

**PENERAPAN GRAD-CAM PADA MODEL DEEP LEARNING
UNTUK INTEREPRETASI HASIL DETEKSI PNEUMONIA
PADA CITRA X-RAY**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Sarjana
Program Studi Informatika



disusun oleh

KUKUH SETIADI

22.11.4871

Kepada

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2026

**PENERAPAN GRAD-CAM PADA MODEL DEEP LEARNING
UNTUK INTERPRETASI HASIL DETEKSI PNEUMONIA
PADA CITRA X-RAY**

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Sarjana
Program Studi Informatika



disusun oleh

KUKUH SETIADI

22.11.4871

Kepada

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2026

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PENERAPAN GRAD-CAM PADA MODEL DEEP LEARNING
UNTUK INTEREPRETASI HASIL DETEKSI PNEUMONIA
PADA CITRA X-RAY**

yang disusun dan diajukan oleh

Kukuh Setiadi

22.11.4871

telah disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi
pada tanggal 28 Januari 2026

Dosen Pembimbing,



Ferian Fauzi Abdulloh, S.Kom., M.Kom.

NIK. 1903002276

HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI
PENERAPAN GRAD-CAM PADA MODEL DEEP LEARNING
UNTUK INTERPRETASI HASIL DETEKSI PNEUMONIA
PADA CITRA X-RAY

yang disusun dan diajukan oleh

Kukuh Setiadi

22.11.4871

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 28 Januari 2026

Susunan Dewan Penguji

Nama Penguji

Tanda Tangan

Afrig Aminuddin, S.Kom., M.Eng., Ph.D.
NIK. 190302351

Bambang Pilu Hartato, S.Kom., M.Eng.
NIK. 190302707

Ferian Fauzi Abdulloh, S.Kom., M.Kom.
NIK. 190302276



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer
Tanggal 28 Januari 2026

DEKAN FAKULTAS ILMU KOMPUTER



Prof. Dr. Kusrini, M.Kom.
NIK. 190302106

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini,

Nama mahasiswa : **Kukuh Setiadi**
NIM : **22.11.4871**

Menyatakan bahwa Skripsi dengan judul berikut:

PENERAPAN GRAD-CAM PADA MODEL DEEP LEARNING UNTUK INTEREPRETASI HASIL DETEKSI PNEUMONIA PADA CITRA X-RAY

Dosen Pembimbing : **Ferian Fauzi Abdulloh, M.Kom.**

1. Karya tulis ini adalah benar-benar **ASLI** dan **BELUM PERNAH** diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas AMIKOM Yogyakarta maupun di Perguruan Tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian **SAYA** sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan disebutkan dalam Daftar Pustaka pada karya tulis ini.
4. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab **SAYA**, bukan tanggung jawab Universitas AMIKOM Yogyakarta.
5. Pernyataan ini **SAYA** buat dengan sesungguhnya, apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka **SAYA** bersedia menerima **SANKSI AKADEMIK** dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Perguruan Tinggi.

Yogyakarta, 28 Januari 2026

Yang Menyatakan,



Kukuh Setiadi

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam ke hadirat Allah SWT, skripsi ini dipersembahkan kepada:

1. Allah SWT, atas segala rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis diberikan Kesehatan, kekuatan dan kemudahan dalam menyelesaikan skripsi ini hingga tahap akhir.
2. Kedua orang tua tercinta, atas doa yang tiada henti, kasih sayang yang tulus, dukungan moril dan materil perjalanan pendidikan penulis hingga tahap ini.
3. Kakak penulis, atas dukungan, perhatian, dan motivasi yang selalu diberikan kepada penulis dalam menghadapi setiap proses dan tantangan selama penyusunan skripsi.
4. Dosen Pembimbing, Bapak Ferian Fauzi Abdulloh, S.Kom., M.Kom., atas bimbingan, arahan, kesabaran, serta ilmu yang telah diberikan selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
5. Seluruh dosen dan civitas akademika Universitas AMIKOM Yogyakarta, yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan.
6. Teman-teman seperjuangan di kelas 22IF05, atas kebersamaan, dukungan, dan semangat yang saling menguatkan hingga skripsi ini dapat diselesaikan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Informatika jenjang Strata Satu (S-1) pada Fakultas Ilmu Komputer, Universitas AMIKOM Yogyakarta.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. M. Suyanto, M.M., selaku Rektor Universitas AMIKOM Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Kusriani, M.Kom., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer.
3. Ibu Eli Pujastuti, M.Kom., selaku Kepala Prodi Informatika.
4. Bapak Ferian Fauzi Abdulloh, M.Kom., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi.
5. Bapak Afrig Aminuddin, S.Kom., M.Eng., Ph.D., dan Bapak Bambang Pulu Hartato, S.Kom., M.Eng., selaku Dosen Penguji, atas masukan dan saran yang diberikan demi penyempurnaan skripsi ini.
6. Orang tua dan keluarga penulis, atas segala cinta, kasih sayang, doa, serta pengorbanan yang tidak ternilai harganya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang informatika dan penerapan *deep learning* pada citra medis.

