



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



**IMPLEMENTASI SISTEM KLASIFIKASI COVID-19,
LUNG OPACITY, DAN PNEUMONIA PADA CITRA X-
RAY MENGGUNAKAN MOBILENETv2**

LAPORAN SKRIPSI

Muhammad Rachmadhani Kurniawan 2207411031

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
TAHUN 2026**



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



**IMPLEMENTASI SISTEM KLASIFIKASI COVID-19,
LUNG OPACITY, DAN PNEUMONIA PADA CITRA X-
RAY MENGGUNAKAN MOBILENETv2**

SKRIPSI

**Dibuat untuk Melengkapi Syarat-Syarat yang Diperlukan untuk
Memperoleh Diploma Empat Politeknik**

Muhammad Rachmadhani Kurniawan

2207411031

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
TAHUN 2026**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Rachmadhani Kurniawan
NIM : 2207411031
Jurusan / Program Studi : T. Informatika dan Komputer / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Implementasi Sistem Klasifikasi Covid-19, Lung Opacity, dan Pneumonia Pada Citra X-Ray Menggunakan MobileNetV2

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bebas dari peniruan terhadap karya orang lain. Kutipan pendapat dan tulisan orang lain ditunjuk sesuai dengan cara-cara penulisan karya ilmiah yang berlaku.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa dalam skripsi ini terkandung ciri-ciri plagiat dan bentuk-bentuk peniruan lain yang dianggap melanggar peraturan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Depok, 9 Juni 2026

Yang membuat pernyataan,



(Muhammad Rachmadhani
Kurniawan)

NIM. 2207411031

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Muhammad Rachmadhani Kurniawan
NIM : 2207411031
Jurusan / Program Studi : T. Informatika dan Komputer / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Implementasi Sistem Klasifikasi Covid-19, Lung Opacity, dan Pneumonia Pada Citra X-Ray Menggunakan MobileNetV2

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada hari Rabu, Tanggal 17, Bulan 06, Tahun 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Disahkan Oleh

Pembimbing : Euis Oktavianti, S.Si., M.T.I.

Penguji I : Dr. Dewi Yanti Liliana, S.Kom., M.Kom.

Penguji II : Rizki Elisa Nalawati, S.T., M.T.

Penguji III : Chairul Fikri, M.Kom.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Mengetahui,

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer

Ketua

Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom.

NIP. 197908032003122003

© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “IMPLEMENTASI SISTEM KLASIFIKASI COVID-19, LUNG OPACITY, DAN PNEUMONIA PADA CITRA X-RAY MENGGUNAKAN MOBILENETv2”.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Terapan Program Studi Teknik Informatika di Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom., selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika dan Komputer.
2. Ibu Euis Oktavianti, S.Si., M.T.I., selaku Kepala Program Studi Teknik Informatika dan dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Seluruh Bapak/Ibu guru atau dosen yang sudah mendidik penulis sehingga menjadi pribadi yang lebih baik.
4. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
5. Sahabat yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 9 Juni 2026

Muhammad Rachmadhani Kurniawan

NIM. 2207411031



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI **SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Rachmadhani Kurniawan
NIM : 2207411031
Jurusan / Program Studi : T. Informatika dan Komputer / Teknik Informatika
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Non-Ekklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul :

IMPLEMENTASI SISTEM KLASIFIKASI COVID-19, LUNG OPACITY, DAN PNEUMONIA PADA CITRA X-RAY MENGGUNAKAN MOBILENETv2

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Ekklusif ini, Politeknik Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 9 Juni 2026

Yang Menyatakan



(Muhammad Rachmadhani
Kurniawan)
NIM. 2207411031



IMPLEMENTASI SISTEM KLASIFIKASI COVID-19, LUNG OPACITY DAN PNEUMONIA PADA CITRA X-RAY MENGGUNAKAN MOBILENETv2

ABSTRAK

Penyakit pernapasan seperti COVID-19 dan pneumonia memerlukan diagnosis dini yang cepat dan akurat. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan model Deep Learning berarsitektur MobileNetV2 untuk klasifikasi citra Chest X-Ray ke dalam empat kelas (Normal, COVID-19, Lung Opacity, dan Viral Pneumonia) pada sebuah platform web. Sistem dikembangkan menggunakan integrasi metodologi CRISP-DM dan SDLC Waterfall. Eksperimen pemodelan dievaluasi melalui berbagai skenario pra-pemrosesan dan pendekatan klasifikasi. Hasil pengujian kinerja membuktikan bahwa pendekatan klasifikasi hierarkis (2-step modelling) menjadi skenario paling optimal, di mana MobileNetV2 berhasil mencapai akurasi 91% pada klasifikasi biner dan 95% pada klasifikasi multi-kelas, secara signifikan mengungguli arsitektur CNN konvensional. Integrasi antarmuka sistem menggunakan kerangka kerja Next.js pada sisi frontend dan FastAPI pada backend. Pengujian fungsionalitas Black Box mencatatkan tingkat keberhasilan 100%. Selain itu, evaluasi kepuasan antarmuka yang melibatkan 14 responden menghasilkan skor System Usability Scale (SUS) sebesar 82,68 (Excellent) dan Net Promoter Score (NPS) sebesar +29 (Good). Kesimpulannya, sistem web klasifikasi medis yang dibangun terbukti akurat, efisien, dan mendapatkan tingkat loyalitas yang tinggi dari pengguna sebagai alat bantu skrining kesehatan paru-paru.

Kata Kunci: Citra X-Ray, CRISP-DM, Deep Learning, FastAPI, MobileNetV2, Next.js

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan dan Kegunaan	3
1.4.1 Tujuan Penelitian	3
1.4.2 Manfaat Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Aplikasi Klasifikasi Penyakit Pneumonia dan COVID-19	5
2.1.1 Urgensi Sistem Deteksi Otomatis Berbasis Deep Learning.....	5
2.1.2 Metodologi Klasifikasi Multi-Kelas pada Citra Medis.....	5
2.1.3 Aksesibilitas dan Deployment Sistem pada Platform Web.....	6
2.2 Software Development Life Cycle (SDLC).....	6
2.2.1 Tahapan Pengembangan.....	7
2.3 Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM).....	8
2.3.1 Tahapan CRISP-DM	8
2.4 Teknologi Deep Learning	9
2.4.1 Deep Learning dan Convolutional Neural Networks (CNN).....	9
2.4.2 MobileNetV2 dan Efisiensi Komputasi	9
2.4.3 Transfer Learning.....	10
2.5 Teknologi Pengembangan Sistem	10
2.5.1 Framework Next.js.....	10
2.5.2 FastAPI.....	11
2.5.3 Docker	11
2.6 Penelitian Sejenis	12
BAB III METODE PENELITIAN.....	14
3.1 Rancangan Penelitian	14



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

3.1.1 Tahapan Penelitian	15
3.1.2 Objek Penelitian	18
3.2 Sumber Data	19
3.3 Teknik Pengumpulan Data	19
3.4 Teknik Analisis Data	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1 Analisis Kebutuhan Sistem	21
4.1.1 Analisis Kebutuhan Fungsional	21
4.1.2 Analisis Kebutuhan Non-Fungsional	22
4.2 Perancangan Sistem	23
4.2.1 Deskripsi Sistem	23
4.2.2 Diagram UML	23
4.2.3 Perancangan Antarmuka	26
4.3 Implementasi Sistem	27
4.3.1 Implementasi Model	27
4.3.2 Implementasi Antarmuka Web (Next.js)	43
4.4 Pengujian Sistem	45
4.4.1 Prosedur Pengujian	46
4.4.2 Data Hasil Pengujian	49
4.4.3 Analisis Hasil Pengujian	54
BAB V PENUTUP.....	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS	61
LAMPIRAN	62



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Software Development Life Cycle	6
Gambar 2.2 Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM)	8
Gambar 3.1 Rancangan Penelitian	15
Gambar 4.1 Use Case Diagram Platform Klasifikasi Citra Medis.....	23
Gambar 4.2 Activity Diagram Klasifikasi Citra Medis	24
Gambar 4.3 Sequence Diagram Klasifikasi Citra Medis	25
Gambar 4.4 Prototype Web.....	26
Gambar 4.5 Tampilan Halaman Utama Web	43
Gambar 4.6 Form Mengunggah Citra X-Ray	44
Gambar 4.7 Tampilan Hasil Deteksi Penyakit Valid.....	45





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Penelitian Sejenis	12
Tabel 2 Hasil Normalisasi	30
Tabel 3 Hasil Split Data	31
Tabel 4 Perbandingan Performa MobileNetV2 pada 10 dan 20 Epoch	34
Tabel 5 Perkembangan Validation Accuracy MobileNetV2	34
Tabel 6 Confusion Matrix MobileNetV2 – Klasifikasi Normal vs Sakit	37
Tabel 7 Metrik Performa MobileNetV2 – Klasifikasi Normal vs Sakit	38
Tabel 8 Perbandingan Hasil Evaluasi Step 1	39
Tabel 9 Confusion Matrix MobileNetV2 – Klasifikasi Multi-kelas	40
Tabel 10 Metrik Performa MobileNetV2 – Klasifikasi Multi-kelas	41
Tabel 11 Perbandingan Hasil Evaluasi Step 2	42
Tabel 12 Kerangka Pengujian Black Box	47
Tabel 13 Kerangka System Usability Scale	48
Tabel 14 Perbandingan Akurasi Keseluruhan Berdasarkan Skenario Pengujian...	49
Tabel 15 Perbandingan Waktu Pelatihan (Training Time)	50
Tabel 16 Hasil Pengujian Batas Sumber Daya Komputasi	50
Tabel 17 Kerangka Pengujian Black Box	51
Tabel 18 Rekapitulasi Perhitungan Skor SUS	52
Tabel 19 Rekapitulasi Data Penilaian NPS	53

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Kuesioner.....	62
Lampiran 2 Hasil Cek Turnitin	66





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Chest X-Ray (CXR) merupakan modalitas skrining awal kelainan paru yang terjangkau dan tersedia luas di fasilitas kesehatan (Islam et al., 2024). Namun, interpretasi manual menghadapi kendala subjektivitas, kelelahan visual, dan rasio radiolog yang tidak seimbang, meningkatkan risiko human error dalam membedakan pneumonia viral, bakteri, dan COVID-19 (Islam et al., 2024). Penyakit respirasi ini tetap menjadi ancaman global yang serius; berdasarkan data World Health Organization (WHO), penyakit pernapasan merupakan penyebab dari sekitar 10% total kematian di seluruh dunia (Charan et al., 2024). Hal ini menuntut diagnosis dini yang akurat untuk mencegah komplikasi fatal.

Teknologi *Deep Learning*, khususnya *Convolutional Neural Network* (CNN), muncul sebagai solusi efektif dalam membantu proses diagnosis medis melalui kemampuan ekstraksi fitur patologis secara otomatis (Hasan et al., 2021). Pendekatan ini mampu menangkap pola visual halus pada jaringan paru-paru yang mungkin terlewatkan dalam pengamatan manual, sehingga meningkatkan sensitivitas deteksi (Rahman et al., 2021).

Sebelum dominasi Deep Learning, penelitian terdahulu telah mengeksplorasi metode Machine Learning konvensional pada objek serupa dengan algoritma berbeda. Jawahar et al. (2022) menerapkan ekstraksi fitur manual Histogram of Oriented Gradients (HOG) yang diklasifikasikan menggunakan Random Forest, mencatatkan akurasi deteksi COVID-19 hingga 99,73% pada dataset tertentu. Namun, metode konvensional ini memiliki keterbatasan skalabilitas dan ketergantungan pada desain fitur manual (hand-crafted features) dibandingkan CNN yang adaptif.

Arsitektur CNN kompleks seperti ResNet dan VGG19 mampu mencapai akurasi tinggi namun terkendala jumlah parameter masif dan kebutuhan komputasi (GPU) tinggi. Hal ini menyulitkan penyediaan layanan diagnostik yang responsif jika



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

diimplementasikan pada platform web dengan sumber daya server terbatas, di mana efisiensi rendering dan waktu pemuatan halaman menjadi faktor krusial bagi kenyamanan pengguna (Hanafi et al., 2024).

Berdasarkan permasalahan tersebut, arsitektur MobileNetV2 hadir sebagai solusi optimal karena terbukti menghasilkan model yang lebih efisien dengan akurasi mencapai 90% dan nilai rata-rata recall, presisi, serta f1-score sebesar 92% pada tugas klasifikasi citra yang kompleks (Ramadhani et al., 2023). Efisiensi ini dicapai melalui penggunaan depthwise separable convolution, inverted residuals, dan linear bottlenecks. Dengan mengintegrasikan model tersebut ke dalam layanan backend FastAPI yang mendukung pemrosesan data secara asinkron dan integrasi multiplatform yang stabil (Safitri dan Harkespan, 2024), serta antarmuka Next.js yang menawarkan performa rendering cepat (Hanafi et al., 2024), sistem ini dapat menyediakan alat diagnostik berbasis web yang real-time dan mudah diakses oleh tenaga medis melalui berbagai perangkat tanpa batasan instalasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana implementasi model Deep Learning menggunakan arsitektur MobileNetV2 untuk melakukan klasifikasi multi-kelas (Normal, COVID-19, Lung Opacity, dan Pneumonia) pada citra X-Ray paru?
2. Bagaimana performa model MobileNetV2 yang dihasilkan jika diukur menggunakan metrik akurasi, presisi, recall, dan f1-score?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Dataset yang digunakan bersumber dari COVID-19 Radiography Database yang tersedia di Kaggle.
2. Sistem akan mengklasifikasikan citra ke dalam 4 kelas (Multi-Kelas), yaitu: Normal, COVID-19, Lung Opacity, dan Viral Pneumonia.
3. Model Deep Learning yang digunakan dikhususkan pada arsitektur MobileNetV2 dengan teknik Transfer Learning.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4. Implementasi antarmuka pengguna (User Interface) dibangun dan dijalankan pada Platform Web.
5. Pengujian aplikasi difokuskan pada fungsionalitas deteksi (inferensi model) dan akurasi hasil prediksi, tidak mencakup sistem rekam medis elektronik atau keamanan data pasien yang kompleks.

1.4 Tujuan dan Kegunaan

1.4.1 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis performa model Deep Learning dengan arsitektur MobileNetV2 dalam mengklasifikasikan citra X-Ray paru ke dalam kategori Normal, COVID-19, Lung Opacity, dan Viral Pneumonia berdasarkan metrik akurasi, presisi, recall, dan f1-score.

1.4.2 Manfaat Penelitian

1. Membantu tenaga medis dan masyarakat umum dalam mendeteksi penyakit paru-paru secara dini melalui klasifikasi citra X-Ray berbasis model *deep learning* MobileNetV2.
2. Memudahkan pengguna dalam mengakses layanan deteksi penyakit paru-paru kapan saja melalui platform web yang terintegrasi dengan model kecerdasan buatan.
3. Mempermudah pengguna memverifikasi gambar secara visual.
4. Mempermudah pengguna dalam memperoleh diagnosis secara langsung.

1.5 Sistematika Penulisan

Laporan skripsi ini disusun secara sistematis untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai alur penelitian, yang terbagi ke dalam bab-bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang penulisan mengenai urgensi deteksi dini COVID-19 dan pneumonia, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian bagi tenaga medis, serta sistematika penulisan laporan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menyajikan landasan teori dan pendapat para ahli yang mendukung penelitian, mencakup prinsip medis radiografi toraks, model pengembangan perangkat lunak (SDLC Waterfall), metodologi *data mining* (CRISP-DM), serta teknologi *Deep Learning* yang melibatkan CNN dan MobileNetV2. Selain itu, bab ini juga memuat ulasan mengenai penelitian sejenis untuk memposisikan orisinalitas penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan rancangan penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Di dalamnya diuraikan tahapan penelitian yang mengintegrasikan CRISP-DM dan SDLC Waterfall, teknik pengumpulan data dari *COVID-19 Radiography Database*, strategi analisis data melalui *transfer learning*, hingga jadwal dan rincian biaya pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini mendeskripsikan hasil dari eksperimen yang dilakukan, meliputi proses pra-pemrosesan data, hasil pelatihan model MobileNetV2, dan evaluasi performa model berdasarkan metrik akurasi, presisi, *recall*, serta *F1-score*. Bab ini juga membahas mengenai implementasi model ke dalam platform web berbasis Next.js.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan untuk menjawab rumusan masalah, serta memberikan saran-saran konstruktif bagi pengembangan sistem selanjutnya agar dapat diimplementasikan secara lebih luas di dunia medis.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aplikasi Klasifikasi Penyakit Pneumonia dan COVID-19

Implementasi aplikasi klasifikasi otomatis menjadi solusi krusial dalam menghadapi beban kerja radiolog yang tinggi serta meminimalisir risiko subjektivitas dan kelelahan visual dalam interpretasi manual. Pemanfaatan algoritma Deep Learning dalam aplikasi ini memungkinkan ekstraksi fitur otomatis yang mampu menangkap pola patologis halus pada citra X-Ray, sehingga meningkatkan akurasi dalam membedakan antara paru-paru normal, COVID-19, dan berbagai jenis pneumonia.

2.1.1 Urgensi Sistem Deteksi Otomatis Berbasis Deep Learning

Pengembangan aplikasi skrining kesehatan yang cerdas bertujuan untuk menyediakan alat bantu diagnostik yang cepat, terjangkau, dan tersedia luas di berbagai fasilitas kesehatan. Islam et al. (2024) menekankan bahwa sistem deteksi yang dapat di-deploy secara luas, baik melalui web maupun perangkat bergerak, membantu pengguna dalam melakukan identifikasi dini penyakit respirasi yang mengancam jiwa tanpa ketergantungan penuh pada infrastruktur komputasi yang berat.

