

**ANALISIS AKURASI MODEL MOBILENETV2 DALAM KLASIFIKASI
CITRA X-RAY UNTUK DETEKSI KONDISI PARU-PARU**

SKRIPSI

Dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh

Gelar Sarjana Sains bidang studi Fisika



OLEH :

ABDAN SYAKUROH

NIM. 08021282126056

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS AKURASI MODEL MOBILENETV2 DALAM KLASIFIKASI CITRA X-RAY UNTUK DETEKSI KONDISI PARU-PARU

SKRIPSI

Dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh

Gelar Sarjana Sains bidang studi Fisika

OLEH :

ABDAN SYAKUROH

NIM. 08021282126056

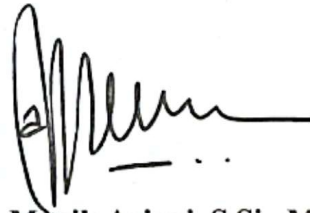
Indralaya, 14 Mei 2025
Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si.
NIP. 197002231995121002

Pembimbing II



Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si.
NIP. 197211252000122001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP. 197009101994121001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya :

Nama : Abdan Syakuroh
NIM : 08021282126056
Judul TA : Analisis Akurasi Model *MobileNetV2* Dalam Klasifikasi Citra *X-Ray* Untuk Deteksi Kondisi Paru-Paru

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun dengan judul tersebut adalah asli atau orisinalitas dan mengikuti penulisan karya ilmiah sampai pada waktu skripsi ini diselesaikan, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun. Apabila dikemudian hari terdapat kesalahan atau keterangan yang tidak benar dalam pernyataan ini, maka saya siap bertanggungjawab secara akademik dan bersedia menjalani proses hukum yang ditetapkan.

Indralaya, Mei 2025



Abdan Syakuroh
NIM. 08021282126056

MOTO DAN PERSEMBAHAN

MOTO

“Dan bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya, dan sesungguhnya usahanya itu kelak akan diperlihatkan (kepadanya). Kemudian akan diberi balasan kepadanya dengan balasan yang paling sempurna.”

(QS. Al-Najm: 39-42)

“Barangsiapa menempuh jalan untuk mencari ilmu, Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga.”

(HR. Bukhari dan Muslim)

“Kalau pendekar terjatuh, dia tidak akan sedih, dia tidak akan kecewa, dia tidak akan menangis, dia akan berdiri lagi, dan tidak pernah akan menyerah.”

(Prabowo Subianto)

“Kalo mimpi kamu gak bikin kamu gelisah, gak bikin kamu mempertanyakan, gak bikin kamu takut, itu artinya mimpinya gak cukup besar. Mimpi jangan nanggung, mimpi itu harus yang bikin kamu gemetar, itu yang harus kamu cari.”

(Najwa Shihab)

“Semua jatuh bangunmu hal yang biasa, angan dan pertanyaan waktu yang menjawabnya, berikan tenggat waktu bersedihlah secukupnya, rayakan perasaanmu sebagai manusia.”

(Baskara Putra – Hindia)

“Selepas toga, perjalanan sejati dimulai: menenun ilmu menjadi karya, mengubah mimpi menjadi kontribusi nyata.”

(Abdan Syakuroh)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati, karya skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT., Tuhan Yang Maha Esa, atas segala limpahan rahmat, kemudahan, dan kekuatan, sehingga saya mampu menghadapi dan melewati berbagai tantangan selama proses penelitian ini hingga tuntas.
2. Ayah dan Ibu, atas cinta, doa, dan pengorbanan, yang menjadi sumber kekuatan, fondasi, dan semangat dalam setiap langkah hidup dan studi saya.
3. Fatia dan Velia, adik-adik kandung saya, yang menjadi sumber energi positif dan dukungan yang turut memperkaya perjalanan ini.
4. Seluruh keluarga besar saya, atas perhatian dan semangat yang menyertai serta menguatkan di setiap perjalanan yang saya tempuh.
5. Bapak Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si. dan Ibu Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan dan ilmu yang telah diberikan sepanjang proses penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Hadi, S.Si., M.T., Ibu Dr. Erry Koriyanti, S.Si., M.T., dan Ibu Erni, S.Si., M.Si. selaku dosen pembahas/penguji, atas masukan dan saran berharga dalam penyempurnaan skripsi ini.
7. Bapak M. Yusup Nur Khakim, Ph.D. selaku dosen pembimbing akademik, atas arahan dan konsultasi akademik selama masa studi di Jurusan Fisika.
8. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T. selaku ketua jurusan fisika, serta seluruh dosen fisika, khususnya yang pernah menjadi dosen pengampu mata kuliah saya, atas pengalaman belajar yang diberikan selama masa studi.
9. Kak David, serta seluruh staf administrasi di Jurusan Fisika dan Fakultas MIPA Unsri, atas pelayanan dan dukungan administratif selama proses studi dan penyusunan skripsi ini.
10. Bang Deral, alumni angkatan 20, kasuh himafia sekaligus mentor skripsi saya, yang bersedia membimbing, berbagi ilmu, dan memberikan masukan bermanfaat dalam pemrograman skripsi saya.
11. Dion, Tipa, dan Nanda, teman seperjuangan dari sirkel “Sebangku” sejak SMA yang menempuh studi di kampus berbeda, menghadirkan semangat dan kebersamaan lintas jarak dalam menyelesaikan skripsi masing-masing.