Yogyakarta, 30 Januari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

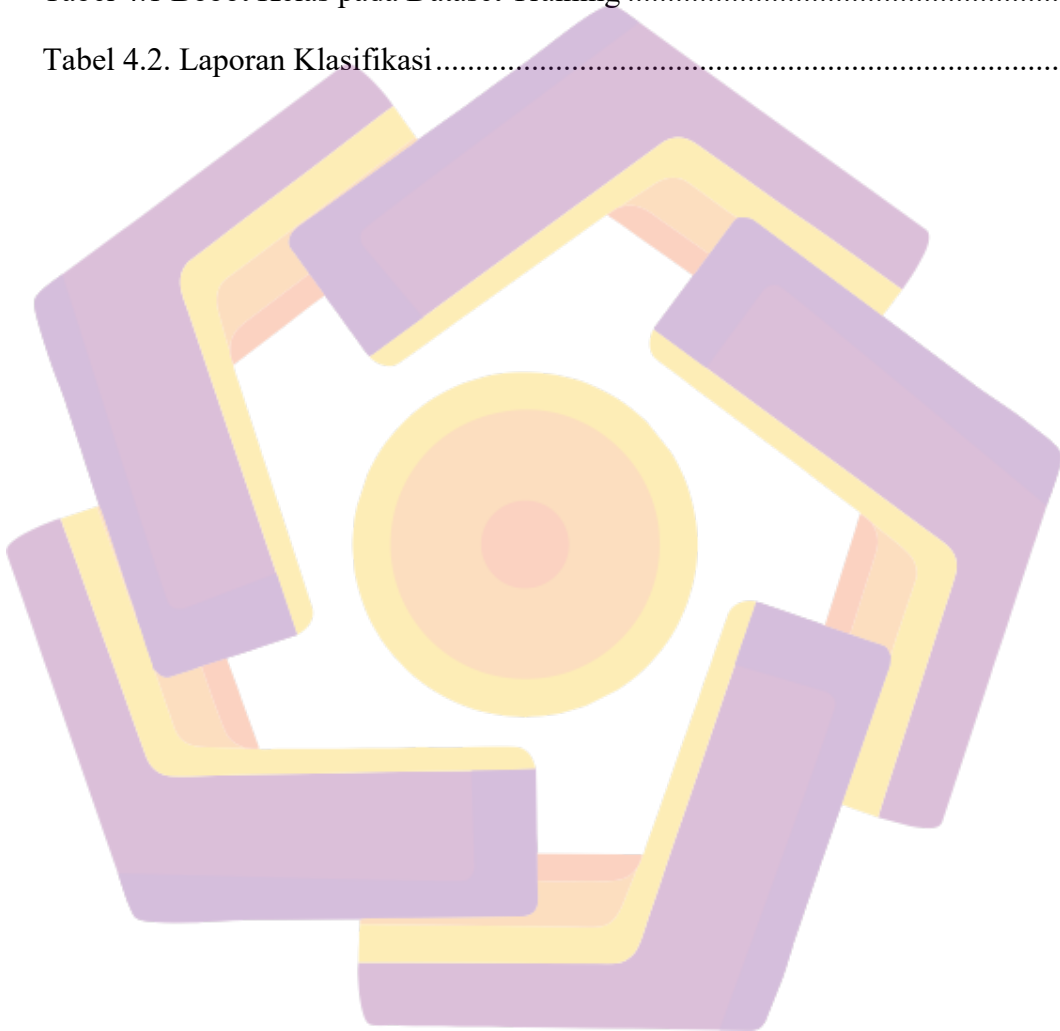
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xii
DAFTAR ISTILAH	xiii
INTISARI	xviii
ABSTRACT.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Studi Literatur	5
2.2 Dasar Teori.....	10
2.2.1 Pneumonia.....	10

