langsung oleh dokter spesialis mata.

D. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan utama untuk mengembangkan sebuah sistem klasifikasi citra katarak sinilis berbasis kecerdasan buatan yang tidak hanya akurat, tetapi juga dapat dijelaskan dan dipercaya oleh penggunanya. Adapun secara lebih rinci, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengevaluasi kombinasi arsitektur CNN Custom dan MobileNetV2 dalam klasifikasi citra katarak sinilis untuk membedakan tiga kondisi mata, yaitu katarak immature, katarak mature, dan mata normal. Evaluasi ini diharapkan memberikan gambaran performa klasifikasi berdasarkan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score dalam konteks diagnosis berbasis citra digital.

- b. Menerapkan pendekatan *feature-level fusion* antara CNN Custom dan MobileNetV2 serta mengintegrasikan Grad-CAM dalam proses klasifikasi citra katarak sinilis. Penggabungan ini ditujukan untuk meningkatkan kualitas prediksi sekaligus menyediakan interpretasi visual terhadap hasil klasifikasi.
- c. Mengimplementasikan metode Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping) sebagai bagian dari pendekatan Explainable Artificial Intelligence (XAI) untuk memvisualisasikan area-area penting pada citra yang memengaruhi keputusan model, sehingga mempermudah pengguna dan tenaga medis dalam memahami hasil klasifikasi.
- d. Menilai sejauh mana penerapan Grad-CAM dalam proses klasifikasi dapat meningkatkan interpretabilitas dan transparansi model, agar hasil klasifikasi tidak hanya akurat secara numerik, tetapi juga dapat diverifikasi dan dipertanggungjawabkan secara klinis oleh tenaga medis.

2. Manfaat Penelitian:

a. Manfaat Teoritis:

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang klasifikasi citra medis berbasis deep learning. Melalui evaluasi kombinasi arsitektur CNN Custom dan MobileNetV2 yang dirancang agar efisien dan adaptif, penelitian ini memperkaya kajian tentang optimalisasi model CNN yang tidak hanya menekankan akurasi, tetapi juga efisiensi komputasi dan kemampuan diterapkan pada perangkat dengan sumber daya terbatas.

Selain itu, penelitian ini mendukung penguatan penerapan *Explainable Artificial Intelligence (XAI)* dalam bidang kesehatan, melalui pemanfaatan metode *Grad-CAM* sebagai alat bantu visual yang menjelaskan area penting dalam citra sebagai dasar pengambilan keputusan klasifikasi. Integrasi

Grad-CAM diharapkan dapat meningkatkan pemahaman pengguna terhadap hasil klasifikasi dan mendukung proses verifikasi oleh tenaga medis secara lebih transparan.

Penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi studi selanjutnya yang mengutamakan keterjelasan dan transparansi dalam sistem klasifikasi citra medis. Dengan mengedepankan pendekatan yang dapat dijelaskan secara visual, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode kecerdasan buatan yang lebih informatif, terpercaya, dan mendukung praktik klinis yang bertanggung jawab.

b. Manfaat Praktis:

1. Menghasilkan model klasifikasi katarak sinilis yang efisien dan mudah digunakan.

Model yang dihasilkan dari penggabungan CNN Custom, MobileNetV2, dan Grad-CAM dirancang agar ringan dan cepat diproses. Dengan karakteristik tersebut, model ini tidak memerlukan perangkat dengan spesifikasi tinggi dan dapat dengan mudah diadaptasi untuk digunakan di berbagai fasilitas kesehatan, termasuk di daerah yang memiliki keterbatasan sumber daya.

2. Mempermudah dan mempercepat proses skrining awal katarak sinilis secara otomatis.

Model klasifikasi hasil penggabungan ini mampu membantu tenaga medis dalam mendeteksi katarak sinilis secara lebih cepat dan praktis. Hal ini sangat bermanfaat, terutama di wilayah yang sulit dijangkau atau di daerah yang kekurangan tenaga spesialis mata, sehingga proses skrining awal dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien.