12. Atala, Fikri, dan Hana, serta Tiya sebagai partner satu bimbingan, teman seperjuangan fisika, yang menghadirkan kebersamaan dan kedekatan selama proses menyelesaikan skripsi masing-masing.
13. Wahyu, Julian, dan Kak Arya, teman dari “Juwara”, yang memberikan motivasi dan inspirasi berharga sepanjang perjalanan saya menyelesaikan skripsi ini.
14. Handi, Roges, Imel, dan Ellen, adik-adik BBK dari angkatan 22, yang memberikan dukungan dan semangat menguatkan dari belakang layar.
15. Caca, Lora, Reksi, Tina, dan Tata, adik-adik dari angkatan 23, yang menghadirkan kehangatan dan keceriaan selama kuliah.
16. Sadam, Gemma (IKMB), Mustari, Age (24), Oldaf (U-READ), serta teman-teman yang namanya ingin saya tuliskan satu per satu, atas kebersamaan, dukungan, dan semangat yang telah mewarnai studi saya.
17. Teman-teman angkatan 21 PIONEER, atas kebersamaan dan interaksi yang membentuk kenangan berharga sepanjang masa studi.
18. Teman-teman Himpunan Mahasiswa Fisika Unsri (HIMAFIA), Ikatan Kerukunan Mahasiswa Baturaja (IKMB), dan UKM Unsri Riset & Edukasi (U-READ), atas pengalaman yang memperkaya proses pembelajaran saya.
19. Jurusan Fisika dan almamater Universitas Sriwijaya, pelabuhan ilmu dan rumah pertumbuhan diri, sebagai tempat berproses dalam menempuh pendidikan tinggi.
20. Untuk diri saya sendiri, atas keteguhan hati dan keberanian melangkah, yang tak pernah lelah belajar dari setiap tantangan dan terus tumbuh di setiap kesempatan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **"Analisis Akurasi Model *MobileNetV2* dalam Klasifikasi Citra *X-ray* untuk Deteksi Kondisi Paru-Paru"**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains di bidang studi Fisika di Universitas Sriwijaya.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya deteksi dini penyakit paru-paru yang dapat berakibat fatal jika tidak segera ditangani. Dengan berkembangnya teknologi, terutama dalam bidang *deep learning* dan *Computer Aided Diagnostic (CAD)*, penulis merasa terdorong untuk mengembangkan model klasifikasi citra *X-ray* menggunakan arsitektur *MobileNetV2* yang efisien dan efektif.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pembimbing, Bapak Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si. dan Ibu Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si. yang telah memberikan bimbingan dan arahan yang sangat berharga selama proses penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para Dosen Pembahas/Penguji, yaitu Bapak Hadi, S.Si., M.T., Ibu Dr. Erry Koriyanti, S.Si., M.T., dan Ibu Erni, S.Si., M.Si., atas masukan, kritik, dan saran yang sangat konstruktif dalam penyempurnaan skripsi ini. Terima kasih juga kepada teman-teman dan keluarga yang selalu memberikan dukungan moral dan semangat.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi perbaikan di masa mendatang.