2.2.2	Citra <i>X-Ray</i> Dada	10
2.2.3	<i>Deep Learning</i>	12
2.2.4	<i>Convolutional Neural Network</i> (CNN)	12
2.2.5	Penanganan Ketidakseimbangan Kelas (<i>Class Weight</i>)	14
2.2.6	<i>Transfer Learning</i>	15
2.2.7	DenseNet121	16
2.2.8	Grad-CAM (<i>Gradient-weighted Class Activation Mapping</i>)	18
2.2.9	Evaluasi	20
BAB III METODE PENELITIAN		22
3.1	Objek Penelitian	22
3.2	Alur Penelitian	22
3.2.1	Identifikasi Masalah	23
3.2.2	Studi Literatur	23
3.2.3	Pengumpulan Data	24
3.2.4	Normalisasi Data	24
3.2.5	Augmentasi Data	24
3.2.6	Penanganan Ketidakseimbangan Kelas	25
3.2.7	Inisialisasi Model	25
3.2.8	<i>Feature Extraction</i>	26
3.2.9	<i>Fine-Tuning</i>	27
3.2.10	Evaluasi	27
3.2.11	Grad-CAM	27
3.2.12	<i>Overlay</i> Grad-CAM	28
3.2.13	Kesimpulan	28
3.3	Alat dan Bahan	28

3.3.1	Data Penelitian	28
3.3.2	Alat/Instrumen Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		30
4.1	Pengumpulan Data	30
4.2	Pra-Pemrosesan Data	31
4.2.1	Normalisasi Data.....	31
4.2.2	Augmentasi Data.....	31
4.2.3	Penanganan Ketidakseimbangan Kelas	32
4.3	Pemodelan.....	33
4.3.1	Inisialisasi Model	33
4.3.2	<i>Feature Extraction</i>	33
4.3.3	<i>Fine-Tuning</i>	34
4.4	Evaluasi.....	35
4.5	Interpretasi Visual	36
4.6	Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu	38
4.7	Pembahasan.....	39
BAB V PENUTUP		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	42
REFERENSI		43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Keaslian Penelitian	7
Tabel 2.2 Komponen Utama Convolutional Neural Network.	13
Tabel 3.1. Konfigurasi Model	26
Tabel 4.1 Bobot Kelas pada Dataset Training	32
Tabel 4.2. Laporan Klasifikasi	35