3. Menyediakan hasil klasifikasi yang dapat dipahami secara visual oleh pengguna.

Melalui integrasi Grad-CAM dalam model yang dibangun, hasil klasifikasi tidak hanya disajikan dalam bentuk angka, tetapi juga dilengkapi dengan visualisasi area penting pada citra yang menjadi dasar pengambilan keputusan model, sehingga memudahkan pemahaman pengguna.

4. Meningkatkan kepercayaan dan kenyamanan pengguna terhadap model klasifikasi berbasis AI.

Visualisasi Grad-CAM yang terintegrasi dalam model membantu mengurangi keraguan terhadap hasil yang diberikan oleh sistem berbasis AI. Dengan adanya visualisasi tersebut, keputusan yang dihasilkan oleh model menjadi lebih transparan dan tidak bersifat black box, sehingga dapat meningkatkan kepercayaan dan kenyamanan pengguna dalam menginterpretasikan hasil klasifikasi.

BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

1. Pengembangan model klasifikasi citra katarak sinilis menggunakan *arsitektur CNN Custom* dan *MobileNetV2* menunjukkan potensi besar dalam mendukung proses diagnosis penyakit katarak secara otomatis. Dengan kemampuan membedakan antara mata normal, katarak immature, dan katarak mature, model ini mampu mempercepat proses identifikasi penyakit dan mengurangi ketergantungan pada pemeriksaan manual. Pendekatan ini menawarkan solusi yang efisien dan praktis dalam pemrosesan citra digital, sehingga dapat menjadi alat bantu diagnostik yang relevan dan bermanfaat di lingkungan medis, terutama dalam meningkatkan kecepatan dan akurasi deteksi katarak sinilis.
2. Perbandingan performa antara model *CNN Custom* dan *MobileNetV2* dalam klasifikasi citra katarak sinilis memberikan gambaran yang jelas mengenai efektivitas masing-masing arsitektur. Melalui evaluasi menggunakan metrik akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score*, diperoleh informasi mengenai keunggulan relatif dari tiap model dalam mendeteksi kondisi mata. Hasil evaluasi ini menjadi dasar penting dalam memilih model yang paling sesuai untuk kebutuhan diagnostik di dunia medis, dengan mempertimbangkan tingkat ketepatan klasifikasi serta efisiensi implementasi di lapangan.
3. Integrasi metode *Grad-CAM* sebagai pendekatan *Explainable Artificial Intelligence* (XAI) dalam sistem klasifikasi citra katarak sinilis berhasil meningkatkan transparansi dalam pengambilan keputusan oleh model. Visualisasi area-area penting pada citra mata memungkinkan

pengguna, termasuk tenaga medis, untuk memahami alasan di balik setiap prediksi yang diberikan sistem. Dengan demikian, penggunaan Grad-CAM tidak hanya menambah nilai interpretabilitas, tetapi juga meningkatkan kepercayaan terhadap hasil klasifikasi karena dapat dijelaskan secara visual dan lebih mudah diverifikasi.

4. Evaluasi terhadap penggunaan *Grad-CAM* menunjukkan bahwa metode ini berperan penting dalam meningkatkan interpretabilitas dan transparansi sistem klasifikasi citra katarak sinilis. Visualisasi yang dihasilkan memungkinkan tenaga medis untuk memahami dasar pengambilan keputusan model secara lebih jelas dan intuitif.
5. Dengan demikian, sistem tidak hanya menyajikan hasil prediksi yang akurat, tetapi juga mampu memberikan penjelasan yang dapat dipertanggungjawabkan secara klinis.