Indralaya, 12 Mei 2025

Penulis



Abdan Syakuroh

NIM. 08021282126056

ANALISIS AKURASI MODEL MOBILENETV2 DALAM KLASIFIKASI CITRA X-RAY UNTUK DETEKSI KONDISI PARU-PARU

OLEH :
ABDAN SYAKUROH
NIM. 08021282126056

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis akurasi model *MobileNetV2* dalam melakukan klasifikasi citra *X-ray* pada deteksi empat kondisi paru-paru, yaitu Normal, *Pneumonia*, *Cardiomegaly*, dan *Pneumothorax*. Dataset yang digunakan terdiri dari 12.539 citra *X-ray* yang diambil dari repositori publik dan telah melalui proses *preprocessing*, augmentasi, serta pembobotan kelas untuk mengatasi ketidakseimbangan data. Model dikembangkan dengan metode *transfer learning* dan *fine-tuning* pada lapisan akhir *MobileNetV2*. Hasil pengujian pada data uji menunjukkan bahwa model yang diusulkan mampu mencapai nilai akurasi sebesar 99,42%, *precision* 98,87%, *recall* 98,88%, dan *F1-score* 98,86%. Seluruh hasil evaluasi ini melampaui standar minimal $\geq 90\%$ aplikasi klinis. Temuan penelitian ini menegaskan bahwa *MobileNetV2* sangat potensial digunakan sebagai alat bantu diagnosis otomatis berbasis citra *X-ray*, guna meningkatkan efektivitas deteksi dini penyakit paru-paru pada lingkungan klinis.

Kata kunci: *MobileNetV2*, Klasifikasi Citra *X-Ray*, Deteksi Penyakit Paru-Paru, *Deep Learning*, Diagnosis Otomatis

Indralaya, 14 Mei 2025

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si.
NIP. 197002231995121002

Pembimbing II



Dr. Melik Ariani, S.Si., M.Si.
NIP. 197211252000122001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP. 197009101994121001

ANALISIS AKURASI MODEL MOBILENETV2 DALAM KLASIFIKASI CITRA X-RAY UNTUK DETEKSI KONDISI PARU-PARU

BY :

ABDAN SYAKUROH

NIM. 08021282126056

ABSTRACT

This study aims to analyze the accuracy of the MobileNetV2 model in classifying chest X-ray images for detecting four pulmonary conditions: Normal, Pneumonia, Cardiomegaly, and Pneumothorax. The dataset consists of 12,539 X-ray images obtained from public repositories and has undergone preprocessing, augmentation, and class weighting to address data imbalance. The model was developed using transfer learning and fine-tuning on the final layers of MobileNetV2. Testing results indicate that the proposed model achieves an accuracy of 99,42%, precision of 98,87%, recall of 98,88%, and F1-score of 98,86%. All evaluation metrics exceed the minimum standard $\geq 90\%$ for clinical application. These findings confirm that MobileNetV2 has strong potential as an automatic diagnostic tool based on X-ray images, thereby improving the effectiveness of early detection of lung diseases in clinical settings.

Keywords: MobileNetV2, Chest X-Ray Classification, Pulmonary Disease Detection, Deep Learning, Automated Diagnosis

Indralaya, 14 Mei 2025

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si.

NIP. 197002231995121002

Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si.

NIP. 197211252000122001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika

Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.

NIP. 197009101994121001

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
MOTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR RUMUS	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Citra Medis	4
2.1.1 Definisi dan Peran Citra Medis	4
2.1.2 Modalitas dan Mekanisme Citra X-Ray Paru-Paru.....	4
2.1.3 Ciri Visual Empat Kondisi Paru-Paru	5
2.2 <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN).....	6
2.2.1 Posisi CNN dalam Hierarki AI	6
2.2.2 Struktur Dasar dan Prinsip Kerja CNN	6
2.2.3 Aplikasi CNN pada Citra Medis.....	7
2.3 <i>MobileNetV2</i>	8
2.3.1 Pengembangan dan Keunggulan Utama <i>MobileNetV2</i>	8
2.3.2 Arsitektur Jaringan <i>MobileNetV2</i>	8
2.3.3 Studi Kasus <i>MobileNetV2</i>	9