DAFTAR GAMBAR

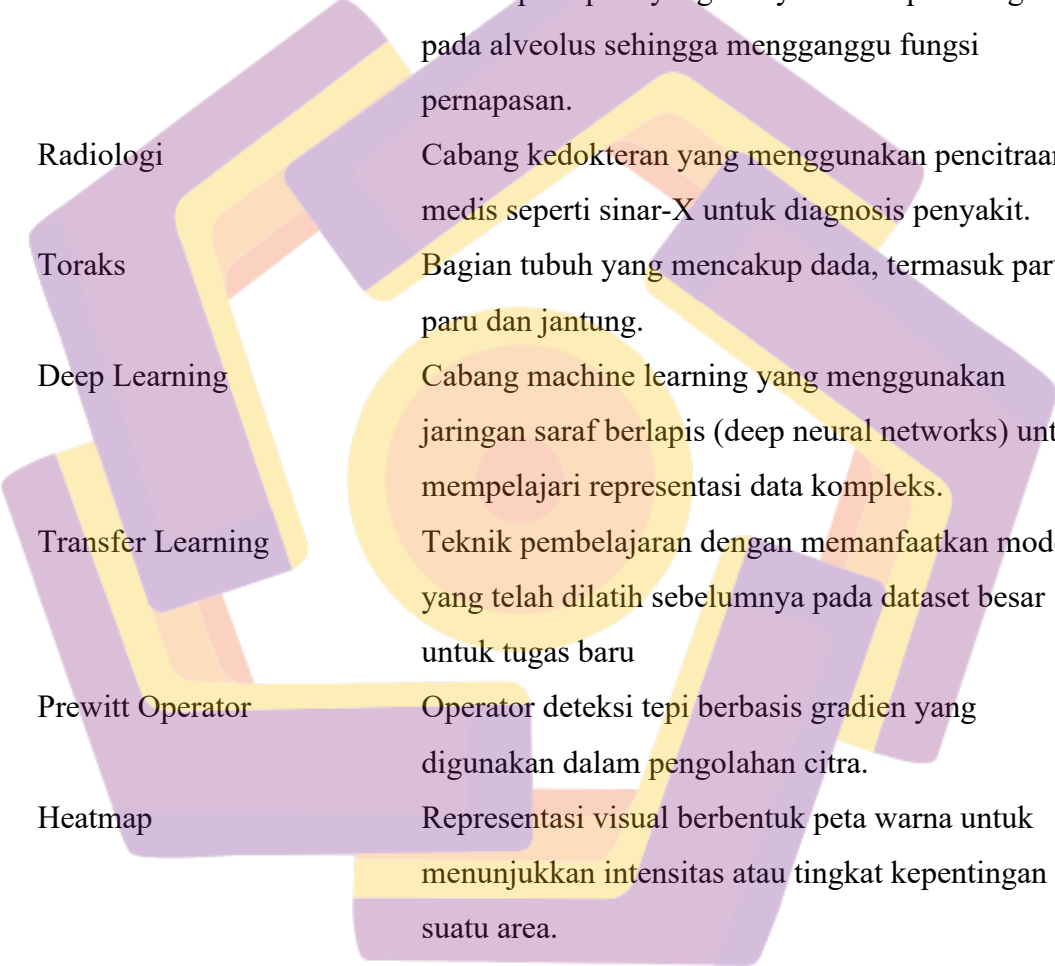
Gambar 2.1. Ilustrasi Pneumonia	10
Gambar 2.2. Citra X-Ray dada paru-paru normal dan paru-paru dengan area opacity.....	11
Gambar 2.3. Struktur dasar CNN.....	13
Gambar 2.4. Ilustrasi konsep transfer learning dalam deep learning.	15
Gambar 2.5. Ilustrasi Dense Connectivity pada Arsitektur DenseNet.....	17
Gambar 2.6. Ilustrasi Proses Grad-CAM pada Klasifikasi Citra X-Ray	19
Gambar 3.1. Alur Penelitian	23
Gambar 4.1. Gambar X-Ray Pneumonia dan Normal	30
Gambar 4.2. Distribusi kelas Normal dan Pneumonia pada Train, Validation, dan Test.....	31
Gambar 4.3. Hasil Augmentasi dari train_generator	32
Gambar 4.4. History Feature Extraction	34
Gambar 4.5. Hasil Fine Tuning.....	35
Gambar 4.6. Confusion Matrix Normal dan Pneumonia.	36
Gambar 4.7. Visualisasi Grad-CAM pada sampel citra Pneumonia.....	37
Gambar 4.8. Visualisasi Grad-CAM pada sampel citra Normal.....	37