B. SARAN

1. Model yang telah dikembangkan sebaiknya diuji lebih lanjut menggunakan data nyata dari rumah sakit atau klinik mata untuk memastikan akurasi dan keandalannya dalam kondisi dunia nyata. Serta disarankan untuk memperluas jumlah dan keberagaman data citra mata guna meningkatkan generalisasi model serta meminimalkan bias klasifikasi. Model ini dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi bagian dari sistem diagnosa terintegrasi yang dapat digunakan oleh tenaga medis, lengkap dengan antarmuka pengguna yang ramah dan fitur interpretasi hasil. Perlu disediakan pelatihan atau panduan bagi tenaga medis agar mereka memahami cara kerja dan interpretasi hasil klasifikasi yang dihasilkan oleh sistem, sehingga pemanfaatannya dapat optimal dan sesuai konteks klinis.
2. Gunakan model dengan performa terbaik secara konsisten dalam implementasi sistem diagnosis untuk hasil yang lebih andal. Lakukan validasi lanjutan dengan data dari sumber berbeda agar model benar-benar siap digunakan secara luas. Lakukan penyempurnaan pada arsitektur atau teknik pelatihan, khususnya untuk model dengan performa lebih rendah, agar potensinya dapat dimaksimalkan. Pertimbangkan aspek efisiensi, kecepatan inferensi, dan kebutuhan perangkat keras saat memilih model untuk penggunaan di lapangan.
3. Tetap gunakan *Grad-CAM* dalam sistem klasifikasi untuk menjaga transparansi hasil prediksi dan Lakukan optimasi pada visualisasi *Grad-CAM* agar lebih presisi dan mudah dipahami oleh tenaga media. Uji sejauh mana dokter dapat memahami dan menggunakan hasil visualisasi dalam praktik nyata. Libatkan dokter atau ahli mata dalam menilai kejelasan dan kegunaan visualisasi *Grad-CAM* untuk validasi klinis yang lebih kuat.

4. Tingkatkan kualitas dan kejelasan visualisasi *Grad-CAM* agar area fokus lebih tajam dan informatif, sehingga mudah dipahami oleh tenaga medis. Lakukan uji coba penggunaan *Grad-CAM* bersama dokter atau praktisi medis untuk mengevaluasi sejauh mana visualisasi membantu dalam proses pengambilan keputusan. Sediakan tampilan visual *Grad-CAM* secara langsung pada aplikasi atau sistem klasifikasi agar pengguna dapat melihat alasan prediksi secara real-time. Buat panduan atau pelatihan singkat bagi pengguna medis agar mereka dapat menafsirkan visualisasi *Grad-CAM* dengan benar dan konsisten. Evaluasi secara berkala efektivitas *Grad-CAM* dalam meningkatkan kepercayaan pengguna, serta sesuaikan pendekatan visualisasi berdasarkan umpan balik dari lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Elaziz, M., Ewees, A. A., Yousri, D., Alwerfali, H. S. N., Awad, Q. A., Lu, S., & Al-Qaness, M. A. A. (2020). An improved marine predators algorithm with fuzzy entropy for multi-level thresholding: real world example of COVID-19 CT image segmentation. *Ieee Access*, 8, 125306–125330.
- Albahli, S., & Ahmad Hassan Yar, G. N. (2022). Automated detection of diabetic retinopathy using custom convolutional neural network. *Journal of X-Ray Science and Technology*, 30(2), 275–291.
- Alfarizi, M. R. S., Al-farish, M. Z., Taufiqurrahman, M., Ardiansah, G., & Elgar, M. (2023). Penggunaan Python sebagai bahasa pemrograman untuk machine learning dan deep learning. *Karimah Tauhid*, 2(1), 1–6.
- Allaam, M. R. R., & Wibowo, A. T. (2021). Klasifikasi Genus Tanaman Anggrek Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN). *E-Proceeding of Engineering*, 8(2), 3150–3179.
- Alwanda, M. R., Ramadhan, R. P. K., & Alamsyah, D. (2020). Implementasi metode convolutional neural network menggunakan arsitektur LeNet-5 untuk pengenalan doodle. *Jurnal Algoritme*, 1(1), 45–56.
- Antoko, T. D., Ridani, M. A., & Minarno, A. E. (2021). Klasifikasi Buah Zaitun Menggunakan Convolution Neural Network. *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, 10(2), 119–126.
- Bahrani, M., & Albadvi, A. (2024). Deep Learning for Identifying Iran's Cultural Heritage Buildings in Need of Conservation Using Image Classification and Grad-CAM. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, 17(1), 1–20.
- Batubara, N. A., Awangga, R. M., & Pane, S. F. (2020). *Perbandingan Faster R-CNN dengan SSD Mobilenet Untuk Mendeteksi Plat Nomor* (Vol. 1). Kreatif.
- Borys, K., Schmitt, Y. A., Nauta, M., Seifert, C., Krämer, N., Friedrich, C. M., & Nensa, F. (2023). Explainable AI in medical imaging: An overview for clinical practitioners—Beyond saliency-based XAI approaches. *European Journal of Radiology*, 162, 110786.
- Bu'ulolo, G. J., Jacobus, A., & Kambey, F. D. (2021). Identifikasi Citra Penyakit Mata Katarak Menggunakan Convolutional Neural Network. *Jurnal Teknik Informatika*, 16(4), 375–382.
- Choudhary, A., Ahlawat, S., Urooj, S., Pathak, N., Lay-Ekuakille, A., & Sharma, N. (2023). A deep learning-based framework for retinal disease classification. *Healthcare*, 11(2), 212.