2.3.4 Relevansi <i>MobileNetV2</i> dalam Penelitian	10
2.4 <i>Preprocessing</i> Citra Medis.....	11
2.4.1 Pengumpulan dan Validasi Data	11
2.4.2 <i>Resize</i> dan <i>Rescale</i> Citra	11
2.4.3 <i>Augmentasi</i> Data.....	12
2.4.4 Pemilihan <i>Platform Python & VSCode</i>	13
2.5 <i>Model Training</i>	14
2.5.1 <i>Transfer Learning MobileNetV2</i>	14
2.5.2 Optimasi <i>Hyperparameter</i>	15
2.5.3 Proses Pelatihan Model.....	15
2.6 Metrik Evaluasi Model.....	17
2.6.1 Metrik Utama dan Pendukung.....	17
2.6.2 <i>Confusion Matrix</i>	19
2.6.3 Ketetapan Standar Medis	21
2.6.4 Penilaian Kelayakan Model	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	23
3.3 Pendekatan atau Metode Penelitian	24
3.4 Rancangan atau Desain Penelitian.....	25
3.4.1 Pengumpulan Data.....	26
3.4.2 <i>Preprocessing</i> Data	26
3.4.3 Pelatihan Model	26
3.4.4 Evaluasi Model.....	27
3.4.5 Interpretasi Hasil	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Hasil Pengumpulan Data.....	29
4.1.1 Pengumpulan Dataset	29
4.1.2 Organisir Dataset	31
4.1.3 Validasi dan Seleksi Data.....	33
4.1.4 Pembagian Data (<i>Split Data</i>)	34
4.2 Hasil <i>Preprocessing</i> Data	36

4.2.1 Validasi Struktur Folder.....	36
4.2.2 <i>Resize</i> dan <i>Rescale</i> Data	36
4.2.3 Generator pada <i>Preprocessing</i>	37
4.3 Hasil Pelatihan Model	38
4.3.1 Generator untuk <i>Training</i> dan Validasi	38
4.3.2 Augmentasi Data <i>Training</i>	39
4.3.3 Penanganan Ketidakseimbangan Kelas	40
4.3.4 Konfigurasi Model dan Proses <i>Training</i>	40
4.3.5 Hasil <i>Training</i>	43
4.4 Hasil Evaluasi Model.....	45
4.4.1 Generator untuk Data <i>Testing</i>	45
4.4.2 <i>Confusion Matrix</i> dan Metrik Evaluasi	46
4.4.3 Hasil Perhitungan Metrik	49
4.4.4 Hasil Kecukupan Model.....	52
4.4.5 Hasil Komprehensif Evaluasi Model.....	53
4.5 Pembahasan/Diskusi.....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....	58
LAMPIRAN	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Paru-Paru (a) Normal, (b) <i>Pneumonia</i> , (c) <i>Cardiomegaly</i> , dan (d) <i>Pneumothorax</i> (Maysanjaya, 2020; Zhou dkk., 2021)	5
Gambar 2. 2 Struktur CNN (Gunawan dan Setiawan, 2022)	7
Gambar 2. 3 Arsitektur jaringan <i>MobileNetV2</i> (Akay dkk., 2021)	9
Gambar 2. 4 Langkah-langkah <i>preprocessing</i> untuk konversi gambar dan pengubahan ukuran gambar (Liebenlito dkk., 2020)	12
Gambar 2. 5 Citra asli beserta dengan citra teraugmentasi (rotasi) (Adzkia dkk., 2022)	13
Gambar 2. 6 Jalur transfer <i>learning</i> (Olayiwola dkk., 2023)	14
Gambar 2. 7 Contoh grafik hasil pelatihan model dengan <i>Adam Optimizer</i> (Fransisca dan Matondang, 2022).....	16
Gambar 2. 8 Tabel <i>Confusion Matrix</i> (Hariyani dkk., 2020)	19
Gambar 2. 9 Contoh <i>Confusion Matrix</i> untuk <i>MobileNetV2</i> pada klasifikasi 6 subkelas kondisi paru-paru (Olayiwola dkk., 2023)	20
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 4. 1 Dataset paru-paru yang diunduh dari repositori <i>kaggle</i>	29
Gambar 4. 2 Dataset paru-paru (a) Normal, (b) <i>Pneumonia</i> , (c) <i>Cardiomegaly</i> , dan (d) <i>Pneumothorax</i>	30
Gambar 4. 3 Tampilan struktur folder pada <i>file explorer</i> dan <i>VSCode</i>	33
Gambar 4. 4 Hasil validasi struktur dataset.....	33
Gambar 4. 5 Proses persiapan data dan hasil validasi integritas dataset	34
Gambar 4. 6 Proses pemindahan dan pembagian data.....	35
Gambar 4. 7 Hasil validasi struktur folder	36
Gambar 4. 8 Visualisasi sebelum dan setelah <i>resize</i> dan <i>rescale</i>	36
Gambar 4. 9 Hasil pemuatan data dan generator <i>preprocessing</i>	37
Gambar 4. 10 Rekapitulasi hasil <i>preprocessing</i>	38
Gambar 4. 11 Hasil pembuatan generator dengan augmentasi	38
Gambar 4. 12 Visualisasi augmentasi data <i>training</i>	39
Gambar 4. 13 Hasil perhitungan penanganan ketidakseimbangan kelas	40
Gambar 4. 14 Proses konfigurasi model <i>training</i>	41