2.1.2 Metodologi Klasifikasi Multi-Kelas pada Citra Medis

Aplikasi klasifikasi modern saat ini telah berkembang dari deteksi biner menjadi klasifikasi multi-kelas yang mencakup kategori Normal, COVID-19, Lung Opacity, dan Viral Pneumonia secara simultan. Penelitian oleh Charan et al. (2024) membuktikan bahwa penggunaan teknik Transfer Learning yang dikombinasikan dengan ekstraksi fitur tekstur mampu memberikan akurasi prediksi yang sangat tinggi hingga 99,8%, yang sangat krusial bagi efektivitas aplikasi dalam lingkungan klinis nyata.



Hak Cipta :

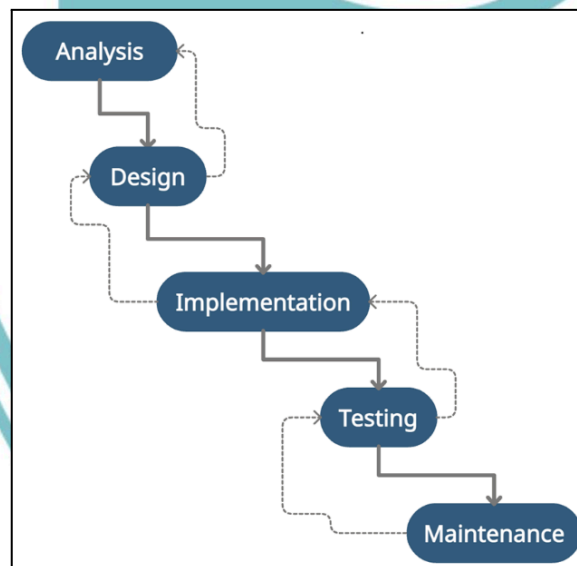
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

2.1.3 Aksesibilitas dan Deployment Sistem pada Platform Web

Implementasi sistem berbasis web menawarkan keunggulan dalam hal aksesibilitas lintas platform, di mana pengguna dapat mengakses sistem melalui *browser* tanpa batasan perangkat keras. Islam et al. (2024) menunjukkan bahwa *deployment* model deteksi COVID-19 ke platform web memungkinkan integrasi yang lebih mudah dengan sistem informasi rumah sakit dan memberikan kemudahan bagi klinisi untuk mengunggah serta menganalisis citra secara *real-time* melalui internet.

2.2 Software Development Life Cycle (SDLC)

Software Development Life Cycle (SDLC) Model Waterfall adalah pendekatan linier-sekuensial klasik di mana fase pengembangan mengalir secara berurutan. Setiap tahap harus diselesaikan dan diverifikasi sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya guna memastikan dokumentasi yang komprehensif (Saravanos & Curinga, 2023).



Gambar 2.1 Software Development Life Cycle

Sumber: Saravanos & Curinga, 2023



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

2.2.1 Tahapan Pengembangan

A. *Planning* (Perencanaan)

Tahap inisiasi untuk mengidentifikasi masalah diagnostik manual dan studi kelayakan. Fokus utama adalah menilai kelayakan teknis penggunaan arsitektur MobileNetV2 (Saravanos & Curinga, 2023).

B. *Analysis* (Analisis)

Mengidentifikasi kebutuhan sistem yang dibagi menjadi dua kategori utama menurut Syiraa Setiabudhi et al. (2025):

1. Functional Requirements (FR): Mencakup kemampuan antarmuka web untuk menerima input citra, mengirimkan permintaan API ke backend, serta menampilkan hasil prediksi klasifikasi secara dinamis.
2. Non-Functional Requirements (NFR): Meliputi target performa seperti akurasi model di atas 90%.

C. *Design* (Perancangan)

Tahap pemodelan visual untuk menggambarkan arsitektur sistem secara teknis menggunakan Unified Modeling Language (UML). UML merupakan bahasa visual standar dalam bentuk diagram yang digunakan untuk memodelkan komponen dan interaksi arsitektur pada sebuah sistem (Safitri & Harkespan, 2024; Setiabudhi et al., 2025). Pemodelan sistem pada penelitian ini divisualisasikan melalui:

1. Activity Diagram (ACD): Menggambarkan alur kerja sistem dari penerimaan citra mentah hingga pemberian probabilitas klasifikasi.
2. Class Diagram (CD): Mendefinisikan struktur statis sistem, termasuk kelas pengolah citra dan hubungan antar objek.
3. Sequence Diagram (SCD): Mendetailkan interaksi objek berdasarkan urutan waktu, khususnya komunikasi asinkron antara antarmuka pengguna (UI) dan mesin inferensi.



Hak Cipta :

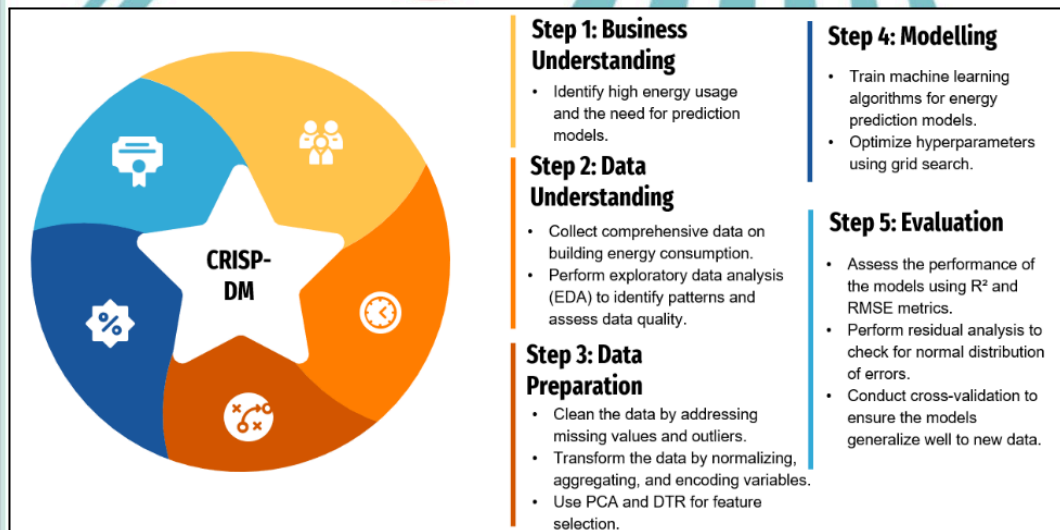
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

D. Implementation (Implementasi)

Penerjemahan desain ke dalam kode program. Tahap ini mencakup proses pelatihan model menggunakan Python (TensorFlow) serta pengembangan antarmuka web menggunakan framework Next.js dan Tailwind CSS untuk menjamin responsivitas (Singhal et al., 2025).

2.3 Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM)

Metodologi CRISP-DM digunakan sebagai panduan terstruktur dalam pengembangan model *Machine Learning* agar siklus pengembangannya terukur dan adaptif.



Gambar 2.2 Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM)

Sumber: Elkalawy et al., 2024

2.3.1 Tahapan CRISP-DM

Metodologi ini digunakan sebagai panduan sistematis yang terdiri dari enam langkah utama:

1. **Business Understanding:** Penentuan tujuan untuk membangun sistem klasifikasi otomatis guna mempercepat diagnosis klinis penyakit paru secara efisien (Islam et al., 2024).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

2. **Data Understanding:** Eksplorasi dataset COVID-19 Radiography Database untuk mengidentifikasi kualitas visual dan ketidakseimbangan kelas antara citra Normal dan COVID-19 (Rahman et al., 2021).
3. **Data Preparation:** Tahapan pra-pemrosesan data yang meliputi penyeragaman dimensi citra, normalisasi nilai piksel, dan pembagian dataset menjadi data pelatihan, validasi, dan pengujian sebelum digunakan pada proses pembelajaran model (Khan et al., 2022; Charan et al., 2024).
4. **Modeling:** Implementasi arsitektur *lightweight* MobileNetV2 menggunakan teknik *Transfer Learning* dari bobot ImageNet untuk mencapai konvergensi dan performa optimal (Ramadhani et al., 2023; Elkabalawy et al., 2024).
5. **Evaluation:** Pengujian kinerja model melalui analisis *Confusion Matrix* serta metrik akurasi, presisi, sensitivitas (*recall*), dan F1-Score (Elkabalawy et al., 2024).
6. **Deployment:** Pengintegrasian model ke dalam platform web melalui server atau API untuk memungkinkan aksesibilitas diagnostik secara *real-time* lewat peramban (Islam et al., 2024).

2.4 Teknologi Deep Learning

2.4.1 Deep Learning dan Convolutional Neural Networks (CNN)

Convolutional Neural Network (CNN) adalah arsitektur *Deep Learning* yang unggul dalam ekstraksi fitur citra secara otomatis. CNN terdiri dari lapisan konvolusi (ekstraksi fitur), *pooling* (reduksi dimensi), dan *fully connected* (klasifikasi). Penelitian Aini & Liliana (2022) menunjukkan bahwa CNN mampu mempelajari fitur hierarkis dari citra medis secara lebih efektif dibandingkan metode ekstraksi fitur manual.

2.4.2 MobileNetV2 dan Efisiensi Komputasi

MobileNetV2 dipilih karena arsitekturnya yang dioptimalkan untuk lingkungan dengan sumber daya terbatas. Meskipun awalnya untuk mobile, efisiensi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

MobileNetV2 sangat relevan untuk platform web guna meminimalkan latensi inferensi di sisi server. Fitur kuncinya meliputi:

1. Depthwise Separable Convolution: Memecah konvolusi standar menjadi dua tahap ringan, mengurangi beban komputasi secara drastis.
2. Inverted Residuals & Linear Bottlenecks: Mempertahankan informasi pada dimensi rendah untuk mencegah information loss (Ramadhani et al., 2023).

2.4.3 Transfer Learning

Teknik *Transfer Learning* digunakan untuk mengatasi keterbatasan dataset medis. Model dilatih awal (*pre-trained*) pada dataset besar (ImageNet) untuk mempelajari fitur visual dasar, kemudian dilatih ulang (*fine-tuning*) pada dataset X-Ray. Pendekatan ini terbukti mempercepat konvergensi dan meningkatkan akurasi dibandingkan melatih model dari awal (Charan et al., 2024; Aini & Liliana, 2022).

2.5 Teknologi Pengembangan Sistem

2.5.1 Framework Next.js

Next.js adalah framework React yang memungkinkan pengembangan aplikasi web dengan performa tinggi melalui fitur Server-Side Rendering (SSR) dan Static Site Generation (SSG). Penggunaan Next.js dalam sistem klasifikasi medis ini didasarkan pada kemampuannya untuk mengoptimalkan pemuatan aset dan SEO, serta menyediakan antarmuka yang sangat responsif di berbagai perangkat (Syiraa Setiabudhi et al., 2025).

Keunggulan utama Next.js untuk penelitian ini meliputi:

1. Optimasi Citra:

Memungkinkan penanganan citra X-Ray resolusi tinggi dengan format efisien untuk mempercepat visualisasi bagi dokter.
2. Integrasi API Routes:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Memudahkan komunikasi asinkron dengan backend FastAPI untuk proses unggah citra dan pengambilan hasil inferensi AI secara cepat.

3. PWA Support:

Dengan integrasi Service Workers, aplikasi web dapat diinstal di perangkat pengguna dan diakses dengan pengalaman menyerupai aplikasi native (PWA), yang menjamin aksesibilitas tinggi.

2.5.2 FastAPI

FastAPI merupakan *web framework* modern berbasis Python yang dirancang khusus untuk membangun *Application Programming Interface* (API) dengan performa tinggi. FastAPI memanfaatkan *type hints* Python secara penuh dan pemrograman asinkron, sehingga menyediakan validasi data otomatis, *parsing* permintaan, serta pembuatan dokumentasi melalui standar OpenAPI (Rasulov, 2024).

FastAPI dibangun di atas *framework* asinkron Starlette dan Uvicorn yang memungkinkan eksekusi kode secara *non-blocking*. Berbeda dengan *framework* sinkron seperti Flask dan Django di mana permintaan hanya dapat ditangani setelah permintaan sebelumnya selesai, FastAPI memungkinkan penanganan banyak permintaan secara bersamaan sehingga cocok untuk sistem yang membutuhkan performa *real-time* (Rasulov, 2024). Pada penelitian ini, FastAPI digunakan sebagai *backend* layanan inferensi yang menerima citra X-Ray dari antarmuka Next.js, memprosesnya melalui model MobileNetV2, dan mengembalikan hasil prediksi secara *real-time*.

2.5.3 Docker

Docker adalah platform kontainerisasi (*containerization*) bersumber terbuka yang memungkinkan pengembang mengemas aplikasi beserta seluruh dependensinya ke dalam unit terisolasi yang disebut *container* (Cherukuri, 2024). Docker merupakan layanan kontainerisasi yang memungkinkan *deployment* situs web, basis data, API aplikasi, dan model *machine learning* yang praktis hanya dengan beberapa baris kode (Openja et al., 2022).



Penggunaan Docker dalam penelitian ini memberikan jaminan konsistensi lingkungan antara tahap pengembangan dan produksi. Docker menghasilkan *container* yang ringan dan mereduksi kompleksitas dalam proses pengiriman aplikasi dengan menyertakan seluruh komponen perangkat lunak beserta konfigurasinya, sehingga aplikasi dapat berjalan secara portabel di berbagai lingkungan komputasi. Dengan memanfaatkan Docker Compose, layanan FastAPI, Next.js, dan PostgreSQL pada penelitian ini dapat dijalankan secara bersamaan dalam *container* terpisah namun tetap saling terhubung, memastikan reproduisibilitas dan kemudahan *deployment* sistem secara keseluruhan (Openja et al., 2022).

2.6 Penelitian Sejenis

Tabel 1 Penelitian Sejenis

Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Metode	Hasil & Relevansi
Hasan et al. (2021) [Internasional]	<i>Deep Learning based Detection and Segmentation of COVID-19 & Pneumonia on Chest X-ray Image</i>	Ensemble (VGG19, ResNet, DenseNet)	Akurasi 99%. Membuktikan efektivitas deployment AI pada platform web Flask.
Charan et al. (2024) [Internasional]	<i>Transfer Learning Based Multi-Class Lung Disease Prediction Using Textural Features Derived From Fusion Data</i>	Fusion Data + Texture (LBP)	Akurasi 99.8%. Membuktikan <i>Transfer Learning</i> efektif untuk klasifikasi multi-kelas penyakit paru yang kompleks.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Metode	Hasil & Relevansi
Singhal et al., (2025) [Internasional]	<i>A Web Platform For Medical Image Classification</i>	CNN (Next.js & FastAPI)	Akurasi Tinggi. Memvalidasi penggunaan Next.js dan Tailwind CSS untuk antarmuka medis AI yang modern.
Ramadhani et al. (2023) [Nasional]	<i>Performance Comparison of Convolutional Neural Network and MobileNetV2 for Chili Diseases Classification</i>	MobileNetV2 vs Custom CNN	Akurasi 90%. Menunjukkan keunggulan efisiensi MobileNetV2 dibandingkan CNN standar.
Syiraa Setiabudhi et al. (2025)	<i>Frontend Design and Development of Thesis Management Application Using NextJS in Physics Study Program UPN "Veteran" Jatim</i>	Next.js (Web)	Memvalidasi penggunaan Next.js dalam kerangka SDLC untuk aplikasi tingkat sarjana.