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

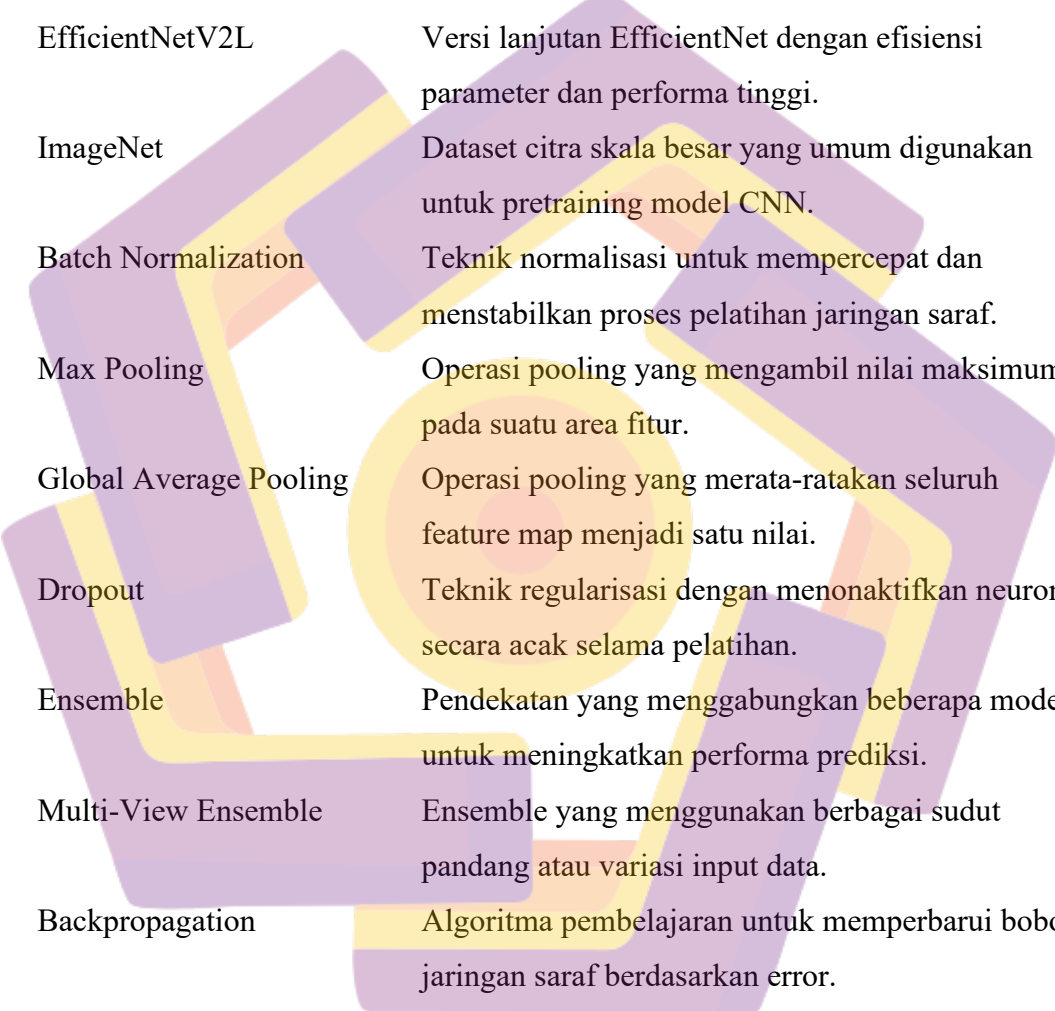


WHO	World Health Organization
Kemenkes	Kementerian Kesehatan Republik Indonesia
DL	Deep Learning
CNN	Convolutional Neural Networks
X-Ray	X-radiation
CAM	Class Activation Map
Grad-CAM	Gradient-weighted Class Activation Mapping
2D	Two-Dimensional
CTScan	Computed Tomography Scan
MRI	Magnetic Resonance Imaging
ReLU	Rectified Linear Units
XAI	Explainable Artificial Intelligence
GAP	Global Average Pooling
TP	True Positive
TN	True Negative
FP	False Positive
FN	False Negative
MLP	Multi-Layer Perceptron