Gambar 4. 15 Proses pelatihan model.....	42
Gambar 4. 16 Visualisasi grafik <i>accuracy</i> dan <i>loss</i>	44
Gambar 4. 17 Hasil kinerja model.....	45
Gambar 4. 18 Hasil pembuatan generator untuk data <i>testing</i>	46
Gambar 4. 19 <i>Confusion matrix</i>	47
Gambar 4. 20 Hasil <i>classification report</i>	49
Gambar 4. 21 Hasil perhitungan metrik	50
Gambar 4. 22 Analisis metrik evaluasi kelas	51
Gambar 4. 23 Hasil analisis kecukupan model	53
Gambar 4. 24 Kesimpulan analisis keseluruhan performa model <i>MobileNetV2</i> ...	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian.....	23
Tabel 4. 1 Hasil Distribusi Dataset	35
Tabel 4. 2 Hasil Pelatihan Model	43
Tabel 4. 3 Hasil Statistik Kontigensi	47
Tabel 4. 4 Hasil Evaluasi Model	52

DAFTAR RUMUS

Rumus (2.1) Akurasi.....	18
Rumus (2.2) <i>Precision</i>	18
Rumus (2.3) <i>Recall</i>	188
Rumus (2.4) <i>F1-Score</i>	199

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Citra medis mempunyai peran penting dalam mengklasifikasikan dan mengidentifikasi berbagai kondisi. Para ahli radiologi secara umum menggunakan teknik foto *rontgen* (*X-ray*) untuk memeriksa kondisi internal tubuh pasien. Meskipun foto *rontgen* mampu menampilkan kondisi peradangan pada paru-paru, kualitas citra yang dihasilkan sering kali kurang optimal. Gambar yang dihasilkan tidak jarang tampak kurang jelas dan menunjukkan ciri visual yang serupa antara beragam kondisi paru-paru. Untuk mendukung kerja radiologi dalam mendiagnosis peradangan paru-paru, telah dikembangkan sistem diagnosis berbantuan computer atau *Computer Aided Diagnostic* (CAD). Inovasi ini memicu para peneliti untuk merancang algoritma pembelajaran, khususnya dengan penerapan *deep learning* (Maysanjaya, 2020).

Permasalahan ini semakin penting mengingat penyakit paru-paru merupakan gangguan serius yang dapat berakibat fatal jika tidak segera ditangani, sehingga deteksi dini melalui citra medis seperti *X-ray* sangat diperlukan. Meskipun diagnosis manual oleh dokter ahli khususnya dokter radiologi memang menjadi standar, proses ini memerlukan waktu lama dan berpotensi menyebabkan kelelahan. Kelelahan medis terjadi ketika tenaga medis mengalami penurunan performa akibat beban kerja yang tinggi dan proses diagnosis manual yang berkepanjangan, terutama jika jumlah citra banyak, sehingga pada akhirnya mempengaruhi akurasi dan efisiensi dalam mendiagnosis kondisi paru-paru melalui citra *X-ray*. Sebaliknya, meskipun pelatihan awal pada sistem otomatis berbasis *deep learning* memerlukan waktu lama juga, setelah model terlatih, diagnosis setiap citra berlangsung jauh lebih cepat dan konsisten. Hal ini menekankan diagnosis otomatis jauh lebih efisien untuk jumlah citra sedang hingga besar, sedangkan diagnosis manual hanya bersaing dari segi waktu jika jumlah citra sangat sedikit (Taylor Phillips dkk., 2019).

Untuk menjawab kebutuhan tersebut, penelitian terdahulu telah mengembangkan metode deteksi gangguan paru-paru berbasis citra medis.