Penelitian terdahulu (Islam et al., Charan et al.) membuktikan akurasi tinggi Deep Learning pada diagnosis paru namun sering mengandalkan platform web dasar. Penelitian ini mengisi celah dengan menerapkan efisiensi MobileNetV2 ke dalam ekosistem web modern Next.js dengan memanfaatkan kemampuan rendering Next.js untuk menyediakan alat bantu diagnostik yang dapat diakses secara universal melalui peramban, menggabungkan efisiensi model AI dengan skalabilitas teknologi web terbaru.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

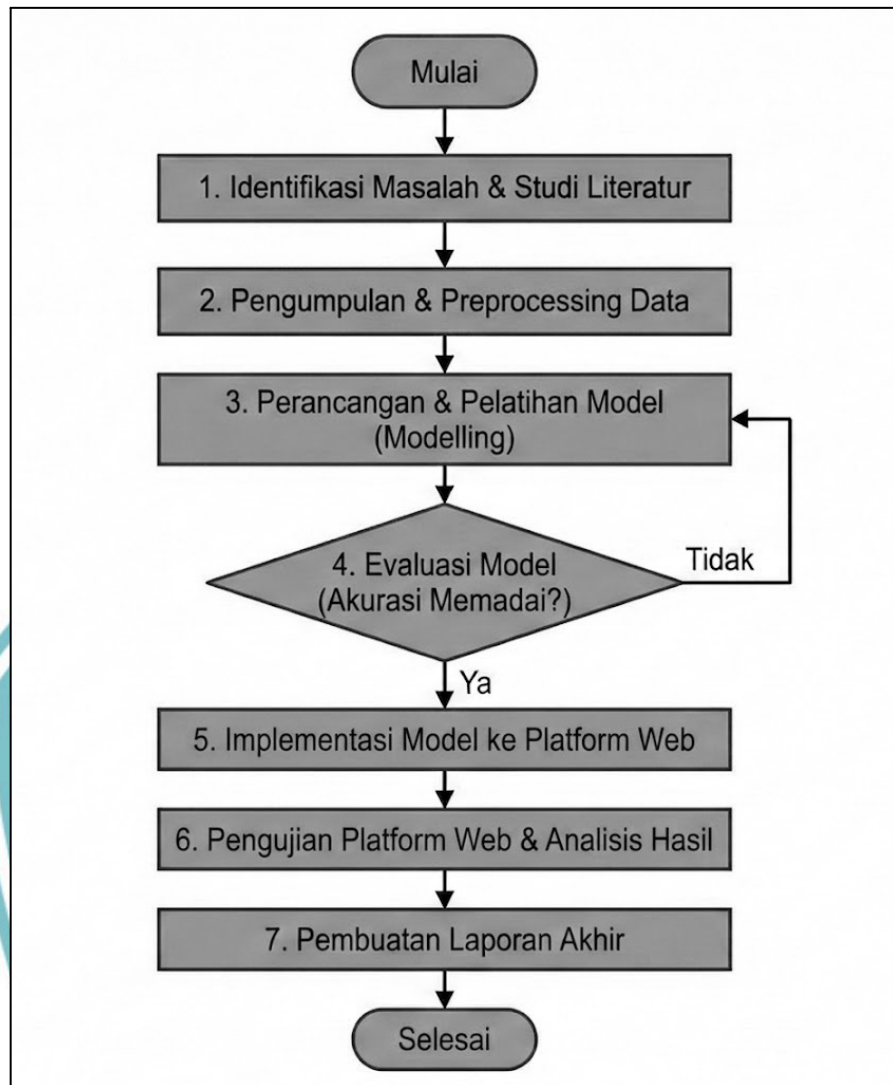
Desain penelitian yang diterapkan dalam studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimental, yang difokuskan pada pengembangan perangkat lunak cerdas (*intelligent software development*). Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini menitikberatkan pada pengukuran kinerja sistem secara objektif menggunakan metrik numerik yang terstandarisasi, seperti tingkat akurasi, presisi, dan waktu komputasi, dalam mengklasifikasikan citra medis. Sifat eksperimental dari penelitian ini terlihat pada proses manipulasi variabel terkontrol, seperti konfigurasi *hyperparameter* pada arsitektur *Deep Learning*, teknik augmentasi data, dan strategi pra-pemrosesan citra untuk mengamati dampaknya terhadap performa model MobileNetV2 dalam membedakan pola visual antara paru-paru normal, COVID-19, Lung Opacity, dan pneumonia viral.

Untuk menjamin alur penelitian yang sistematis, terukur, dan dapat direproduksi, kerangka kerja metodologi yang digunakan adalah hibridasi antara standar industri data sains dan rekayasa perangkat lunak. Penelitian ini mengadopsi CRISP-DM (*Cross-Industry Standard Process for Data Mining*) sebagai panduan utama dalam siklus hidup pengembangan model, yang dikombinasikan dengan model SDLC Waterfall untuk fase implementasi platform web berbasis Next.js. Integrasi kedua metodologi ini diperlukan karena penelitian ini tidak hanya berhenti pada analisis data statis, melainkan bertujuan menghasilkan artefak teknologi berupa aplikasi web modern yang fungsional. Rancangan ini memungkinkan pengelolaan kompleksitas antara eksperimen algoritma yang bersifat iteratif dan pengembangan antarmuka aplikasi yang bersifat sekuensial.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.1 Rancangan Penelitian

3.1.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian disusun secara granular untuk mencakup seluruh siklus hidup pengembangan sistem, mulai dari definisi masalah klinis hingga deployment model pada server backend menggunakan FastAPI. Alur sistematis ini dirancang untuk memitigasi risiko kegagalan teknis dan memastikan bahwa setiap keluaran (*output*) dari satu fase menjadi masukan (*input*) yang valid bagi fase berikutnya.

1. Identifikasi Masalah dan Studi Literatur (*Business Understanding*)

Tahap inisiasi ini berfokus pada pemetaan masalah fundamental dalam diagnostik radiologi konvensional. Berdasarkan latar belakang masalah, tantangan utama



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

yang diidentifikasi adalah subjektivitas interpretasi manusia dan keterbatasan akses terhadap radiolog ahli di daerah terpencil. Oleh karena itu, tujuan teknis penelitian ditetapkan untuk membangun sistem klasifikasi otomatis yang ringan (*lightweight*). Studi literatur dilakukan secara komprehensif terhadap jurnal-jurnal terkini yang membahas penerapan *Convolutional Neural Networks* (CNN) pada citra medis, karakteristik arsitektur MobileNetV2, serta teknik *Transfer Learning* untuk mengatasi keterbatasan dataset medis.

2. Pengumpulan dan Pemahaman Data (*Data Understanding*)

Fase ini melibatkan akuisisi data sekunder dari repositori publik yang terkurasi. Dataset yang digunakan adalah *COVID-19 Radiography Database* karya Tawsifur Rahman dkk., yang telah menjadi standar *benchmark* dalam komunitas peneliti. Aktivitas pada tahap ini mencakup eksplorasi distribusi kelas untuk mendeteksi ketidakseimbangan (*class imbalance*) yang ekstrim, inspeksi kualitas visual citra (resolusi, kontras, artefak), serta verifikasi metadata klinis yang menyertainya. Pemahaman mendalam terhadap karakteristik fisik citra X-Ray, seperti keberadaan *Ground Glass Opacity* (GGO) atau konsolidasi paru, menjadi landasan dalam menentukan strategi *preprocessing* yang tepat.

3. Pra-pemrosesan dan Persiapan Data (*Data Preparation*)

Data mentah radiografi seringkali mengandung *noise* atau variasi format yang dapat mendegradasi kinerja model. Tahap persiapan data meliputi serangkaian transformasi digital:

1. Penyeragaman Dimensi (*Resizing*)

Seluruh citra radiografi diubah ukurannya menjadi 224×224 piksel untuk menyesuaikan ukuran masukan yang dibutuhkan oleh arsitektur MobileNetV2. Proses ini dilakukan agar seluruh data memiliki dimensi yang seragam dan dapat diproses oleh model (Charan et al., 2024).

2. Normalisasi Data

Normalisasi dilakukan dengan mengubah nilai piksel citra dari rentang 0–255 menjadi 0–1 menggunakan metode min-max scaling sederhana



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

dengan membagi setiap nilai piksel terhadap 255. Proses ini bertujuan untuk menyamakan skala data masukan sehingga proses pelatihan model menjadi lebih stabil dan membantu mempercepat konvergensi selama proses optimasi (Khan et al., 2022; Charan et al., 2024).

Secara matematis, normalisasi dilakukan menggunakan Persamaan berikut:

$$x_{normalisasi} = \frac{x}{255}$$

dengan:

x = nilai piksel asli (0–255)

$x_{normalisasi}$ = nilai piksel setelah normalisasi (0–1)

255 = nilai maksimum piksel pada citra 8-bit

3. Pembagian Dataset (Data Splitting)

Dataset dibagi menjadi data pelatihan (*training*), validasi (*validation*), dan pengujian (*testing*) menggunakan metode *stratified split* untuk mempertahankan proporsi setiap kelas. Pada penelitian ini dilakukan pengujian beberapa skenario pembagian data, yaitu 70:10:20, 80:10:10, dan 90:5:5 untuk menganalisis pengaruh proporsi data terhadap akurasi serta waktu pelatihan model.

4. Perancangan dan Pelatihan Model (*Modeling*)

Tahap ini merupakan inti dari eksperimen komputasional. Arsitektur MobileNetV2 dipilih karena desainnya yang efisien menggunakan *Depthwise Separable Convolutions* dan *Inverted Residual Blocks*. Strategi *Transfer Learning* diterapkan dengan menggunakan bobot pra-latih (*pre-trained weights*) dari dataset ImageNet. Proses pelatihan melibatkan pencarian kombinasi *hyperparameter* optimal (seperti *learning rate*, *batch size*, fungsi aktivasi, dan *optimizer*) untuk meminimalkan fungsi kerugian (*loss function*) kategori. Eksperimen dilakukan secara iteratif, di mana performa model dipantau pada setiap *epoch* menggunakan data validasi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

5. Evaluasi dan Analisis Kinerja (*Evaluation*)

Model yang telah dilatih diuji menggunakan himpunan data uji terpisah (*hold-out test set*) yang tidak pernah dilihat oleh model selama proses pelatihan. Evaluasi tidak hanya bergantung pada metrik akurasi global, tetapi juga melibatkan analisis mendalam menggunakan matriks kebingungan (*confusion matrix*) untuk mengukur tingkat kesalahan spesifik antar kelas (misalnya, seberapa sering COVID-19 salah diprediksi sebagai Pneumonia). Metrik turunan seperti Presisi, Recall (Sensitivitas), dan F1-Score dihitung untuk memastikan model memiliki performa yang seimbang dan dapat diandalkan secara klinis.

6. Implementasi Sistem Web (*Deployment*)

Model deep learning akan dideploy ke dalam sebuah layanan API (Application Programming Interface) pada bagian backend menggunakan framework Python yaitu FastAPI. FastAPI dipilih karena bekerja secara asinkron (ASGI) sehingga dapat melayani request klasifikasi citra secara stabil dan cepat. Di sisi pengguna, antarmuka web (frontend) akan dibangun menggunakan kerangka kerja Next.js yang memberikan performa waktu pemuatan (loading time) halaman yang optimal dan responsif.

3.1.2 Objek Penelitian

Objek penelitian dalam studi ini difokuskan pada pengembangan sistem aplikasi klasifikasi citra medis berbasis web yang dirancang untuk mendeteksi gangguan kesehatan paru-paru secara dini. Fungsi utama dari sistem ini adalah melakukan klasifikasi multi-kelas terhadap citra X-Ray dada ke dalam empat kategori: Normal, COVID-19, Lung Opacity, dan Viral Pneumonia. Secara teknis, sistem ini menerima masukan berupa berkas citra digital yang diunggah pengguna melalui peramban (browser), dan memberikan keluaran berupa label prediksi penyakit. Teknologi inti yang melandasi objek ini adalah model AI MobileNetV2 di sisi backend FastAPI, serta kerangka kerja Next.js di sisi frontend untuk akses lintas perangkat.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

3.2 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang bersifat kuantitatif.

- Populasi dan Sampel: Sampel data diambil dari COVID-19 Radiography Database yang tersedia di platform Kaggle.
- Instrumen Data: Dataset terdiri dari citra digital X-Ray dada yang telah terlabeli, yaitu: Normal, COVID-19, Lung Opacity, dan Viral Pneumonia.
- Karakteristik Data: Citra medis ini memiliki karakteristik visual spesifik seperti *Ground-Glass Opacity* (GGO) untuk COVID-19 dan konsolidasi lobaris untuk Pneumonia yang menjadi fitur kunci bagi model.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi ilmiah mengenai arsitektur Deep Learning, MobileNetV2, framework Next.js, FastAPI, serta prinsip radiografi toraks. Observasi dilakukan melalui pengumpulan data sekunder berupa dataset digital publik (Kaggle), yang mencakup identifikasi ketidakseimbangan kelas (class imbalance) dan pembersihan data.

3.4 Teknik Analisis Data

Proses analisis data dalam penelitian ini diawali dengan tahap pra-pemrosesan citra (*data preparation*) untuk memastikan kesesuaian data mentah dengan arsitektur model yang dikembangkan. Langkah ini mencakup pembersihan data, dan pengubahan ukuran citra (*resizing*). Selain itu, dilakukan normalisasi nilai piksel citra agar selaras dengan spesifikasi kebutuhan lapisan input pada arsitektur MobileNetV2 sehingga proses pelatihan dapat berjalan lebih stabil.

Selanjutnya, tahap pemodelan dilakukan dengan memanfaatkan arsitektur *deep learning* MobileNetV2 yang dioptimalkan secara khusus untuk lingkungan dengan sumber daya perangkat keras terbatas. Teknik *transfer learning* dari model yang telah dilatih sebelumnya pada *dataset* ImageNet diterapkan untuk mempercepat konvergensi dan mencapai akurasi optimal tanpa harus melatih



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

model dari awal. Analisis teknis pada tahap ini difokuskan pada pemanfaatan fitur *depthwise separable convolution* yang mampu mereduksi beban komputasi secara drastis, serta penggunaan *inverted residuals* dan *linear bottlenecks* untuk mempertahankan aliran informasi pada dimensi rendah.

Tahap akhir dari analisis data adalah evaluasi kinerja sistem untuk menilai tingkat akurasi dan efisiensi model dalam melakukan klasifikasi multi-kelas. Performa model diukur secara kuantitatif melalui instrumen *Confusion Matrix* yang menghasilkan nilai akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap Analisis Kebutuhan sistem dilakukan berdasarkan hasil observasi dan studi literatur yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Setelah membandingkan metode yang telah dianalisis pada tahap studi literatur, dilakukan spesifikasi kebutuhan untuk membangun sebuah model deep learning yang diintegrasikan ke dalam platform sistem informasi berbasis web. Analisis kebutuhan sistem terdiri dari analisis kebutuhan fungsional dan analisis kebutuhan non-fungsional. Hasil dari analisis kebutuhan sistem digunakan sebagai acuan untuk melaksanakan tahapan implementasi model, perancangan arsitektur backend, hingga pengembangan antarmuka pengguna agar sistem yang dikembangkan sesuai dengan tujuan penelitian.

4.1.1 Analisis Kebutuhan Fungsional

Analisis kebutuhan fungsional merincikan mengenai kemampuan utama yang harus dimiliki oleh sistem klasifikasi penyakit paru-paru berbasis citra X-ray agar dapat sesuai dengan kebutuhan pengguna. Kebutuhan fungsional yang dibutuhkan oleh sistem didefinisikan sebagai berikut:

- Tombol unggah citra untuk mengunggah file citra Chest X-Ray (CXR) ke sistem.
- Fitur pratinjau (preview) untuk menampilkan citra Chest X-Ray yang telah dipilih sebelum diklasifikasi.
- Fitur validasi berkas otomatis yang membatasi input pengguna hanya untuk ekstensi gambar (JPG, JPEG, PNG) serta menonaktifkan tombol deteksi apabila file masih kosong untuk mencegah error.
- Tombol deteksi/klasifikasi untuk mengeksekusi model deep learning dalam mengidentifikasi citra yang sudah diunggah.
- Field hasil prediksi untuk menampilkan label klasifikasi multi-kelas dari sistem, yaitu: Normal, COVID-19, Lung Opacity, atau Viral Pneumonia.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

- Field probabilitas/akurasi untuk menampilkan tingkat keyakinan model (confidence score) terhadap hasil prediksi.

4.1.2 Analisis Kebutuhan Non-Fungsional

Kebutuhan non-fungsional fokusnya adalah membahas mengenai perilaku properti yang dimiliki oleh sistem yang dibangun, seperti spesifikasi terkait perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan agar sistem dan model deep learning dapat berjalan dengan optimal. Kebutuhan non-fungsional dari sistem yang dibangun meliputi:

A. Kebutuhan Perangkat Keras

Perangkat komputer/laptop yang digunakan oleh pengembang untuk merancang, melatih model, hingga menguji sistem dengan spesifikasi minimum sebagai berikut:

- Processor: AMD Ryzen 5 7640HS
- Memori (RAM): 16 GB DDR5
- Penyimpanan: SSD dengan ruang kosong minimal 5 GB untuk menyimpan dataset citra, checkpoint bobot model (.h5/.keras), dan dependensi lingkungan lokal.

B. Kebutuhan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam lingkungan pengembangan (development environment) sistem backend, frontend, maupun pemodelan AI:

- Sistem Operasi: Windows 11
- Text Editor / IDE: Visual Studio Code, Google Colab
- Bahasa Pemrograman: Python 3 (AI & Backend), JavaScript/TypeScript (Frontend)
- Framework Web: FastAPI (Backend API), Next.js (Frontend UI)
- Infrastruktur Kontainerisasi: Docker & Docker Compose.
- Library Inti Pemrosesan: TensorFlow/Keras (Arsitektur MobileNetV2), Pillow, NumPy, Uvicorn, Axios.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

- Aplikasi Pengujian API: Postman API, peramban web (Google Chrome).

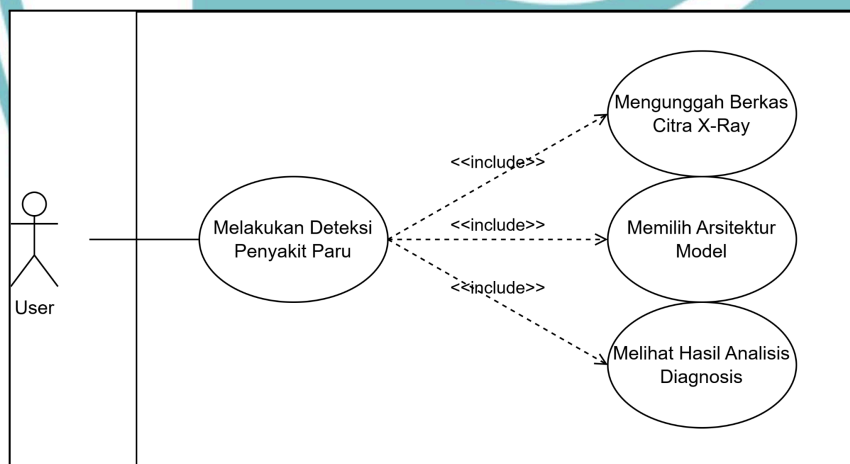
4.2 Perancangan Sistem

4.2.1 Deskripsi Sistem

Penelitian ini akan menghasilkan keluaran sebuah aplikasi berbasis website, yang mempunyai fitur klasifikasi citra medis Chest X-Ray paru-paru berbasis model deep learning MobileNetV2. Fitur utama ini dibangun untuk memfasilitasi proses penegakan diagnosis awal, yang mana akan membantu para pengguna dalam melakukan skrining penyakit sehingga proses identifikasi indikasi paru-paru Normal, COVID-19, Lung Opacity, maupun Viral Pneumonia dapat dilakukan secara otomatis, cepat, dan akurat berdasarkan informasi visual yang diekstraksi dari citra radiografi.