DAFTAR ISTILAH

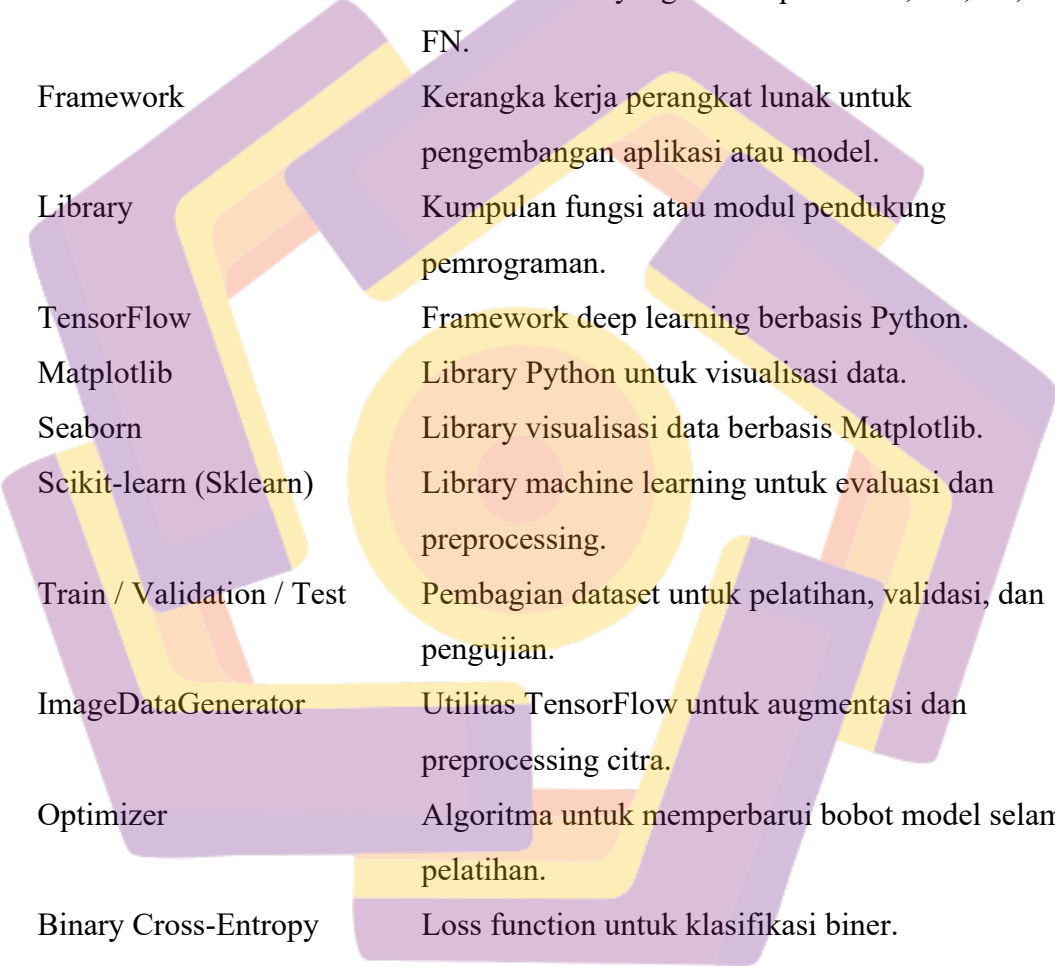


Alveoli	Kantung udara kecil di paru-paru tempat terjadinya pertukaran oksigen dan karbon dioksida.
Streptococcus pneumoniae	Bakteri patogen utama penyebab pneumonia bakteri pada manusia.
Pneumonia	Infeksi paru-paru yang menyebabkan peradangan pada alveolus sehingga mengganggu fungsi pernapasan.
Radiologi	Cabang kedokteran yang menggunakan pencitraan medis seperti sinar-X untuk diagnosis penyakit.
Toraks	Bagian tubuh yang mencakup dada, termasuk paru-paru dan jantung.
Deep Learning	Cabang machine learning yang menggunakan jaringan saraf berlapis (deep neural networks) untuk mempelajari representasi data kompleks.
Transfer Learning	Teknik pembelajaran dengan memanfaatkan model yang telah dilatih sebelumnya pada dataset besar untuk tugas baru
Prewitt Operator	Operator deteksi tepi berbasis gradien yang digunakan dalam pengolahan citra.
Heatmap	Representasi visual berbentuk peta warna untuk menunjukkan intensitas atau tingkat kepentingan suatu area.
Blackbox	Istilah yang menggambarkan model yang sulit diinterpretasikan proses pengambilan keputusannya.
DenseNet121	Arsitektur CNN dengan koneksi padat antar layer yang terdiri dari 121 layer.
InceptionResNetV2	Arsitektur CNN yang menggabungkan konsep Inception dan residual connection.