Rontgen dada (X-ray) merupakan modalitas utama yang dipilih untuk klasifikasi kondisi paru-paru. Arsitektur *Convolutional Neural Network (CNN)* terbukti telah banyak dimanfaatkan dalam pengklasifikasian citra *X-ray* dan berhasil mencatatkan akurasi yang baik. Meskipun demikian, tetap ada tantangan untuk memperoleh tingkat akurasi yang lebih lanjut agar hasil klasifikasi semakin optimal. Oleh karena itu, pengembangan model yang lebih efisien dan akurat, seperti *MobileNetV2*, menjadi relevan terutama untuk aplikasi pada perangkat dengan kapasitas komputasi terbatas. *MobileNetV2* dikenal ringan dalam hal kebutuhan komputasi, sehingga sangat sesuai untuk dijalankan di perangkat dengan sumber daya terbatas (Diar dkk., 2022).

Dengan demikian, diperlukan perancangan sistem klasifikasi yang efisien secara komputasi serta mampu meningkatkan tingkat akurasi dalam deteksi berbagai kondisi paru-paru. Melalui penelitian ini, diharapkan mampu memberikan kontribusi bagi kemajuan teknologi diagnostik berbasis kecerdasan buatan (AI) dan berpotensi menjadi referensi bagi pengembangan sistem diagnosis otomatis di lingkungan klinis, khususnya dalam upaya deteksi dini gangguan paru-paru melalui analisis citra *X-ray*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana akurasi model *MobileNetV2* dalam mengklasifikasikan citra *X-ray* untuk deteksi kondisi paru-paru menggunakan dataset berlabel *ground truth* terverifikasi?
2. Seberapa memadai performa model *MobileNetV2* dalam klasifikasi citra *X-ray* paru-paru dilihat dari pencapaian standar medis minimal $\geq 90\%$ pada metrik utama (akurasi) dan pendukung untuk aplikasi klinis?
3. Bagaimana ketercapaian metrik pendukung (*precision*, *recall*, dan *F1-score*) dalam menjamin keseimbangan dan keakuratan diagnosis model *MobileNetV2* pada setiap kelas kondisi paru-paru?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengukur akurasi model *MobileNetV2* dalam mengklasifikasikan citra *X-ray* untuk deteksi kondisi paru-paru menggunakan dataset berlabel *ground truth* terverifikasi.

2. Mengevaluasi kelayakan performa model *MobileNetV2* dengan mengacu pada pencapaian standar medis minimal $\geq 90\%$ pada metrik utama (akurasi) dan metrik pendukung untuk aplikasi klinis.
3. Menganalisis ketercapaian metrik pendukung (*precision*, *recall*, dan *F1-score*) dalam menjamin keseimbangan dan keakuratan diagnosis model *MobileNetV2* pada setiap kelas kondisi paru-paru.