4.2.2 Diagram UML

A. Use Case Diagram



Gambar 4.1 Use Case Diagram Platform Klasifikasi Citra Medis

Gambar 4.1 menunjukkan use case diagram yang menggambarkan interaksi antara pengguna dengan sistem klasifikasi citra medis. Pada diagram ini terdapat satu aktor, yaitu user, yang berinteraksi dengan fungsi utama sistem berupa melakukan deteksi penyakit paru-paru. Untuk menjalankan fungsi tersebut, pengguna perlu mengunggah berkas citra Chest X-Ray dan memilih arsitektur model kecerdasan buatan yang akan digunakan, yaitu CNN atau MobileNetV2. Setelah proses

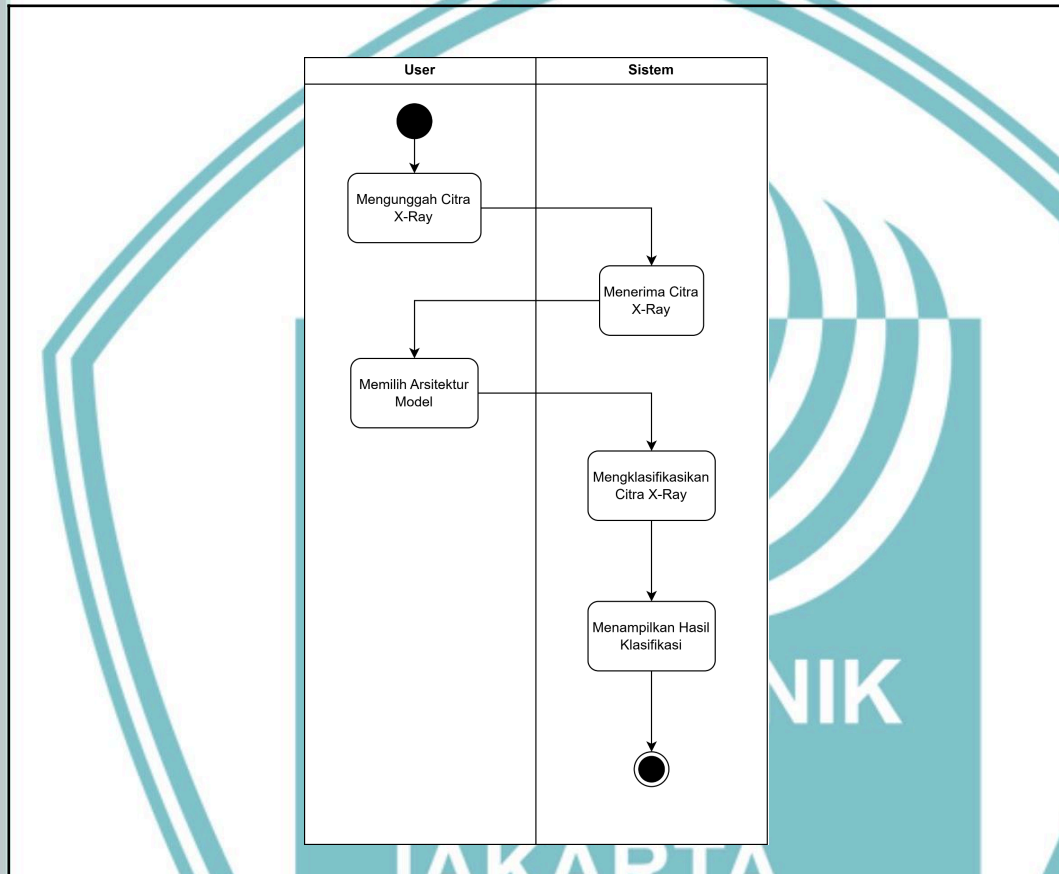


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

deteksi selesai dilakukan oleh sistem, pengguna dapat melihat hasil diagnosis beserta informasi latensi inferensi yang dihasilkan. Diagram ini digunakan untuk memberikan gambaran umum mengenai kebutuhan fungsional dan alur interaksi pengguna dengan sistem yang dikembangkan.

B. Activity Diagram

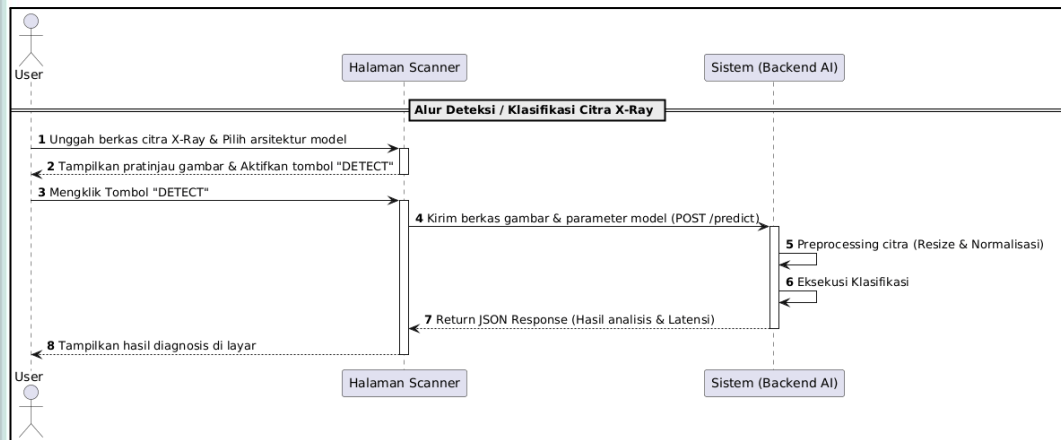


Gambar 4.2 Activity Diagram Klasifikasi Citra Medis

Gambar 4.2 merupakan activity diagram yang menggambarkan alur kerja sistem dalam melakukan deteksi penyakit paru-paru berdasarkan citra Chest X-Ray. Aktivitas dimulai ketika pengguna mengunggah citra dan memilih arsitektur model yang akan digunakan. Selanjutnya, sistem melakukan tahap pra-pemrosesan citra dan klasifikasi bertingkat untuk menentukan kondisi normal atau sakit serta mengidentifikasi jenis penyakit apabila terdeteksi adanya kelainan. Hasil inferensi yang diperoleh kemudian dikirimkan dan ditampilkan kepada pengguna dalam bentuk hasil diagnosis beserta informasi latensi proses prediksi.



C. Sequence Diagram



Gambar 4.3 Sequence Diagram Klasifikasi Citra Medis

Gambar 4.3 merupakan sequence diagram dari platform web klasifikasi citra medis. Sequence diagram adalah diagram yang menggambarkan komunikasi antar objek yang merupakan pesan yang dipertukarkan pada setiap objek dalam suatu proses kegiatan yang terjadi pada sistem. Pada sistem ini, sequence diagram bertujuan untuk mendetailkan interaksi objek berdasarkan urutan waktu, khususnya komunikasi asinkron yang terjadi antara antarmuka pengguna (User Interface) dan mesin inferensi.

Proses interaksi dimulai ketika pengguna berada pada antarmuka web dan melakukan aktivitas mengunggah dokumen citra Chest X-Ray. Selanjutnya, sistem frontend Next.js akan mengirimkan permintaan (request) data citra tersebut menuju endpoint API pada backend FastAPI. Setelah permintaan diterima, mesin inferensi pada backend akan mengeksekusi model deep learning MobileNetV2 untuk memproses dan mengklasifikasi citra tersebut. Ketika proses deteksi selesai, backend akan secara asinkron mengirimkan response balasan berupa label penyakit, tingkat akurasi, dan waktu inferensi kembali ke Next.js, yang mana hasil tersebut pada akhirnya akan ditampilkan pada layar pengguna dan direkam ke dalam basis data.



4.2.3 Perancangan Antarmuka

Berdasarkan pemodelan UML yang telah dirancang sebelumnya, tahap selanjutnya adalah merancang antarmuka pengguna (User Interface) platform web klasifikasi ke dalam bentuk rancangan kasar (*wireframe*). Desain antarmuka ini dirancang secara spesifik dengan mengutamakan prinsip kemudahan penggunaan (*user-friendly*) dan kejelasan informasi agar pengguna dapat melakukan proses skrining penyakit paru-paru secara efisien. Hasil perancangan tata letak pada Halaman Analisis Citra dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Gambar 4.4 Prototype Web

Antarmuka pada halaman tersebut diintegrasikan ke dalam sebuah *card* utama yang dibagi menjadi dua bagian atau kolom fungsional:

1. Bagian Input dan Pratinjau Citra (Sisi Kiri)

Terletak di bagian kiri halaman, area ini menggabungkan fungsi unggah sekaligus pratinjau berkas. Terdapat kotak representasi visual (*Image*) untuk menampilkan citra radiografi Chest X-Ray yang telah dimasukkan ke dalam sistem. Di bawah area pratinjau tersebut, disediakan tombol "Chose File" yang berfungsi memicu dialog pemilihan dokumen dari perangkat pengguna.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

2. Bagian Informasi, Model, dan Hasil Analisis (Sisi Kanan)

Terletak di bagian kanan halaman yang disusun secara vertikal dari atas ke bawah untuk menyajikan informasi hasil pemrosesan:

- a. **Results:** Berfungsi menampilkan keluaran (*output*) diagnosis klasifikasi penyakit (seperti Normal, COVID-19, Lung Opacity, atau Viral Pneumonia) beserta persentase skor keyakinan model (**Confidence**) setelah proses inferensi dilakukan.
- b. **File Information:** Menyajikan atribut metadata dari berkas yang diunggah, meliputi nama berkas (Name), ukuran berkas (Size), dan tipe berkas (Type).
- c. **Tombol DETECT:** Ditempatkan di bagian paling bawah panel kanan sebagai tombol aksi utama (*Call to Action*) untuk mengeksekusi mesin inferensi Deep Learning dalam menganalisis citra X-Ray.

4.3 Implementasi Sistem

Tahap implementasi sistem merupakan proses penerjemahan hasil perancangan ke dalam bentuk perangkat lunak yang fungsional dan siap digunakan. Pada penelitian ini, implementasi dibagi menjadi dua bagian utama yang merupakan satu kesatuan sistem terintegrasi, yaitu implementasi model deep learning, dan implementasi antarmuka web interaktif menggunakan framework Next.js yang dihubungkan melalui layanan Application Programming Interface (API) FastAPI.

4.3.1 Implementasi Model

Bagian ini menguraikan tahapan-tahapan teknis dalam membangun dan melatih model deep learning untuk tugas klasifikasi citra medis Chest X-Ray yang merujuk pada standar metodologi CRISP-DM (Business Understanding, Data Understanding, Data Preparation, Modeling, dan Evaluation). Fokus utama pada tahap ini adalah melatih arsitektur MobileNetV2 menggunakan teknik transfer learning agar mampu mengklasifikasikan citra ke dalam empat kategori penyakit dengan tingkat akurasi dan efisiensi waktu komputasi yang optimal.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4.3.1.1. Business Understanding

Pemahaman masalah penelitian mengacu pada deteksi dan klasifikasi penyakit paru-paru dari citra radiografi dada. Pada tahapan ini diperlukan pemahaman mengenai citra Chest X-Ray (CXR) yang didapatkan dari pasien, agar dapat mengetahui informasi patologis penting pada sebuah citra paru yang akan diterapkan pada platform web sebagai alat bantu skrining tenaga medis. Hal ini ditujukan untuk memfasilitasi proses memasukkan informasi citra sehingga sistem dapat membedakan kondisi paru-paru Normal, terinfeksi COVID-19, Lung Opacity, dan Viral Pneumonia secara otomatis.

4.3.1.2. Data Understanding

Pemahaman data (data understanding) mengacu pada data yang digunakan untuk menjalankan penelitian ini. Tahap ini dimaksudkan untuk memahami format data yang diberikan dan digunakan dalam proses training. Berikut data yang akan digunakan dalam pelatihan model:

- Data yang digunakan bersumber dari dataset publik COVID-19 Radiography Database.
- Data terdiri dari kumpulan citra digital berformat PNG atau JPG.
- Data dibagi ke dalam 4 kelas klasifikasi utama, yaitu kelas Normal, COVID-19, Lung Opacity, dan Viral Pneumonia.

4.3.1.3. Data Preparation

Pada tahap Data Preparation, dilakukan beberapa proses pra-pemrosesan terhadap citra radiografi sebelum digunakan untuk pelatihan model. Proses tersebut meliputi *resizing* citra menjadi 224×224 piksel, normalisasi nilai piksel ke rentang 0–1, serta pembagian dataset menjadi data pelatihan, validasi, dan pengujian.

A. Resizing

```
def __init__(self, data_dir='.', image_size=(224, 224)):
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
self.data_dir = data_dir
self.image_size = image_size
```

Resizing merupakan tahapan implementasi untuk memotong ataupun mengubah skala citra dari berbagai macam ukuran awal menjadi dimensi yang seragam, yaitu 224×224 piksel (Rahman et al., 2021). Pada tahap ini, pemilihan dimensi 224×224 piksel disesuaikan secara khusus dengan standar ukuran masukan (input) gambar yang dibutuhkan oleh arsitektur MobileNetV2 (Ramadhani et al., 2023; Marya et al., 2024). Penyesuaian ke dimensi tersebut sangat krusial dilakukan agar arsitektur model dapat bekerja dengan benar dan mampu mengeksploitasi bobot pra-latih (pre-trained weights) secara efektif, karena bobot model yang digunakan pada penelitian ini telah dioptimalkan sebelumnya untuk ukuran resolusi 224×224 (Charan et al., 2024). Dengan demikian, seluruh dataset akan memiliki dimensi yang konsisten sehingga model Deep Learning dapat memproses dan mempelajari citra dengan lebih baik dan mudah.

B. Normalization

Setelah ukurannya disesuaikan, dilakukan normalisasi nilai piksel citra menjadi skala 0 hingga 1 dengan cara membagi setiap nilai piksel dengan 255. Tahap normalisasi ini diterapkan agar distribusi nilai input menjadi seragam dan stabil sebelum dimasukkan ke dalam model. Hal ini didukung oleh Khan et al. (2022) yang menyatakan bahwa normalisasi piksel digunakan sebagai alat *preprocessing* untuk menormalkan intensitas piksel citra X-Ray yang dikumpulkan dari berbagai sumber, sehingga proses pelatihan model MobileNetV2 dapat berjalan lebih stabil dan konvergen dengan lebih efisien.

```
ImageDataGenerator(rescale=1./255)
```

Kode tersebut digunakan untuk melakukan normalisasi nilai piksel citra dengan membagi setiap nilai piksel menggunakan angka 255 sehingga rentang nilai berubah dari 0–255 menjadi 0–1.

Secara matematis, proses normalisasi piksel dapat dinyatakan menggunakan Persamaan berikut.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

$$x_{normalisasi} = \frac{x}{255}$$

dengan:

x = nilai piksel asli (0–255)

$x_{normalisasi}$ = nilai piksel setelah normalisasi (0–1)

255 = nilai maksimum piksel pada citra 8-bit

Untuk memberikan gambaran mengenai proses normalisasi, Ilustrasi berikut menunjukkan contoh perubahan nilai piksel pada sebagian kecil area citra.

Ilustrasi Matriks Piksel

Misalkan sebagian kecil area citra Chest X-Ray memiliki nilai piksel:

$$\begin{bmatrix} 25 & 80 & 128 \\ 180 & 200 & 255 \\ 60 & 120 & 150 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.098 & 0.314 & 0.502 \\ 0.706 & 0.784 & 1.000 \\ 0.235 & 0.471 & 0.588 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan ilustrasi tersebut, nilai piksel yang semula berada pada rentang 0–255 diubah menjadi rentang 0–1 dengan membagi setiap nilai piksel menggunakan angka 255. Sebagai contoh, piksel dengan nilai 128 akan berubah menjadi 0,502 setelah normalisasi. Proses ini bertujuan untuk menyeragamkan rentang data masukan sehingga model MobileNetV2 dapat melakukan proses pembelajaran secara lebih stabil dan mengurangi kemungkinan terjadinya ketidakseimbangan skala fitur selama pelatihan.

Untuk mengetahui pengaruh normalisasi terhadap performa model, dilakukan pengujian dengan membandingkan model yang menggunakan normalisasi dan model tanpa normalisasi.

Tabel 2 Hasil Normalisasi

Skenario	Akurasi
Tanpa Normalisasi	66%
Dengan Normalisasi	90%

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, penerapan normalisasi memberikan peningkatan akurasi yang cukup besar. Model yang dilatih tanpa normalisasi hanya memperoleh akurasi sebesar 66%, sedangkan setelah normalisasi diterapkan akurasi meningkat menjadi 90%. Peningkatan sebesar 24% tersebut



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

menunjukkan bahwa normalisasi membantu model dalam mempelajari pola dan fitur pada citra X-Ray paru-paru secara lebih efektif sehingga menghasilkan performa klasifikasi yang lebih baik.