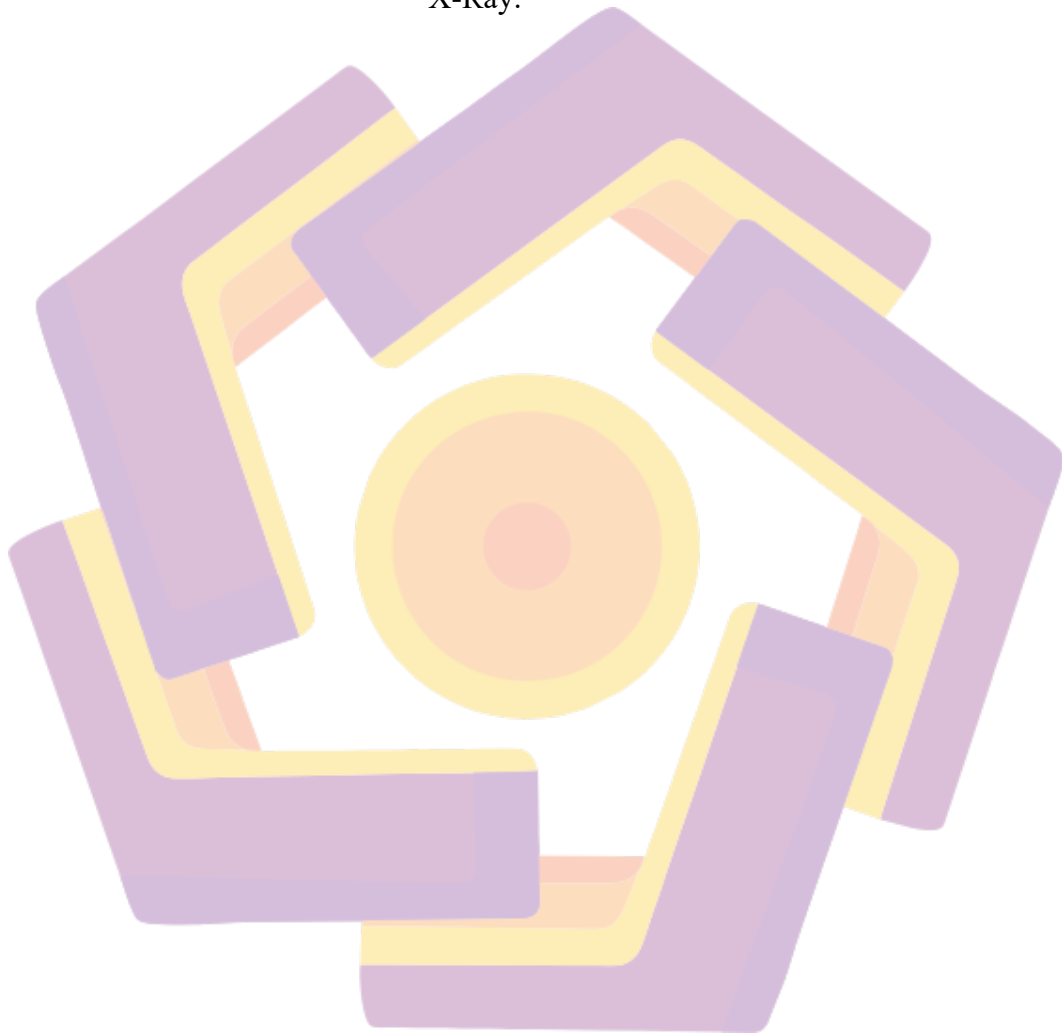
Xception	Arsitektur CNN berbasis depthwise separable convolution.
VGG16	Arsitektur CNN dengan 16 layer berbobot yang menggunakan kernel konvolusi kecil.
ResNet50	Arsitektur CNN dengan 50 layer yang menggunakan residual learning.
EfficientNetV2L	Versi lanjutan EfficientNet dengan efisiensi parameter dan performa tinggi.
ImageNet	Dataset citra skala besar yang umum digunakan untuk pretraining model CNN.
Batch Normalization	Teknik normalisasi untuk mempercepat dan menstabilkan proses pelatihan jaringan saraf.
Max Pooling	Operasi pooling yang mengambil nilai maksimum pada suatu area fitur.
Global Average Pooling	Operasi pooling yang merata-ratakan seluruh feature map menjadi satu nilai.
Dropout	Teknik regularisasi dengan menonaktifkan neuron secara acak selama pelatihan.
Ensemble	Pendekatan yang menggabungkan beberapa model untuk meningkatkan performa prediksi.
Multi-View Ensemble	Ensemble yang menggunakan berbagai sudut pandang atau variasi input data.
Backpropagation	Algoritma pembelajaran untuk memperbarui bobot jaringan saraf berdasarkan error.
Feed-forward	Proses aliran data dari input menuju output tanpa loop balik.
Fully Connected Layer	Layer di mana setiap neuron terhubung ke seluruh neuron pada layer sebelumnya.
Overfitting	Kondisi ketika model terlalu menyesuaikan data latih sehingga kinerjanya buruk pada data baru.

Convolutional Layer	Layer CNN yang mengekstraksi fitur spasial dari citra.
Activation Function	Fungsi non-linear yang menentukan output neuron.
Pooling Layer	Layer untuk mereduksi dimensi feature map.
Softmax	Fungsi aktivasi untuk klasifikasi multikelas.
Sigmoid	Fungsi aktivasi yang menghasilkan output antara 0 dan 1.
Fine-tuning	Proses pelatihan lanjutan dengan membuka kembali sebagian layer pretrained.
Feature Map	Hasil keluaran dari convolutional layer yang merepresentasikan fitur citra.
Vanishing Gradient	Masalah gradien yang mengecil saat pelatihan jaringan dalam.
Flowchart	Diagram alur yang menggambarkan tahapan proses penelitian.
Pipeline	Rangkaian proses terstruktur dari input hingga output.
Pretrained Model	Model yang telah dilatih sebelumnya pada dataset besar.
On-the-fly	Proses yang dilakukan secara langsung saat pelatihan berlangsung.
Class Weight	Bobot kelas untuk menangani ketidakseimbangan data.
Loss Function	Fungsi untuk mengukur kesalahan prediksi model.
Feature Extraction	Proses ekstraksi fitur menggunakan convolutional base tanpa mengubah bobotnya.
Epoch	Satu kali iterasi penuh pelatihan terhadap seluruh data latih.
Callbacks	Fungsi tambahan yang dijalankan otomatis selama pelatihan model.