1.4 Batasan Penelitian

1. Penelitian ini hanya menggunakan model *MobileNetV2* sebagai model klasifikasi tanpa membandingkan dengan model lain, sehingga hasil hanya mencerminkan performa *MobileNetV2* saja.
2. Keterbatasan penggunaan dataset tunggal dengan label *ground truth* terverifikasi, sehingga membatasi generalisasi hasil penelitian ke dataset lain dan tidak memungkinkan perbandingan langsung dengan diagnosis dokter.
3. Penelitian ini berfokus pada akurasi sebagai metrik utama dengan *precision*, *recall*, dan *F1-score* sebagai metrik pendukung, yang dianalisis kuantitatif untuk evaluasi performa dan klinis tanpa interpretasi langsung dari dokter.
4. Pengujian model dilakukan dengan perangkat keras terbatas (laptop pribadi tanpa GPU) sehingga mempengaruhi kecepatan pelatihan dan evaluasi model.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini dapat menambah pengetahuan di bidang teknologi *deep learning*, khususnya dalam penggunaan model *MobileNetV2* untuk klasifikasi citra medis.
2. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian lanjutan yang ingin mengembangkan model serupa untuk aplikasi klinis.
3. Penelitian ini dapat menjamin validitas klasifikasi model *MobileNetV2* dengan dataset berlabel *ground truth* terverifikasi sebagai dasar pengembangan sistem diagnosis otomatis berbasis *deep learning*.
4. Penelitian ini berpotensi mendukung deteksi dini kondisi paru-paru melalui sistem diagnosis otomatis tersebut, yang dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi diagnosis di berbagai lingkungan medis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrazzaq, M. M., Yaseen, I. F. T., Noah, S., dan Fadhil, M. A., 2018. Multi-Level of Feature Extraction and Classification for X-Ray Medical Image. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 10(1) : 154.
- Ács, B. dan Hartman, J., 2019. Next Generation Pathology: Artificial Intelligence Enhances Histopathology Practice. *The Journal of Pathology*, 250(1) : 7-8.
- Adzkia, M., Arland, F., dan Setiawan, A., 2022. Deteksi Pneumonia Menggunakan Citra Sinar-X Paru Berbasis Residual Network. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 9(2) : 373-380.
- Ahmed, S., Hasan, M. B., Ahmed, T., Sony, R. K., dan Kabir, M. H., 2021. Less is More: Lighter and Faster Deep Neural Architecture for Tomato Leaf Disease Classification. *IEEE Access*.
- Akay, M., Du, Y., Sershen, C. L., Wu, M., Chen, T. Y., Assassi, S., dan Akay, Y. M., 2021. Deep Learning Classification of Systemic Sclerosis Skin Using the MobileNetV2 Model. *IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology*, 2 : 104-110.
- Alablani, I. A. dan Arafah, M. A., 2021. Enhancing 5G Small Cell Selection: A Neural Network and Iov-Based Approach. *Sensors*, 21(19) : 6361.
- Ariyanto, A. D. P., Hasanah, S., Subkhi, M. B., dan Suciati, N., 2023. Analisis Penggunaan pra-proses pada Metode Transfer Learning untuk Mendeteksi Penyakit Daun Singkong. *Techno.Com*, 22(2) : 336-347.
- Baker, N., Lu, H., Erlikhman, G., dan Kellman, P. J., 2018. Deep Convolutional Networks do not Classify Based on Global Object Shape. *PLOS Computational Biology*, 14(12) : 2-5.
- Baughan, N., Whitney, H. M., Drukker, K., Sahiner, B., Hu, T., Kim, G. H., McNitt-Gray, M., Myers, K. J., dan Giger, M. L., 2023. Sequestration of

- Imaging Studies in MIDRC: Stratified Sampling to Balance Demographic Characteristics of Patients in a Multi-Institutional Data Commons. *Journal of Medical Imaging*, 10(6) : 064501.
- Chandra, T. B., Verma, K., Singh, B. K., Jain, D., dan Netam, S. S., 2021. Covid19 Detection in Chest X-Ray Images Using Majority Voting Based Classifier Ensemble. *Expert Systems with Applications*, 165 : 113909.
- Chen, X. dan Hong, L., 2023. An Optimized Class Incremental Learning Network with Dynamic Backbone Based on Sonar Images. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(9) : 1781.
- Danelljan, M., Hager, G., Khan, F. S., dan Felsberg, M., 2015. Convolutional Features for Correlation Filter Based Visual Tracking. *2015 IEEE International Conference on Computer Vision Workshop* : 621-629.
- Dharma, P. A. S., Widyatmika, K. A., Suparta, I. N., Yasa, I. M. S., dan Sapteka, A. A. N. G., 2022. Pendeteksi Penggunaan Masker Wajah dengan Esp32cam menggunakan OpenCV dan Tensorflow. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro* : 21(2), 155.
- Diar, R. M., Fu'Adah, R. Y. N., dan Usman, K., 2022. Klasifikasi Kondisi Paru Paru Berbasis Pengolahan Citra X-Ray Menggunakan Convolutional Neural Network. *e-Proceeding of Engineering*, 9(2) : 476-482.
- Dligach, D., Afshar, M., dan Miller, T. A., 2019. Toward a Clinical Text Encoder: Pretraining for Clinical Natural Language Processing with Applications to Substance Misuse. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 26(11) : 1272-1278.
- Dong-fang, Y. dan Wang, J., 2020. A Survey on Machine Learning in Chemical Spectral Analysis. *Journal of Information Hiding and Privacy Protection*, 2(4) : 165-174.
- Fransisca, P. S., dan Matondang, N., 2022. Deteksi Citra Digital Penyakit Cacar Monyet menggunakan Algoritma CNN dengan Arsitektur MobileNetV2. *Jurnal Ilmu Komputer Agri-informatika*, 2(10) : 200-211.