C. Split Data

Setelah proses resizing dan normalisasi selesai dilakukan, dataset kemudian dibagi menjadi tiga bagian, yaitu data pelatihan (training), data pengujian (testing), dan data validasi (validation). Pembagian dataset dilakukan menggunakan metode stratified split untuk mempertahankan proporsi setiap kelas pada masing-masing subset data, mengingat dataset yang tidak seimbang dapat menyebabkan bias pada proses pelatihan model (Khan et al., 2022). Pada penelitian ini digunakan beberapa skenario pembagian data, yaitu 70:10:20, 80:10:10, dan 90:5:5. Pengujian terhadap beberapa skenario tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh proporsi data pelatihan, validasi, dan pengujian terhadap performa model MobileNetV2 dalam melakukan klasifikasi citra X-Ray paru-paru.

Tabel 3 Hasil Split Data

Split Data (train/val/test)	Akurasi		Total Waktu Training
	Normal Vs Sakit	Multi Class	
70/10/20	91%	95%	30 Menit 30 Detik
80/10/10	91%	95%	33 Menit 17 Detik
90/5/5	91%	96%	35 Menit 20 Detik

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, pembagian dataset 70:10:20 menghasilkan akurasi sebesar 91% pada tahap klasifikasi Normal vs Sakit dan 95% pada tahap klasifikasi multi-kelas dengan waktu pelatihan selama 30 menit 30 detik. Sementara itu, pembagian dataset 80:10:10 menghasilkan akurasi yang sama, yaitu 91% pada tahap pertama dan 95% pada tahap kedua, namun membutuhkan waktu pelatihan yang lebih lama, yaitu 33 menit 17 detik.

Pada pembagian dataset 90:5:5 diperoleh peningkatan akurasi multi-kelas sebesar 1% menjadi 96%, tetapi waktu pelatihan meningkat menjadi 35 menit 20 detik.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Peningkatan akurasi tersebut relatif kecil dibandingkan dengan tambahan waktu pelatihan yang dibutuhkan.

Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pembagian dataset 70:10:20 karena mampu menghasilkan performa klasifikasi yang kompetitif dengan waktu pelatihan paling singkat. Selain itu, proporsi data pengujian (testing) yang lebih besar sebesar 20% memberikan hasil pengujian model yang lebih representatif dibandingkan pembagian 80:10:10 dan 90:5:5 yang hanya mengalokasikan 10% dan 5% untuk data pengujian (Khan et al., 2022).

4.3.1.4. Modeling

Tahap modeling merupakan inti dari proses pengembangan sistem klasifikasi citra medis pada penelitian ini. Berdasarkan hasil analisis kebutuhan dan persiapan data yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, tahap ini berfokus pada pemilihan arsitektur model, proses pelatihan, serta evaluasi performa model yang dihasilkan.

Pada penelitian ini, arsitektur deep learning yang digunakan adalah MobileNetV2 dengan pendekatan Transfer Learning dari bobot pre-trained ImageNet. Pemilihan MobileNetV2 didasarkan pada karakteristiknya yang ringan dan efisien secara komputasi namun tetap mampu menghasilkan performa klasifikasi yang tinggi (Ramadhani et al., 2023), sehingga sesuai untuk diimplementasikan pada platform web dengan sumber daya server terbatas (Islam et al., 2024).

A. MobileNetV2 untuk Klasifikasi Citra X-Ray Model

MobileNetV2 adalah sebuah model deep learning yang digunakan untuk melakukan proses klasifikasi citra medis, yang mana model akan mengekstraksi fitur visual pada sebuah citra X-Ray dada pasien. Setelah proses pre-processing selesai dan dataset didapatkan, hal yang dilakukan pertama kali adalah menginisialisasi library seperti TensorFlow dan Keras yang akan digunakan untuk melatih model, lalu memanggil arsitektur pre-trained MobileNetV2.

```
def build_MobileNetV2(self, num_classes, color_channels=3):
    base_model = MobileNetV2(weights='imagenet', include_top=False, pooling='avg',
                              input_shape=(self.image_size[0], self.image_size[1], color_channels))
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
base_model.trainable = False # Freeze base

x = base_model.output
x = layers.Dense(256, activation='relu')(x)
x = layers.Dropout(0.5)(x)
predictions = layers.Dense(num_classes, activation='softmax')(x)

model = Model(inputs=base_model.input, outputs=predictions)
model.compile(optimizer='adam', loss='categorical_crossentropy', metrics=['accuracy'])
return model
```

pada build_MobileNetV2, lapisan dasar (base model) menggunakan bobot praterlatih dari dataset ImageNet (weights='imagenet') dengan konfigurasi base_model.trainable = False untuk membekukan bobot asli (freeze weights), kemudian ditambahkan Dense layer baru di bagian atas (top layer) untuk melakukan klasifikasi penyakit baru.

Melalui baris instruksi base_model.trainable = False pada rancangan kode di atas, diaplikasikan mekanisme pembekuan lapisan (layer freezing) terhadap seluruh arsitektur dasar MobileNetV2. Pendekatan ini dilakukan untuk mengunci bobot parameter (weights) visual universal seperti deteksi tepi, kontras, dan bentuk geometris makro yang telah dipelajari oleh MobileNetV2 dari dataset ImageNet. Dengan membekukan lapisan dasar ini, proses pembaruan gradien selama training hanya akan berfokus pada lapisan klasifikasi baru (custom top layers) yang ditambahkan di atasnya. Strategi ini secara drastis mampu menekan jumlah parameter yang harus dilatih (trainable parameters), sehingga komputasi menjadi jauh lebih efisien dan terhindar dari risiko *catastrophic forgetting* pada fitur visual medis yang sensitif.

B. Pelatihan Model

Model dilatih menggunakan dataset yang telah dipersiapkan sebelumnya melalui proses iterasi (*epoch*). Pada penelitian ini, pelatihan awal dilakukan menggunakan 10 epoch dan membutuhkan waktu pelatihan selama 29 menit 30 detik pada perangkat laptop. Untuk mengevaluasi kecukupan jumlah epoch yang digunakan, dilakukan eksperimen lanjutan dengan membandingkan performa model MobileNetV2 pada 10 epoch dan 20 epoch. Hasil perbandingan performa model



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

berdasarkan metrik *train accuracy*, *train loss*, *validation accuracy*, dan *validation loss* ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4 Perbandingan Performa MobileNetV2 pada 10 dan 20 Epoch

Tahap Klasifikasi	Epoch	Train Accuracy	Train Loss	Validation Accuracy	Validation Loss
Normal vs Sakit	10	90,83%	0,2314	90,92%	0,2343
Normal vs Sakit	20	92,78%	0,1811	91,44%	0,2292
Multi-class	10	96,41%	0,0918	94,90%	0,1417
Multi-class	20	97,67%	0,0594	95,81%	0,1321

Berdasarkan Tabel 4, peningkatan jumlah epoch dari 10 menjadi 20 menghasilkan peningkatan performa yang relatif kecil. Pada tahap klasifikasi Normal vs Sakit, validation accuracy hanya meningkat sebesar 0,52%, dari 90,92% menjadi 91,44%. Sementara itu pada tahap klasifikasi Multi-class, validation accuracy meningkat sebesar 0,91%, dari 94,90% menjadi 95,81%.

Untuk mengamati perkembangan performa model selama proses pelatihan, dilakukan analisis terhadap nilai validation accuracy pada beberapa epoch penting sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Perkembangan Validation Accuracy MobileNetV2

Tahap 1 - Normal vs Sakit		Tahap 2 - Multi-Class	
Epoch	Validation Accuracy	Epoch	Validation Accuracy
1	86,95%	1	88,88%
5	89,65%	5	93,71%

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tahap 1 - Normal vs Sakit		Tahap 2 - Multi-Class	
10	90,92%	10	94,90%
15	91,16%	15	95,81%
20	91,21%	20	95,26%

Berdasarkan Tabel 5, peningkatan validation accuracy terjadi cukup signifikan pada epoch awal hingga sekitar epoch ke-10. Setelah melewati epoch ke-10, peningkatan performa mulai melambat dan cenderung stabil. Pada tahap Multi-class, validation accuracy meningkat dari 94,90% pada epoch ke-10 menjadi 95,81% pada epoch ke-15, namun kemudian mengalami sedikit penurunan menjadi 95,26% pada epoch ke-20. Fenomena ini menunjukkan adanya diminishing return, yaitu kondisi ketika penambahan jumlah epoch menghasilkan peningkatan performa yang semakin kecil dibandingkan tambahan waktu komputasi yang dibutuhkan.

Berdasarkan hasil tersebut, penggunaan 10 epoch dinilai telah mampu menghasilkan performa yang baik dengan waktu pelatihan yang lebih efisien. Oleh karena itu, jumlah epoch yang digunakan pada penelitian ini dipertahankan sebanyak 10 epoch sebagai titik keseimbangan (*sweet spot*) antara kualitas model dan efisiensi komputasi.

4.3.1.5. Evaluation

Evaluation adalah sebuah tahapan yang digunakan untuk melakukan proses evaluasi terhadap model yang telah dibangun, yaitu dengan cara menentukan performa model pada data pengujian yang belum pernah dilihat selama proses pelatihan. Evaluasi dilakukan menggunakan empat metrik utama, yaitu accuracy, precision, recall, dan F1-Score, yang dihitung berdasarkan nilai True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), dan False Negative (FN) dari Confusion Matrix.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Rumus perhitungan keempat metrik tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Accuracy} = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$$

$$\text{Precision} = TP / (TP + FP)$$

$$\text{Recall} = TP / (TP + FN)$$

$$\text{F1-Score} = 2 \times (\text{Precision} \times \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall})$$

Selain keempat metrik tersebut, kualitas klasifikasi juga diukur menggunakan **Cohen's Kappa Score (κ)**, yaitu sebuah metrik statistik yang mengukur tingkat kesepakatan antara hasil prediksi model dengan label aktual di luar faktor kebetulan (beyond chance). Rumus perhitungan Cohen's Kappa Score adalah sebagai berikut:

$$\kappa = (Po - Pe) / (1 - Pe)$$

dengan:

- Po = proporsi kesepakatan yang diamati (observed agreement)
- Pe = proporsi kesepakatan yang diharapkan terjadi secara kebetulan (expected agreement)
- κ = nilai Kappa (-1 hingga 1)

Berdasarkan pedoman interpretasi Landis dan Koch (1977), nilai κ diinterpretasikan dalam enam tingkatan sebagai berikut:

Nilai κ	Kategori
< 0,00	Poor
0,00 – 0,20	Slight
0,21 – 0,40	Fair
0,41 – 0,60	Moderate
0,61 – 0,80	Substantial
0,81 – 1,00	Almost Perfect Agreement



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Pedoman interpretasi ini digunakan secara konsisten dalam menilai seluruh hasil evaluasi model pada penelitian ini. Evaluasi dilakukan secara hierarkis mengikuti arsitektur sistem, yaitu dimulai dari Step 1: Klasifikasi Biner (Normal vs. Sakit), kemudian dilanjutkan ke Step 2: Klasifikasi Multi-kelas (Jenis Penyakit).

A. Step 1 - Klasifikasi Biner (Normal vs. Sakit)

Tahap pertama dari sistem klasifikasi hierarkis adalah klasifikasi biner, yang bertugas membedakan apakah citra X-Ray paru-paru seorang pasien termasuk dalam kondisi Normal atau Sakit. Evaluasi pada step ini dilakukan terhadap kedua arsitektur model, yaitu CNN konvensional dan MobileNetV2.

1. Confusion Matrix

Setelah model selesai dilatih, dilakukan tahap pengujian menggunakan data uji (*data testing*). Hasil klasifikasi dievaluasi menggunakan *Confusion Matrix* untuk memperlihatkan kelas yang dideteksi oleh model dan dibandingkan dengan kelas sebenarnya, sehingga terbentuk nilai *True Positive*, *True Negative*, *False Positive*, dan *False Negative*.

Tabel 6 Confusion Matrix MobileNetV2 – Klasifikasi Normal vs Sakit

Actual \ Predicted	Normal	Sakit
Normal	1814	225
Sakit	169	2027

Berdasarkan Tabel 6, model MobileNetV2 berhasil mengklasifikasikan 1.814 citra Normal dan 2027 citra Sakit dengan benar. Namun demikian, masih terdapat kesalahan klasifikasi berupa 225 citra Normal yang diprediksi sebagai Sakit (*False Positive*) dan 169 citra Sakit yang diprediksi sebagai Normal (*False Negative*).

Dalam konteks medis, *False Negative* merupakan jenis kesalahan yang perlu mendapat perhatian khusus karena dapat menyebabkan pasien yang sebenarnya memiliki kelainan paru-paru tidak terdeteksi oleh sistem. Meskipun demikian,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

secara umum distribusi prediksi menunjukkan bahwa model mampu membedakan kondisi Normal dan Sakit dengan tingkat ketepatan yang tinggi.

2. Metrik Performa

Selain menggunakan Confusion Matrix, performa model juga dievaluasi menggunakan metrik Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, dan Cohen's Kappa Score. Metrik tersebut digunakan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kemampuan model dalam melakukan klasifikasi.

Tabel 7 Metrik Performa MobileNetV2 – Klasifikasi Normal vs Sakit

Kelas	Precision	Recall	F1-Score
Normal	0,91	0,89	0,90
Sakit	0,90	0,92	0,91
Accuracy	-	-	0,91
Cohen's Kappa	-	-	0,8135

Berdasarkan Tabel 7, model MobileNetV2 menghasilkan akurasi keseluruhan sebesar 91%. Nilai Cohen's Kappa sebesar 0,8135 menunjukkan tingkat kesepakatan yang kuat (Substantial Agreement) antara hasil prediksi model dan label sebenarnya.

Nilai Precision, Recall, dan F1-Score pada kedua kelas juga menunjukkan performa yang relatif seimbang. Kelas Normal memperoleh nilai Precision sebesar 0,91, Recall sebesar 0,89, dan F1-Score sebesar 0,90. Sementara itu, kelas Sakit memperoleh Precision sebesar 0,90, Recall sebesar 0,92, dan F1-Score sebesar 0,91. Hasil ini menunjukkan bahwa model tidak mengalami bias yang signifikan terhadap salah satu kelas dan mampu mempertahankan keseimbangan antara kemampuan mendeteksi kasus sakit dan menghindari kesalahan prediksi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

3. Perbandingan Performa CNN dan MobileNetV2

Untuk mengetahui efektivitas arsitektur MobileNetV2, dilakukan perbandingan dengan model CNN konvensional yang digunakan sebagai baseline penelitian.

Tabel 8 Perbandingan Hasil Evaluasi Step 1

Model	Accuracy	Cohen's Kappa	False Positive	False Negative
CNN	90%	0,7996	131	294
MobileNetV2	91%	0,8135	225	169

Berdasarkan Tabel 8, MobileNetV2 menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan CNN konvensional. Hal ini terlihat dari peningkatan akurasi dari 90% menjadi 91% serta peningkatan nilai Cohen's Kappa dari 0,7996 menjadi 0,8135.

Jika ditinjau dari distribusi kesalahan klasifikasi, MobileNetV2 menghasilkan jumlah False Negative yang lebih rendah dibandingkan CNN, yaitu 169 citra dibandingkan 294 citra. Penurunan False Negative ini merupakan aspek yang penting dalam konteks medis karena mengurangi risiko pasien yang sebenarnya sakit namun terklasifikasi sebagai normal. Namun demikian, jumlah False Positive pada MobileNetV2 tercatat lebih tinggi, yaitu 225 citra dibandingkan 131 citra pada CNN. Kondisi ini menunjukkan bahwa MobileNetV2 cenderung lebih sensitif dalam mendeteksi citra sakit sehingga menghasilkan lebih banyak prediksi positif.

Secara keseluruhan, MobileNetV2 memberikan performa yang lebih baik berdasarkan akurasi, Cohen's Kappa Score, serta kemampuan menekan jumlah False Negative. Oleh karena itu, model MobileNetV2 dipilih sebagai model terbaik pada tahap klasifikasi biner dan digunakan sebagai dasar untuk



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

melanjutkan proses klasifikasi ke Step 2, yaitu identifikasi jenis penyakit paru-paru secara spesifik.

B. Step 2 - Klasifikasi Multi-kelas (COVID-19, Lung Opacity, Viral Pneumonia)

Tahap kedua dari sistem klasifikasi hierarkis adalah klasifikasi multi-kelas, yang bertugas mengidentifikasi jenis penyakit paru-paru secara spesifik, yaitu COVID-19, Lung Opacity, dan Viral Pneumonia. khusus pada citra yang telah terklasifikasi sebagai Sakit pada Step 1. Evaluasi pada tahap ini dilakukan terhadap kedua arsitektur model, yaitu CNN konvensional dan MobileNetV2.

1. Confusion Matrix

Setelah model selesai dilatih, dilakukan tahap pengujian menggunakan data uji. Hasil klasifikasi dievaluasi menggunakan Confusion Matrix untuk memperlihatkan kelas yang dideteksi oleh model dan dibandingkan dengan kelas sebenarnya, sehingga terbentuk pola prediksi benar dan salah pada setiap kelas.