- Darwis, D., & Pasaribu, A. F. O. (2020). Komparasi Metode DWT Dan SVD Untuk Mengukur Kualitas Citra Steganografi. *Network Engineering Research Operation*, 5(2), 100–108.
- Destiawan, S. (2024). *Identifikasi Jenis-Jenis Kayu Menggunakan Convolutional Neural Network Dengan Arsitektur Resnet-50*. KODEUNIVERSITAS041060# UniversitasBuddhiDharma.
- Dewi, I. T. (2025). *Decision support system untuk mengetahui jalan berlubang menggunakan Augmentasi Citra berbasis Watershed dan PCA Clustering*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Febrianto, D. C., Soesanti, I., & Nugroho, H. A. (2020). Convolutional neural network for brain tumor detection. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 771(1), 12031.
- Gayathri, S., Saran, S., Kumar, P. S., & Singh, I. P. (2023). Cataract disease classification using convolutional neural network architectures. *2023 Second International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)*, 992–998.
- Haksoro, E. I., & Setiawan, A. (2021). Pengenalan Jamur Yang Dapat Dikonsumsi Menggunakan Metode Transfer Learning Pada Convolutional Neural Network. *Jurnal ELTIKOM*, 5(2), 81–91. <https://doi.org/10.31961/eltikom.v5i2.428>
- Hendriyana, H., & Maulana, Y. H. (2021). Identifikasi jenis kayu menggunakan convolutional neural network dengan arsitektur mobilenet. *Jurnal Resti*, 4(1).
- Khan, M. A., & Auvee, R. B. Z. (2024). Comparative Analysis of Resource-Efficient CNN Architectures for Brain Tumor Classification. *2024 27th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)*, 639–644.
- Kolekar, S., Gite, S., Pradhan, B., & Alamri, A. (2022). Explainable AI in scene understanding for autonomous vehicles in unstructured traffic environments on Indian roads using the inception U-Net Model with Grad-CAM visualization. *Sensors*, 22(24), 9677.
- LA ODE, A. S. S. (2024). *PENGARUH PENINGKATAN KUALITAS CITRA BERBASIS CLAHE PADA KLASIFIKASI TINGKAT KEPARAHAN DIABETIC RETINOPATHY MENGGUNAKAN ResNet50*.
- Marpaung, F., Aulia, F., & Nabila, R. C. (2022). *Computer Vision Dan Pengolahan Citra Digital*. PUSTAKA AKSARA.
- Mohammed, B. A., & Al-Ani, M. S. (2021). An efficient approach to diagnose brain tumors through deep CNN. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 18(1), 851–867.
- Mulyana, D. I., & Alifah, R. (2024). Optimasi Deteksi Tumor Otak