Learning Rate	Parameter yang mengontrol besar perubahan bobot saat pelatihan.
Accuracy	Proporsi prediksi yang benar terhadap seluruh data.
Precision	Proporsi prediksi positif yang benar.
Recall	Kemampuan model mendeteksi seluruh data positif.
F1-Score	Rata-rata harmonik antara precision dan recall.
Confusion Matrix	Tabel evaluasi yang menampilkan TP, TN, FP, dan FN.
Framework	Kerangka kerja perangkat lunak untuk pengembangan aplikasi atau model.
Library	Kumpulan fungsi atau modul pendukung pemrograman.
TensorFlow	Framework deep learning berbasis Python.
Matplotlib	Library Python untuk visualisasi data.
Seaborn	Library visualisasi data berbasis Matplotlib.
Scikit-learn (Sklern)	Library machine learning untuk evaluasi dan preprocessing.
Train / Validation / Test	Pembagian dataset untuk pelatihan, validasi, dan pengujian.
ImageDataGenerator	Utilitas TensorFlow untuk augmentasi dan preprocessing citra.
Optimizer	Algoritma untuk memperbarui bobot model selama pelatihan.
Binary Cross-Entropy	Loss function untuk klasifikasi biner.
Convolutional Base	Bagian awal CNN yang berfungsi sebagai ekstraktor fitur.
ModelCheckpoint	Callback untuk menyimpan model terbaik selama pelatihan.
EarlyStopping	Callback untuk menghentikan pelatihan saat kinerja tidak meningkat.

ReduceLROnPlateau	Callback untuk menurunkan learning rate saat performa stagnan.
Training Loss/Validation Loss	Nilai loss pada data latih dan validasi.
Probabilitas	Ukuran peluang suatu kejadian terjadi.
Opasitas	Tingkat kekeruhan atau kepadatan area pada citra X-Ray.



INTISARI

Pneumonia merupakan infeksi saluran pernapasan akut yang menjadi salah satu penyebab utama peningkatan angka kesakitan dan kematian, khususnya pada anak-anak. Di Indonesia, jumlah kasus pneumonia terus meningkat, sehingga diperlukan diagnosis yang cepat dan akurat. Pemeriksaan X-Ray dada menjadi metode utama dalam diagnosis pneumonia, namun interpretasi manual oleh radiolog bersifat subjektif dan rentan terhadap kesalahan. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pendukung diagnosis yang lebih objektif dan konsisten.

Penelitian ini menerapkan model *deep learning* berbasis *Convolutional Neural Networks* (CNN) untuk mendeteksi pneumonia pada citra X-Ray dada, serta mengintegrasikan metode *Gradient-weighted Class Activation Mapping* (Grad-CAM) guna meningkatkan interpretabilitas model. Tahapan penelitian meliputi pra-pemrosesan data, pelatihan dan *fine-tuning* model, evaluasi kinerja menggunakan metrik klasifikasi, serta visualisasi hasil prediksi melalui Grad-CAM.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa model mencapai akurasi sebesar 90,38% dengan kinerja yang seimbang pada setiap kelas. Visualisasi Grad-CAM memperlihatkan fokus model pada area paru-paru yang relevan secara klinis pada kasus pneumonia. Temuan ini menunjukkan bahwa model tidak hanya memiliki kinerja yang baik, tetapi juga mampu memberikan interpretasi visual yang mendukung kepercayaan klinis, sehingga berpotensi digunakan sebagai alat bantu diagnosis pneumonia.

Kata kunci: Grad-CAM, Deep Learning, Pneumonia, Citra X-Ray, Transfer Learning.

ABSTRACT

Pneumonia is an acute respiratory infection that is one of the leading causes of morbidity and mortality, especially in children. In Indonesia, the number of pneumonia cases continues to increase, requiring rapid and accurate diagnosis. Chest X-Rays are the primary method for diagnosing pneumonia, but manual interpretation by radiologists is subjective and prone to error. Therefore, a more objective and consistent diagnostic support system is needed.

This study applies a deep learning model based on Convolutional Neural Networks (CNN) to detect pneumonia in chest X-Ray images, and integrates the Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM) method to improve model interpretability. The research stages included data pre-processing, model training and fine-tuning, performance evaluation using classification metrics, and visualization of prediction results through Grad-CAM.

Test results show that the model achieves an accuracy of 90.38% with balanced performance across all classes. Grad-CAM visualization shows the model's focus on clinically relevant areas of the lungs in pneumonia cases. These findings indicate that the model not only performs well but also provides visual interpretations that support clinical confidence, making it a potential tool for pneumonia diagnosis.

Keyword: Grad-CAM, Deep Learning, Pneumonia, X-Ray Image, Transfer Learning.