Tabel 9 Confusion Matrix MobileNetV2 – Klasifikasi Multi-kelas

Actual \ Predicted	Covid	Lung Opacity	Viral Pneumonia
Covid	695	25	3
Lung Opacity	78	1125	0
Viral Pneumonia	5	1	263

Berdasarkan Tabel 9, model MobileNetV2 berhasil mengklasifikasikan 695 citra COVID-19, 1.125 citra Lung Opacity, dan 263 citra Viral Pneumonia dengan benar. Kelas Viral Pneumonia menunjukkan performa klasifikasi individual tertinggi, dengan hanya 6 citra yang mengalami kesalahan dari total 269 data uji. Kelas Lung Opacity mencatatkan jumlah True Positive terbesar secara absolut, yaitu sebanyak 1.125 citra terklasifikasi benar.

Kesalahan klasifikasi yang paling menonjol terjadi pada kelas Lung Opacity, di mana 78 citra diprediksi sebagai COVID-19. Hal ini dapat dipahami mengingat karakteristik visual antara Lung Opacity dan COVID-19 pada citra X-Ray memiliki kemiripan pola infiltrat yang cukup tinggi, sehingga menjadi tantangan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

tersendiri bagi model dalam membedakan kedua kelas tersebut. Sementara itu, tidak terdapat misklasifikasi dari kelas Lung Opacity ke kelas Viral Pneumonia, yang menunjukkan bahwa model berhasil memisahkan kedua kelas tersebut dengan baik.

2. Metrik Performa

Selain Confusion Matrix, performa model juga dievaluasi menggunakan metrik Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, dan Cohen's Kappa Score untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kemampuan model dalam membedakan ketiga jenis penyakit.

Tabel 10 Metrik Performa MobileNetV2 – Klasifikasi Multi-kelas

Kelas	Precision	Recall	F1-Score
Covid	0,89	0,96	0,93
Lung Opacity	0,98	0,94	0,96
Viral Pneumonia	0,99	0,98	0,98
Accuracy	-	-	0,95
Cohen's Kappa	-	-	0,9122

Berdasarkan Tabel 10, model MobileNetV2 menghasilkan akurasi keseluruhan sebesar 95%. Nilai Cohen's Kappa sebesar 0,9122 melampaui ambang batas 0,90 sehingga masuk ke dalam kategori *Almost Perfect Agreement* berdasarkan skala interpretasi Landis & Koch (1977), yang menunjukkan tingkat kesepakatan yang sangat kuat antara hasil prediksi model dan label sebenarnya.

Distribusi metrik per kelas menunjukkan performa yang kuat di seluruh kelas. Kelas Viral Pneumonia mencatatkan nilai tertinggi dengan Precision 0,99, Recall



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

0,98, dan F1-Score 0,98, yang mengindikasikan bahwa model hampir tidak menghasilkan kesalahan prediksi pada kelas ini. Kelas Lung Opacity memperoleh Precision 0,98 dan F1-Score 0,96, dengan kontribusi True Positive terbesar. Sementara itu, kelas COVID-19 memperoleh nilai Recall sebesar 0,96, yang menunjukkan sensitivitas tinggi dalam mendeteksi pasien positif COVID-19.

3. Perbandingan Performa CNN dan MobileNetV2

Untuk mengetahui efektivitas arsitektur MobileNetV2 pada skenario multi-kelas, dilakukan perbandingan dengan model CNN konvensional yang digunakan sebagai baseline penelitian.

Tabel 11 Perbandingan Hasil Evaluasi Step 2

Model	Accuracy	Cohen's Kappa Score
CNN	96%	0,9276
MobileNetV2	95%	0,9122

Berdasarkan Tabel 11, pada skenario klasifikasi multi-kelas, CNN konvensional mencatatkan akurasi 96% dan Cohen's Kappa 0,9276, sedikit lebih tinggi dibandingkan MobileNetV2 yang memperoleh akurasi 95% dan Cohen's Kappa 0,9122. Meskipun demikian, kedua model sama-sama berada dalam kategori *Almost Perfect Agreement*, menunjukkan bahwa selisih performa antara keduanya tidak bersifat substansial.

Jika ditinjau dari distribusi kesalahan per kelas, MobileNetV2 menghasilkan False Negative yang lebih rendah pada kelas COVID-19 dibandingkan CNN, yaitu 28 citra dibandingkan 62 citra. Penurunan False Negative pada kelas COVID-19 ini merupakan aspek yang relevan secara klinis karena mengurangi risiko pasien positif COVID-19 yang tidak terdeteksi oleh sistem. Di sisi lain, CNN menunjukkan keunggulan pada kelas Lung Opacity dengan False Negative yang lebih rendah, yaitu 23 citra dibandingkan 78 citra pada MobileNetV2.

Mempertimbangkan keunggulan MobileNetV2 dalam menekan False Negative pada kelas COVID-19 yang bersifat kritis, serta konsistensi performa yang telah



Hak Cipta :

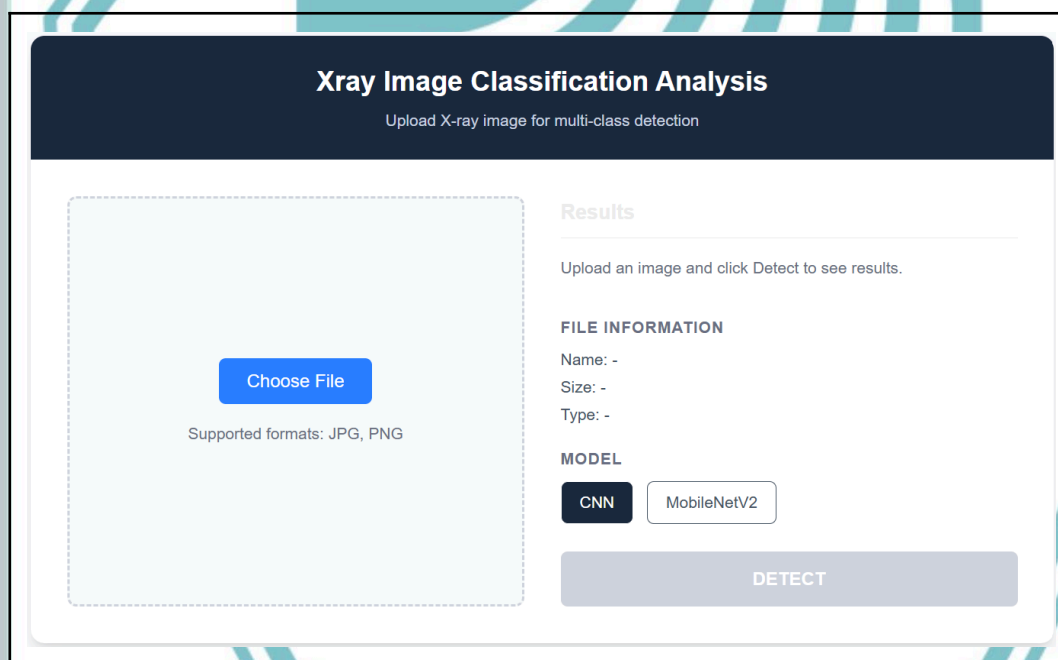
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

ditunjukkan pada Step 1, model MobileNetV2 tetap dipilih sebagai model final pada sistem klasifikasi hierarkis ini.

4.3.2 Implementasi Antarmuka Web (Next.js)

Bagian ini menjelaskan hasil realisasi dari perancangan antarmuka pengguna (User Interface) berbasis platform web. Implementasi frontend dibangun secara responsif menggunakan framework Next.js yang dikonfigurasi agar dapat berkomunikasi secara asinkron dengan backend FastAPI untuk memproses citra X-Ray. Penjelasan pada tahap ini akan mencakup tampilan Halaman Utama, interaksi pada Form Deteksi, dan pemuatan Hasil Prediksi.

4.3.2.1. Implementasi Sistem Halaman Utama (Home)



Gambar 4.5 Tampilan Halaman Utama Web

Gambar 4.5 memperlihatkan antarmuka halaman utama web yang mana digunakan sebagai layar awal ketika pengguna pertama kali mengakses platform. Pada halaman ini disediakan informasi dan juga panduan singkat agar pengguna dapat memahami fungsi utama dari platform web ini. Pengguna dapat langsung menuju ke fitur utama dengan menekan tombol navigasi yang telah disediakan pada sistem.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4.3.2.2. Implementasi Sistem Form Deteksi Citra X-Ray

Gambar 4.6 Form Mengunggah Citra X-Ray

Gambar 4.6 memperlihatkan antarmuka untuk pengguna mengunggah citra Chest X-Ray yang dimiliki, untuk dideteksi oleh model pembacaan penyakit paru-paru. Pengguna dapat mengunggah citra X-Ray, dengan ketentuan format citra yang dapat dilihat pada keterangan atau notes yang telah diberikan pada gambar 4.26. Syarat mengunggah citra X-Ray dapat dilihat pada bagian catatan, seperti keharusan menggunakan format gambar standar (JPG, JPEG, atau PNG), sehingga model dapat mendeteksi citra dengan lebih efektif dan akurat.

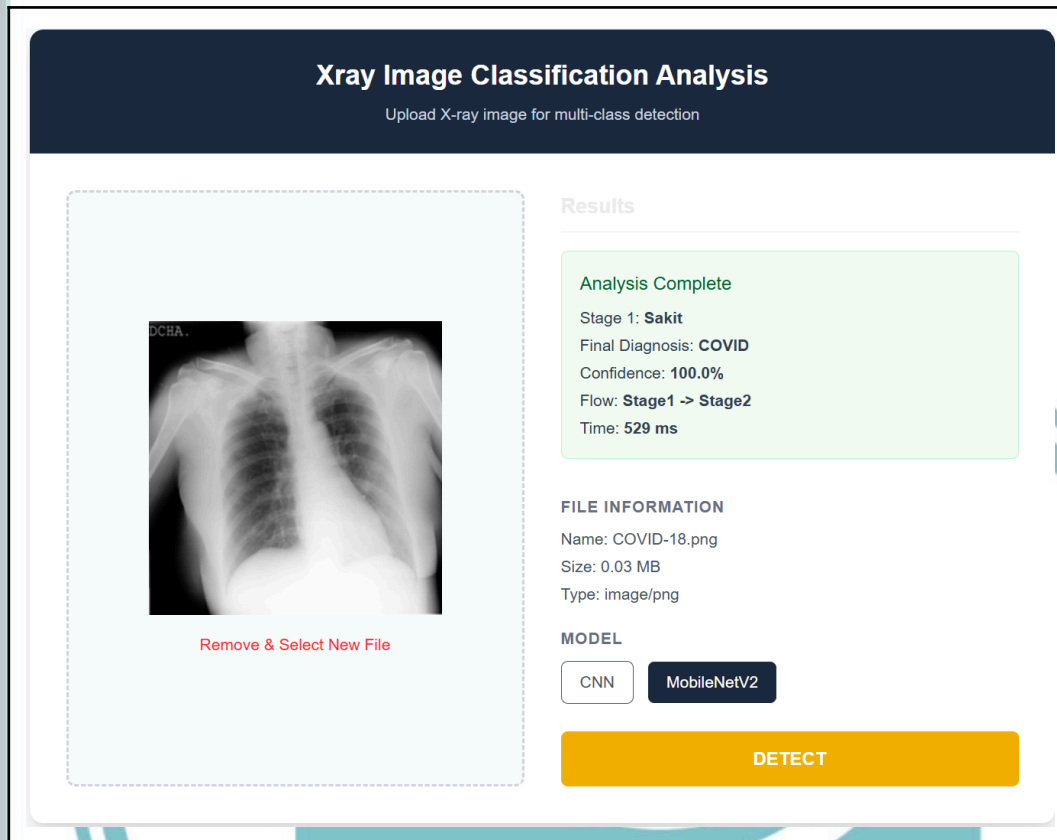
Setelah file diunggah sesuai dengan ketentuan, pengguna dapat melihat pratinjau (preview) citra dan menekan tombol deteksi, sehingga file yang diunggah akan diproses oleh model.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4.3.2.3. Implementasi Sistem Hasil Prediksi Model



Gambar 4.7 Tampilan Hasil Deteksi Penyakit Valid

Gambar 4.7 memperlihatkan antar muka untuk menangkap hasil dari proses deteksi model, sehingga tampil hasil klasifikasi penyakit dari file citra Chest X-Ray yang telah diunggah sebelumnya. Hasil diagnosis ditampilkan pada field hasil prediksi, yang mana akan menampilkan salah satu dari empat kelas (Normal, COVID-19, Lung Opacity atau Viral Pneumonia) beserta tingkat keyakinan probabilitasnya.

4.4 Pengujian Sistem

Pada penelitian ini, pengujian sistem dilakukan dengan tujuan yang berbeda pada setiap jenisnya. Setiap pengujian diuraikan mencakup deskripsi pengujian, prosedur pengujian, serta data hasil dan analisis, yang difokuskan untuk menilai performa model deep learning, fungsionalitas sistem, serta antarmuka web yang telah dibangun.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4.4.1 Prosedur Pengujian

Terdapat tiga jenis pengujian yang dilakukan pada penelitian ini. Pertama, pengujian kinerja model deep learning yang dilakukan untuk membandingkan secara empiris arsitektur CNN konvensional dengan MobileNetV2 melalui berbagai skenario pengujian. Kedua, pengujian Black Box yang dilakukan dengan membuat skenario test case berdasarkan fungsionalitas utama platform web untuk memverifikasi bahwa setiap fitur berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Ketiga, pengujian System Usability Scale (SUS) yang melibatkan responden langsung untuk mengukur tingkat kemudahan dan kenyamanan penggunaan antarmuka web, disertai pengujian tambahan menggunakan Net Promoter Score (NPS) untuk mengukur tingkat kesediaan pengguna dalam merekomendasikan sistem kepada orang lain.

4.4.1.1. Prosedur Pengujian Kinerja Model Deep Learning

Pengujian kinerja model dilakukan melalui tiga skenario. Pertama, pengujian akurasi pada berbagai pendekatan pra-pemrosesan data secara langsung (direct), mulai dari tanpa normalisasi, normalisasi saja, normalisasi dengan augmentasi manual, hingga normalisasi dengan augmentasi dan SMOTE. Kedua, pengujian akurasi pada pendekatan klasifikasi hierarkis 2-step, yaitu tahap klasifikasi biner (Normal vs. Sakit) dan tahap klasifikasi multi-kelas (jenis penyakit). Ketiga, pengujian efisiensi waktu pelatihan pada beberapa spesifikasi resolusi citra, serta pengujian batas ketahanan memori komputasi (RAM) saat memproses dataset hasil SMOTE.

4.4.1.2. Prosedur Pengujian Black Box

Pengujian *Black Box* dilakukan dengan cara membuat *test case* berdasarkan fungsionalitas utama yang dapat terjadi pada platform web. Setiap *test case* memiliki *test condition* (kondisi positif atau negatif), *expected result*, dan juga *actual result*. *Expected result* merupakan kondisi yang diharapkan terjadi pada kasus tersebut, dan *actual result* merupakan keadaan nyata yang terjadi pada saat pengujian dilakukan. Dari perbandingan kedua kondisi tersebut, dibuat suatu



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

kolom berisi status untuk menentukan apakah pengujian tersebut "Sesuai/Passed" atau "Gagal/Failed".

Tabel 12 Kerangka Pengujian *Black Box*

Test Case ID	Test Case Name	Test Condition	Test Case Desc	Expected Result
TC_POS_1	Validasi Fitur Unggah Citra Valid	Positif	Pengguna mengunggah dokumen citra dada berekstensi JPG/PNG/JPEG.	Sistem menerima <i>file</i> dan menampilkan pratinjau (<i>preview</i>) gambar.
TC_NEG_1	Validasi Restriksi Format Input Komponen File Picker	Negatif	Pengguna membuka jendela penjelajah berkas melalui tombol <i>Choose File</i> untuk memilih citra.	Jendela <i>file picker</i> secara otomatis menyaring (<i>filter</i>) berkas dan hanya mengizinkan pengguna memilih berkas berekstensi .jpg, .jpeg atau .png.
TC_POS_2	Validasi Fitur Deteksi Penyakit	Positif	Pengguna menekan tombol "Deteksi" setelah gambar berhasil diunggah.	<i>Backend</i> FastAPI memproses gambar dan web Next.js menampilkan hasil klasifikasi penyakit.
TC_NEG_2	Validasi Pencegahan Deteksi Tanpa Berkas	Negatif	Pengguna dengan sengaja menekan tombol "Deteksi" tanpa memilih/mengunggah berkas citra X-Ray terlebih dahulu.	Tombol "Deteksi" dalam keadaan nonaktif (<i>disabled</i>) atau sistem memunculkan peringatan batas <i>input</i> kosong untuk mencegah <i>error</i> pada API.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4.4.1.3. Prosedur Pengujian *System Usability Scale* (SUS)

Pengujian *System Usability Scale* dilakukan dengan melibatkan responden dari kalangan calon pengguna umum, yang mana akan diberikan kuesioner dengan 10 sampel pertanyaan. Pada setiap sampel pertanyaan tersebut dibagi menjadi 2 jenis, yaitu pertanyaan bernada positif dan pertanyaan bernada negatif. Kuesioner akan dilakukan dengan menggunakan format penilaian skala Likert tunggal, yang mana nilai 1 digunakan untuk "sangat tidak setuju", dan nilai 5 digunakan untuk "sangat setuju". Media yang digunakan untuk menyebarkan kuesioner dilakukan melalui platform *Google Form* dengan kerangka pertanyaan seperti pada tabel berikut.