- Menggunakan Adaptive Multiscale Retinex dan YOLOV10 Pada Citra Digital. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, 5(3), 2742–2751.
- Navixy. (2023). *Enhance user interfaces instantly with Navixy's no-code solution*.
- Nugraha, F. A., Harani, N. H., & Habibi, R. (2020). *Analisis Sentimen Terhadap Pembatasan Sosial Menggunakan Deep Learning*. Kreatif.
- Nurcahyati, A. D., Akbar, R. M., & Zahara, S. (2022). Klasifikasi citra penyakit pada daun jagung menggunakan deep learning dengan metode Convolution Neural Network (CNN). *SUBMIT: Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Dan Sains*, 2(1), 43–51.
- Peryanto, A., Yudhana, A., & Umar, R. (2020). Rancang bangun klasifikasi citra dengan teknologi deep learning berbasis metode convolutional neural network. *Format J. Ilm. Tek. Inform*, 8(2), 138.
- Pilania, U., Diwakar, C., Arora, K., & Chaudhary, S. (2022). An optimized hybrid approach to detect cataract. *2022 IEEE Global Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GlobConPT)*, 1–5.
- Putro, E. C., & Awangga, R. M. (2020). *Tutorial Gender Classification Using The You Look Only Once (YOLO)* (Vol. 1). Kreatif.
- Qulub, M. S. (2024). Identifikasi Penyakit Mata Dengan Klasifikasi Citra Foto Fundus Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN). *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika (JATI)*, 8(5), 11034–11039.
- Ramadhani, F., Satria, A., & Salamah, S. (2023). Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network dalam Mengidentifikasi Dini Penyakit pada Mata Katarak. *Sudo Jurnal Teknik Informatika*, 2(4), 167–175. <https://doi.org/10.56211/sudo.v2i4.408>
- Salamah, U. G., & St, S. (2021). *Tutorial Visual Studio Code*. Media Sains Indonesia.
- Setyawan, W. D., Nilogiri, A., & A'yun, Q. (2023). Implementasi Convolution Neural Network (CNN) Untuk Klasifikasi Pada Citra Ikan Cupang Hias. *JTIK (Jurnal Teknik Informatika Kaputama)*, 7(1), 101–110.
- Siahaan, V., & Sianipar, R. H. (2020). *Panduan praktis dan komplet Pemrosesan Citra Digital dengan Matlab*. Balige Publishing.
- Sidik, A. D. W. M., Suryana, A., Artiyasa, M., Junfithrana, A. P., Kusumah, I. H., & Imamulhak, Y. (2021). Pengenalan Ekspresi Wajah Menggunakan Teknik Filter Wavelet Gabor. *FIDELITY: Jurnal Teknik Elektro*, 3(1), 1–4.
- Soud, A., Sakli, N., & Sakli, H. (2021). Classification and predictions of lung diseases from chest x-rays using mobilenet v2. *Applied*

- Sciences*, 11(6), 2751.
- Tahyudin, I. (2020). *Pengenalan Machine Learning Menggunakan Jupyter Notebook* (Vol. 1). Zahira Media Publisher.
- Team, K. (2025). *Keras Applications*. Keras.
<https://keras.io/api/applications/#usage-examples-for-image-classification-models>
- Veza, O., Kom, S., Kom, M., Agustini, S., Kom, S., & Kom, M. (2025). *PENGENALAN DASAR PENGOLAHAN CITRA*. Cendikia Mulia Mandiri.
- Winnarto, M. N. (2021). *PENERAPAN ARSITEKTUR MOBILENETV2 PADA KLASIFIKASI PENYAKIT DAUN TEH* [Universitas Nusa Mandiri]. <https://repository.bsi.ac.id/>
- Yudianto, M. R. A., Kusrini, K., & Al Fatta, H. (2020). Analisis Pengaruh Tingkat Akurasi Klasifikasi Citra Wayang dengan Algoritma Convolutional Neural Network. *Jurnal Teknologi Informasi*, 4(2).