Tabel 13 Kerangka *System Usability Scale*

Kode	Pertanyaan	1	2	3	4	5
SUS-1	Saya berpikir akan menggunakan sistem web klasifikasi citra ini lagi					
SUS-2	Saya merasa antarmuka sistem web ini rumit untuk digunakan					
SUS-3	Saya merasa website ini mudah digunakan					
SUS-4	Saya membutuhkan bantuan dari orang teknis dalam menggunakan sistem ini					
SUS-5	Saya merasa berbagai fungsi dalam sistem ini terintegrasi dengan baik					
SUS-6	Saya merasa ada banyak hal yang tidak konsisten (tidak serasi) pada antarmuka sistem ini					
SUS-7	Saya merasa orang lain akan memahami cara menggunakan sistem ini dengan cepat					
SUS-8	Saya merasa sistem deteksi penyakit paru-paru ini sangat membingungkan					
SUS-9	Saya merasa aman saat menggunakan website ini.					



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Kode	Pertanyaan	1	2	3	4	5
SUS-10	Saya perlu membiasakan diri terlebih dahulu sebelum menggunakan sistem ini					

Selain kuesioner SUS, pada sesi yang sama responden juga diberikan satu pertanyaan tambahan dalam kerangka Net Promoter Score (NPS), yaitu "Berdasarkan pengalaman Anda, seberapa besar kemungkinan Anda merekomendasikan website ini kepada teman atau kolega?" dengan skala penilaian 0 hingga 10. Responden kemudian dikategorikan menjadi tiga kelompok, yaitu Promoters (skor 9–10), Passives (skor 7–8), dan Detractors (skor 0–6).

4.4.2 Data Hasil Pengujian

4.4.2.1. Data Hasil Evaluasi Kinerja Model

Pengujian evaluasi kinerja model dilakukan untuk membandingkan secara empiris arsitektur CNN konvensional dengan MobileNetV2 melalui berbagai skenario pengujian, mulai dari pendekatan pra-pemrosesan data secara langsung (*direct*) hingga pendekatan pemodelan bertahap (*2-step modelling* / klasifikasi hierarkis). Seluruh rekapitulasi perbandingan akurasi dirangkum pada Tabel 14.

Tabel 14 Perbandingan Akurasi Keseluruhan Berdasarkan Skenario Pengujian

Skenario Pengujian / Pendekatan	Akurasi CNN	Akurasi MobileNetV2
Skenario Pra-Pemrosesan Data (<i>Direct</i>)		
Tanpa Normalisasi	89%	66%
Normalisasi Saja	86%	90%
Normalisasi + Augmentasi Manual	87%	88%
Normalisasi + Augmentasi + SMOTE (Lokal)	89%	91%



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Skenario Pengujian / Pendekatan	Akurasi CNN	Akurasi MobileNetV2
Skenario 2-Step Modelling (Klasifikasi Hierarkis)		
Tahap 1: Klasifikasi Biner (Normal vs Sakit)	90%	91%
Tahap 2: Klasifikasi Multi-Kelas (Jenis Penyakit)	96%	95%

Selain akurasi, pengujian juga mencakup efisiensi waktu pelatihan (*training time*) pada beberapa spesifikasi resolusi citra, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15 Perbandingan Waktu Pelatihan (*Training Time*)

Resolusi Citra	Model	Waktu Pelatihan
224 x 224 (<i>Hierarchy modelling</i>)	CNN Konvensional	38 Menit 38 Detik
	MobileNetV2	29 Menit 30 Detik
96 x 96 (<i>Dengan SMOTE</i>) (<i>Device: Ryzen 5, RAM 15.2 GB</i>)	CNN Konvensional	27 Menit 58 Detik
	MobileNetV2	09 Menit 23 Detik

Pengujian kinerja terakhir berfokus pada uji batas ketahanan memori komputasi (RAM) saat memproses dataset hasil SMOTE yang masif. Hasil perbandingan antara lingkungan *Google Colab* dan perangkat lokal ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16 Hasil Pengujian Batas Sumber Daya Komputasi

Lingkungan Komputasi	Spesifikasi RAM	Status CNN	Status MobileNetV2
<i>Google Colab</i> (T4 GPU)	<i>System RAM</i> 12,7 GB	Berhasil	Gagal (<i>Out of Memory</i>)
Perangkat Lokal / Laptop	<i>Useable RAM</i> 15,2 GB	Berhasil	Berhasil



4.4.2.2. Data Hasil Pengujian *Black Box*

Berdasarkan seluruh skenario *test case* yang telah dieksekusi, seluruh pengujian fungsional pada platform web mendapatkan status "Sesuai/Passed". Rekapitulasi hasil pengujian *Black Box* telah disajikan pada Tabel 17.

Tabel 17 Kerangka Pengujian *Black Box*

Test Case ID	Test Case Name	Test Condition	Test Case Desc	Expected Result	Actual Result	Status
TC_POS_1	Validasi Fitur Unggah Citra Valid	Positif	Pengguna mengunggah dokumen citra dada berekstensi JPG/PNG/JPEG.	Sistem menerima <i>file</i> dan menampilkan pratinjau (<i>preview</i>) gambar.	Sistem menampilkan pratinjau gambar.	Sesuai
TC_NEG_1	Validasi Restriksi Format Input Komponen File Picker	Negatif	Pengguna membuka jendela penjelajah berkas melalui tombol <i>Choose File</i> untuk memilih citra.	Jendela <i>file picker</i> secara otomatis menyaring (<i>filter</i>) berkas dan hanya mengizinkan pengguna memilih berkas berekstensi .jpg, .jpeg atau .png.	Komponen membatasi seleksi berkas, sehingga format non-gambar tidak dapat dipilih.	Sesuai
TC_POS_2	Validasi Fitur Deteksi Penyakit	Positif	Pengguna menekan tombol "Deteksi" setelah gambar berhasil diunggah.	<i>Backend</i> FastAPI memproses gambar dan web Next.js menampilkan hasil klasifikasi penyakit.	Web menampilkan hasil klasifikasi penyakit.	Sesuai
TC_NEG_2	Validasi Pencegahan Deteksi Tanpa Berkas	Negatif	Pengguna dengan sengaja menekan tombol "Deteksi" tanpa memilih/mengunggah	Tombol "Deteksi" dalam keadaan nonaktif (<i>disabled</i>) atau sistem memunculkan	Tombol "Deteksi" nonaktif (<i>disabled</i>) dan tidak memicu pengiriman <i>request</i>	Sesuai

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Test Case ID	Test Case Name	Test Condition	Test Case Desc	Expected Result	Actual Result	Status
			h berkas citra X-Ray lebih dahulu.	peringatan batas input kosong untuk mencegah <i>error</i> pada API.	kosong ke <i>backend</i> .	

4.4.2.3. Data Hasil Pengujian *System Usability Scale* (SUS)

Pengujian SUS melibatkan 14 responden yang telah mencoba langsung antarmuka sistem web. Skor SUS dihitung dengan ketentuan: skor pertanyaan bernomor ganjil diperoleh dari nilai jawaban dikurangi 1, sedangkan skor pertanyaan bernomor genap diperoleh dari nilai 5 dikurangi jawaban responden. Total dari seluruh skor kemudian dikalikan 2,5 untuk menghasilkan nilai akhir SUS. Rekapitulasi perhitungan skor setiap responden ditunjukkan pada Tabel 18.

Tabel 18 Rekapitulasi Perhitungan Skor SUS

Responden	Nilai SUS Ganjil	Nilai SUS Genap	Total Nilai	Skor SUS (Total × 2,5)
R-1	19	19	38	95,0
R-2	18	17	35	87,5
R-3	19	19	38	95,0
R-4	19	17	36	90,0
R-5	18	19	37	92,5
R-6	17	19	36	90,0
R-7	20	16	36	90,0
R-8	14	12	26	65,0
R-9	18	9	27	67,5
R-10	13	11	24	60,0



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Responden	Nilai SUS Ganjil	Nilai SUS Genap	Total Nilai	Skor SUS (Total × 2,5)
R-11	15	14	29	72,5
R-12	18	16	34	85,0
R-13	20	20	40	100,0
R-14	15	12	27	67,5
Rata-Rata				82,68

Pada sesi yang sama, responden juga memberikan penilaian NPS dengan meminta penilaian tingkat kemungkinan merekomendasikan sistem kepada orang lain menggunakan skala 0 hingga 10. Responden dikategorikan menjadi tiga kelompok: *Promoters* (skor 9–10), *Passives* (skor 7–8), dan *Detractors* (skor 0–6). Rekapitulasi penilaian NPS ditunjukkan pada Tabel 19.

Tabel 19 Rekapitulasi Data Penilaian NPS

Responden	Skor (0–10)	Kategori
R-1	10	<i>Promoter</i>
R-2	8	<i>Passive</i>
R-3	7	<i>Passive</i>
R-4	9	<i>Promoter</i>
R-5	8	<i>Passive</i>
R-6	6	<i>Detractor</i>
R-7	10	<i>Promoter</i>
R-8	7	<i>Passive</i>
R-9	6	<i>Detractor</i>
R-10	7	<i>Passive</i>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Responden	Skor (0–10)	Kategori
R-11	10	<i>Promoter</i>
R-12	10	<i>Promoter</i>
R-13	9	<i>Promoter</i>
R-14	7	<i>Passive</i>

Berdasarkan Tabel 4.7, dari total 14 responden diperoleh 6 responden kategori *Promoters* (42,86%), 6 responden kategori *Passives* (42,86%), dan 2 responden kategori *Detractors* (14,29%).

4.4.3 Analisis Hasil Pengujian

4.4.3.1. Analisis Kinerja Model *Deep Learning*

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.3, diperoleh tiga temuan analisis komparatif antara model CNN konvensional dan MobileNetV2 sebagai berikut.

Pertama, dari sisi akurasi, MobileNetV2 secara konsisten mengungguli CNN konvensional pada sebagian besar skenario pra-pemrosesan data. Performa tertinggi diraih pada skenario *2-step modelling* tahap kedua (klasifikasi multi-kelas jenis penyakit), di mana CNN mencatatkan akurasi 96% dan MobileNetV2 sebesar 95%. Pada skenario pra-pemrosesan langsung, puncak akurasi MobileNetV2 diperoleh saat dikombinasikan dengan normalisasi, augmentasi, dan SMOTE, yakni sebesar 91%, melampaui CNN pada angka 89%. Hal ini membuktikan bahwa arsitektur *Inverted Residuals* dan *Linear Bottlenecks* pada MobileNetV2 efektif dalam mengekstraksi fitur patologis citra paru secara presisi.

Kedua, dari sisi efisiensi waktu pelatihan, MobileNetV2 terbukti lebih unggul secara komputasi. Pada resolusi 224×224, MobileNetV2 menyelesaikan pelatihan dalam 29 menit 30 detik, lebih cepat dibandingkan CNN yang membutuhkan 38 menit 38 detik. Efisiensi ini semakin terlihat pada resolusi 96×96 di perangkat



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

lokal, di mana MobileNetV2 hanya memerlukan 9 menit 23 detik, hampir tiga kali lebih cepat dibandingkan CNN yang membutuhkan 27 menit 58 detik.

Ketiga, ditemukan anomali pada pengujian di lingkungan *Google Colab* (*System RAM* 12,7 GB), di mana MobileNetV2 mengalami kegagalan sistem (*Out of Memory*) saat memproses dataset hasil SMOTE, sementara CNN berhasil. Analisis menunjukkan bahwa proses *depthwise separable convolution* pada MobileNetV2 membutuhkan alokasi memori sementara yang lebih besar saat menangani dataset yang diperbesar oleh SMOTE. Permasalahan ini diselesaikan dengan memindahkan proses pelatihan ke perangkat lokal berkapasitas RAM 15,2 GB.

4.4.3.2. Analisis Hasil Pengujian Black Box

Berdasarkan data hasil pengujian Black Box, platform web yang dibangun telah mampu menangani siklus kesalahan pengguna (*user error handling*) dengan sangat baik dan mendapatkan tingkat keberhasilan 100%. Sistem secara proaktif membatasi jenis berkas yang dapat diunggah hanya pada ekstensi gambar yang didukung (JPG/PNG/JPEG), serta secara otomatis menonaktifkan tombol eksekusi deteksi saat file masukan masih kosong. Lapisan keamanan dan validasi di tingkat antarmuka (*frontend Next.js*) ini terbukti berhasil melindungi backend (API *FastAPI*) dari pengiriman request yang tidak valid atau respons error, sehingga keseluruhan alur diagnosis medis dapat berjalan dengan lancar dan stabil.

4.4.3.3. Analisis Hasil Pengujian System Usability Scale (SUS) dan Net Promoter Score (NPS)

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.7, platform web ini memperoleh skor SUS rata-rata sebesar 82,68. Skor tersebut diinterpretasikan menggunakan tiga dimensi penilaian standar SUS. Dari dimensi *Acceptability Ranges*, skor 82,68 berada di atas batas penerimaan minimum (>70) sehingga dikategorikan sebagai *Acceptable*. Dari dimensi *Grade Scales*, skor ini berada pada rentang $80 < SUS \leq 90$ sehingga dikategorikan sebagai *Grade B*. Dari dimensi *Adjective Ratings*, skor di atas 80 diklasifikasikan sebagai *Excellent*.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Terdapat empat responden (R-8, R-9, R-10, dan R-14) yang memberikan skor di bawah 70. Berdasarkan masukan kualitatif yang dihimpun, kendala utama yang dikeluhkan adalah waktu pemrosesan deteksi yang terasa lambat, yang kemungkinan dipengaruhi oleh kecepatan koneksi internet responden terhadap server backend. Hal ini menjadi catatan untuk mengoptimasi latensi respons API pada pengembangan sistem berikutnya.

Hasil pengujian NPS pada Tabel 4.8 memperkuat temuan SUS di atas. Nilai NPS dihitung dengan mengurangi persentase Promoters terhadap persentase Detractors, yaitu $42,86\% - 14,29\% = +28,57$ (dibulatkan menjadi +29). Skor NPS yang bernilai positif (>0) dikategorikan sebagai "Baik" (Good) berdasarkan standar evaluasi produk digital, yang mengindikasikan adanya sentimen kepuasan pengguna yang solid. Hasil ini konsisten dengan skor SUS yang berada pada kategori Excellent, di mana responden yang memberikan skor SUS tinggi cenderung juga masuk ke dalam kategori Promoters pada penilaian NPS. Secara keseluruhan, kedua instrumen evaluasi ini mengonfirmasi bahwa sistem telah memenuhi standar usability yang layak, dengan ruang pengembangan pada aspek kecepatan respons sistem untuk mendorong skor kepuasan pengguna ke kategori World-Class ($NPS > 70$) pada iterasi berikutnya.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mengimplementasikan Sistem Klasifikasi COVID-19 dan Pneumonia pada Citra X-Ray menggunakan arsitektur MobileNetV2 yang diintegrasikan ke dalam sebuah platform web berbasis Next.js dan FastAPI. Fitur-fitur yang dikembangkan dalam sistem ini adalah sebagai berikut.

1. Fitur unggah citra berfungsi untuk memungkinkan pengguna mengunggah berkas citra *Chest X-Ray* berformat JPG, JPEG, atau PNG ke dalam sistem, dilengkapi validasi berkas otomatis yang membatasi pemilihan berkas hanya pada format gambar yang didukung serta menonaktifkan tombol deteksi apabila berkas masih kosong.
2. Fitur pratinjau (*preview*) berfungsi untuk menampilkan citra *Chest X-Ray* yang telah diunggah sebelum proses klasifikasi dieksekusi, sehingga pengguna dapat memverifikasi kesesuaian berkas secara visual.
3. Fitur deteksi/klasifikasi berfungsi untuk mengeksekusi model *deep learning* MobileNetV2 secara hierarkis (*2-step modelling*) dalam mengidentifikasi kondisi paru-paru, dengan akurasi 91% pada klasifikasi biner (Normal vs. Sakit) dan 95% pada klasifikasi multi-kelas (COVID-19, Lung Opacity, dan Viral Pneumonia).
4. Fitur hasil prediksi berfungsi untuk menampilkan label klasifikasi penyakit beserta *confidence score* dari model, sehingga pengguna dapat memperoleh informasi diagnosis secara langsung dan transparan.

5.2 Saran

Meskipun sistem yang dibangun telah beroperasi dengan baik dan memenuhi seluruh target yang ditetapkan, masih terdapat beberapa ruang pengembangan yang potensial untuk menyempurnakan penelitian ini di masa mendatang, di antaranya:



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

1. Ditambahkan lapisan model pra-validasi sebelum tahap klasifikasi dilakukan, sehingga sistem mampu mendeteksi secara otomatis apakah berkas yang diunggah benar-benar merupakan citra *Chest X-Ray* anatomis atau bukan, guna mencegah sistem memberikan hasil prediksi yang tidak sesuai akibat unggahan gambar yang tidak relevan.
2. Dikembangkan fitur segmentasi dan lokalisasi infeksi paru-paru dengan memanfaatkan data *lung mask* yang telah tersedia pada dataset, sehingga sistem tidak hanya mampu memprediksi jenis penyakit tetapi juga mampu mengidentifikasi secara visual bagian paru-paru mana yang terinfeksi dan bagian mana yang masih sehat, memberikan nilai diagnostik yang lebih tinggi bagi tenaga medis.
3. Diperluas cakupan dataset dan klasifikasi dengan menambahkan berbagai kelas penyakit paru-paru lainnya, mengingat masih banyak jenis penyakit paru yang belum tercakup dalam sistem ini.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N. dan Liliana, D. Y. 2022. Prediksi Gender Berdasarkan Citra Mata Menggunakan Metode Convolutional Neural Network, Inception dan MobileNet. *Buletin Poltanesa*, 23(1), 1-8.
- Charan, K. S., Krishna, O. V., Sai, P. V. dan Ilavarasi, A. K. 2024. Transfer Learning Based Multi-Class Lung Disease Prediction Using Textural Features Derived From Fusion Data. *IEEE Access*, 12, 108248–108262.
- Cherukuri, B. R. 2024. Containerization in Cloud Computing: Comparing Docker and Kubernetes for Scalable Web Applications. *International Journal of Science and Research Archive*, 13(01), 3302-3315.
- Elkabalawy, M., Al-Sakkaf, A., Abdelkader, E. M. dan Alfalah, G. 2024. CRISP-DM-Based Data-Driven Approach for Building Energy Prediction Utilizing Indoor and Environmental Factors. *Sustainability*, 16(17), 7249.
- Hanafi, R., Haq, A. dan Agustin, N. 2024. Comparison of Web Page Rendering Methods Based on Next.js Framework Using Page Loading Time Test. *TEKNIKA*, 13(1), 102-108.
- Hasan, A. M., dkk. 2021. Deep Learning Based Detection and Segmentation of COVID-19 & Pneumonia on Chest X-Ray Image. *International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems*.
- Islam, N., Mohsin, A. S. M., Choudhury, S. H., Shaer, T. P., Islam, M. A., Sadat, O. dan Taz, N. H. 2024. COVID-19 and Pneumonia Detection and Web Deployment from CT Scan and X-Ray Images Using Deep Learning. *PLoS ONE*, 19(7), e0302413.
- Jawahar, M., Prassanna, J., Ravi, V., Anbarasi, L. J., Jasmine, S. G., Manikandan, R., Sekaran, R. dan Kannan, S. 2022. Computer-Aided Diagnosis of COVID-19 from Chest X-Ray Images Using Histogram-Oriented Gradient Features and Random Forest Classifier. *Multimedia Tools and Applications*, 81(28), 40451–40468.
- Khan, E., Rehman, M. Z. U., Ahmed, F., Alfouzan, F. A., Alzahrani, N. M. dan Ahmad, J. 2022. Chest X-Ray Classification for the Detection of COVID-19 Using Deep Learning Techniques. *Sensors*, 22, 1211.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

- Landis, J.R. dan Koch, G.G. 1977. "The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data". *Biometrics*, 33(1), 159-174.
- Openja, M., Majidi, F., Khomh, F., Chembakottu, B. dan Li, H. 2022. Studying the Practices of Deploying Machine Learning Projects on Docker. *Proceedings of the International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE)*, 1-11.
- Rahman, T., Khandakar, A., Qiblawey, Y., Tahir, A., Kiranyaz, S., Kashem, S. B. A., Islam, M. T., Maadeed, S. A., Zughaier, S. M., Khan, M. S. dan Chowdhury, M. E. H. 2021. Exploring the Effect of Image Enhancement Techniques on COVID-19 Detection Using Chest X-Ray Images. *Computers in Biology and Medicine*, 132, 104319.
- Ramadhani, A. N. M., Saraswati, G. W., Agung, R. T. dan Santoso, H. A. 2023. Performance Comparison of Convolutional Neural Network and MobileNetV2 for Chili Diseases Classification. *JURNAL RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 7(4), 940-946.
- Rasulov, H. R. 2024. FastAPI: A Modern Web Framework for Python. *International Journal of Scientific Researchers*, 8(1), 727-730.
- Safitri, A. N. dan Harkespan, I. 2024. Pengembangan Web Service Menggunakan Framework FastAPI untuk Meningkatkan Kemudahan Integrasi Sistem Informasi Akademik Multiplatform. *Jurnal Teknoif Teknik Informatika Institut Teknologi Padang*, 12(2), 149-157.
- Saravanos, A. dan Curinga, M. X. 2023. Simulating the Software Development Lifecycle: The Waterfall Model. *Applied System Innovation*, 6, 108.
- Setiabudhi, A. S., Wahyuni, E. D. dan Wibowo, N. C. 2025. Frontend Design and Development of Thesis Management Application Using NextJS in Physics Study Program UPN "Veteran" Jatim. *Jurnal Teknologi dan Open Source*, 8(1), 142-152.
- Singhal, K., Jha, D., Yadav, P., Pragati dan Chaudhary, M. 2025. A Web Platform for Medical Image Classification. *IPEC Journal of Science & Technology*.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS



Muhammad Rachmadhani Kurniawan

Lahir di Jakarta, 01 November 2004. Lulus dari SD Negeri Pondok Bambu 06 pada tahun 2016, SMP Negeri 109 Jakarta pada tahun 2019, dan SMA Negeri 61 Jakarta pada tahun 2022. Kemudian menempuh Pendidikan Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Informatika Jurusan Teknik Informatika dan Komputer di Politeknik Negeri Jakarta dari tahun 2022 hingga tahun 2026.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

© Hak Cipta Politeknik Negeri Jakarta

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

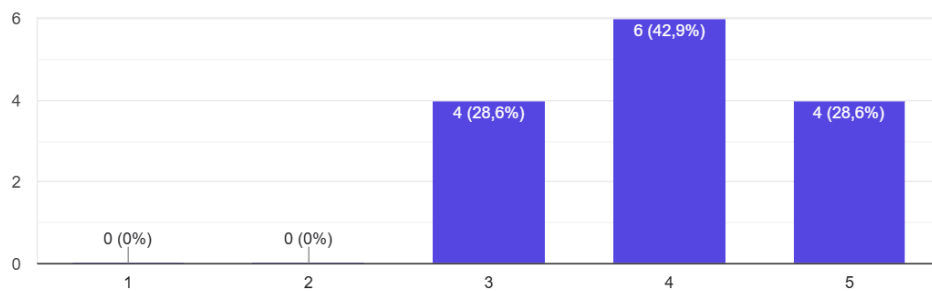
LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Kuesioner

1. Saya berpikir akan menggunakan sistem web klasifikasi citra ini lagi.

[Salin diagram](#)

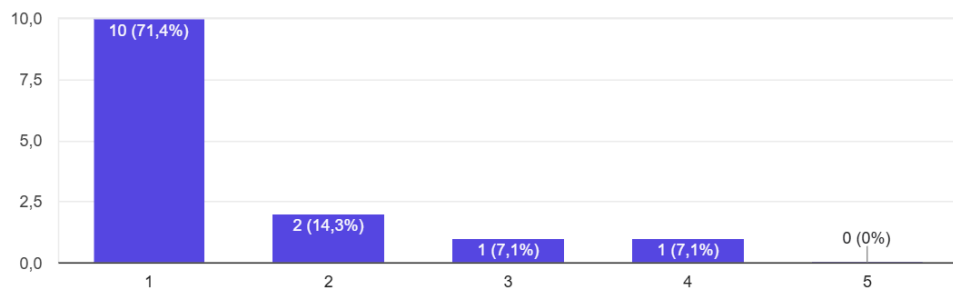
14 jawaban



2. Saya merasa antarmuka sistem web ini rumit untuk digunakan.

[Salin diagram](#)

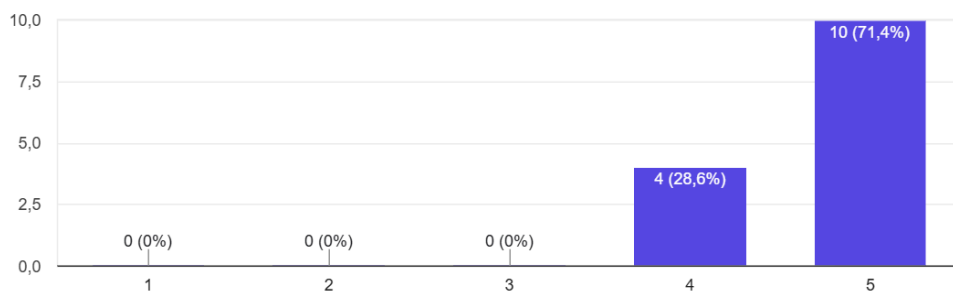
14 jawaban



3. Saya merasa website ini mudah digunakan.

[Salin diagram](#)

14 jawaban





© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

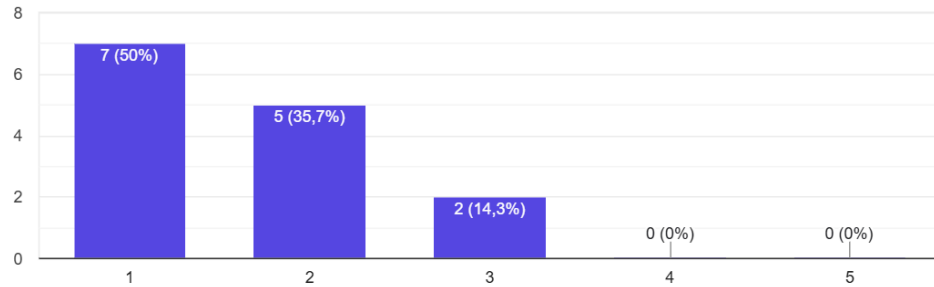
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4. Saya membutuhkan bantuan dari orang teknis dalam menggunakan sistem ini.

[Salin diagram](#)

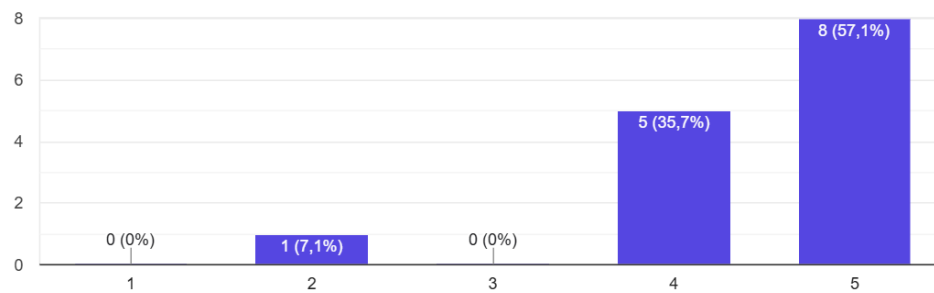
14 jawaban



5. Saya merasa berbagai fungsi dalam sistem ini terintegrasi dengan baik.

[Salin diagram](#)

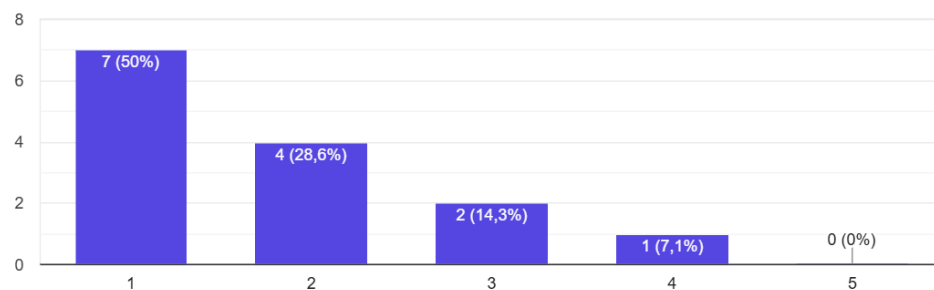
14 jawaban



6. Saya merasa ada banyak hal yang tidak konsisten (tidak serasi) pada antarmuka sistem ini.

[Salin diagram](#)

14 jawaban





© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

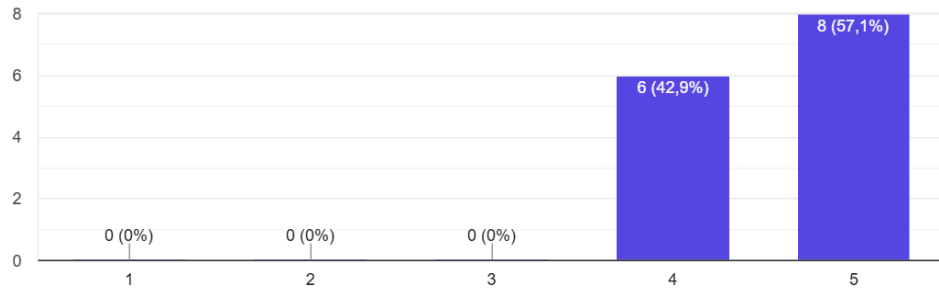
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

7. Saya merasa orang lain akan memahami cara menggunakan sistem ini dengan cepat.

[Salin diagram](#)

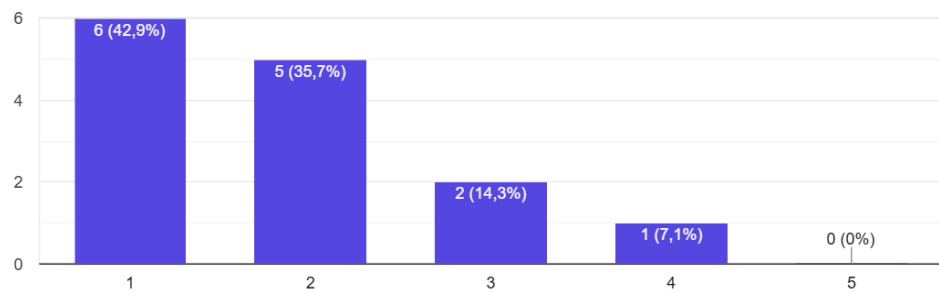
14 jawaban



8. Saya merasa sistem deteksi penyakit paru-paru ini sangat membingungkan.

[Salin diagram](#)

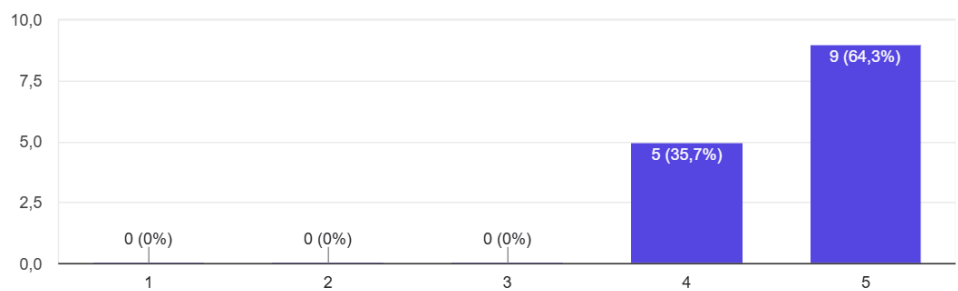
14 jawaban



9. Saya merasa aman saat menggunakan website ini.

[Salin diagram](#)

14 jawaban





© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

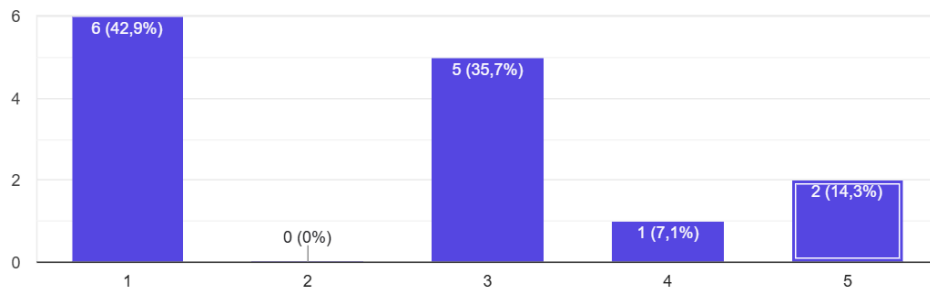
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

10. Saya perlu membiasakan diri terlebih dahulu sebelum menggunakan sistem ini.

[Salin diagram](#)

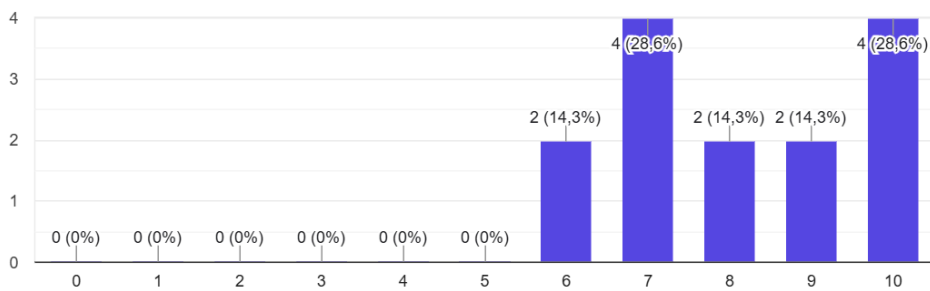
14 jawaban



Berdasarkan pengalaman Anda, seberapa besar kemungkinan Anda merekomendasikan website ini kepada teman atau kolega?

[Salin diagram](#)

14 jawaban





© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2 Hasil Cek Turnitin

Laporan Skripsi_Muhammad Rachmadhani Kurniawan (1)

ORIGINALITY REPORT

18%	16%	10%	10%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	jurusan.tik.pnj.ac.id Internet Source	5%
2	dspace.uii.ac.id Internet Source	1%
3	123dok.com Internet Source	1%
4	repository.pnj.ac.id Internet Source	1%
5	Submitted to SDM Universitas Gadjah Mada Student Paper	1%
6	penerbit.gunadarma.ac.id Internet Source	<1%
7	pmc.ncbi.nlm.nih.gov Internet Source	<1%
8	etheses.uin-malang.ac.id Internet Source	<1%
9	docplayer.info Internet Source	<1%