- Gulzar, Y., 2023. Fruit Image Classification Model Based on MobileNetV2 with Deep Transfer Learning Technique. *Sustainability*, 15(3) : 1906.
- Gunawan, D., dan Setiawan, H., 2022. CNN dalam Analisis Citra Medis. *KONSTELASI: Konvergensi Teknologi dan Sistem Informasi*, 2 (2) : 377.
- Guo, Y., Shi, H., Kumar, A., Grauman, K., Rosing, T., dan Feris, R., 2019. Spottune: Transfer Learning Through Adaptive Fine-Tuning. 2019 *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 4800-4809.
- Hanifa, H., Sholihin, A., dan Ayudya, F., 2023. Peran AI terhadap Kinerja Industri Kreatif di Indonesia. *Journal of Comprehensive Science (JCS)*, 2(7) : 2149-2158.
- Hariyani, Y. S., Hadiyoso, S., dan Siadari, T. S., 2020. Deteksi Kondisi Covid-19 Berdasarkan Citra X-Ray Menggunakan Deep Residual Network. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(2) : 443.
- Huang, X., Chen, M., Liu, P., dan Du, Y., 2020. Texture Feature-Based Classification on Transrectal Ultrasound Image for Prostatic Cancer Detection. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2020 : 1-9.
- Huang, Z., Zheng, H., Huang, J., Yang, Y., Wu, Y., Ge, L., dan Wang, L., 2022. The Construction and Evaluation of a Multi-Task Convolutional Neural Network for a Cone-Beam Computed-Tomography-Based Assessment of Implant Stability. *Diagnostics*, 12(11) : 2673.
- Ilemobayo, J. A., Durodola, O., Alade, O., Awotunde, O. J., Olanrewaju, A. T., Falana, O., dan Edu, O. E., 2024. Hyperparameter Tuning in Machine Learning: a Comprehensive Review. *Journal of Engineering Research and Reports*, 26(6) : 388-395.

- Ilmadina, H. Z., Naufal, M., dan Wibowo, D. S., 2023. Drowsiness Detection Based on Yawning using Modified Pre-Trained Model MobileNetV2 and Resnet50. *MATRIK : Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*, 22(3) : 419-430.
- Irawan, C., Udayanti, E. D., dan Nugroho, F. H., 2013. Visualisasi dan Rekonstruksi 3D CitraMedis: Review. *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan 2013 (Semantik 2013)*.
- Islam, K. T., Wijewickrema, S. dan O'Leary, S., 2011. A Deep Learning Based Framework for the Registration of Three Dimensional Multi-Modal Medical Images of the Head. *Scientific Reports*, 11(1860).
- Jaradat, A., Mamlook, R. E. A., Almakayeel, N., Alharbe, N., Almuflih, A. S., Nasayreh, A., dan Bzizi, H. F., 2023. Automated Monkeypox Skin Lesion Detection Using Deep Learning and Transfer Learning Techniques. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5) : 4422.
- Jawaz, I., dan Rahmadewi R., 2024. Sistem Deteksi Pneumonia Paru-Paru dengan Pengolahan Citra Digital dan Machine Learning. *ELECTRON Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 5(1) : 1-9.
- Jia, S., Ying, W., Wang, W., Zhang, Q., dan Zhang, X., 2021. Value of Medical Imaging Artificial Intelligence in the Diagnosis and Treatment of New Coronavirus Pneumonia. *Expert Systems*, 39(3) : 1-15.
- Kamnitsas, K., Ledig, C., Newcombe, V. F. J., Simpson, J. P., Kane, A. D., Menon, D. K., Rueckert, D., dan Glocker, B., 2017. Efficient Multi-Scale 3D CNN with Fully Connected CRF for Accurate Brain Lesion Segmentation. *Medical Image Analysis*, 36 : 61–78.
- Kashif, M. dan Al-Kuwari, S., 2021. Design Space Exploration of Hybrid Quantum–Classical Neural Networks. *Electronics*, 10(23) : 2980.

- Kraft, A. dan Petty, H. R., 2020. Spatial Locations of Certain Enzymes and Transporters Within Preinvasive Ductal Epithelial Cells Predict Human Breast Cancer Recurrences. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 319(5) : C910-C921.
- Liebenlito, M., Irene, Y., dan Hamid, A., 2020. Classification of Tuberculosis and Pneumonia in Human Lung Based on Chest X-Ray Image Using Convolutional Neural Network. *InPrime: Indonesian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2(1) : 24-32.
- Lopera, A. F. L., Cardona, H. D. V., Daza-Santacoloma, G., Álvarez, M. A., dan Orozco, Á. A., 2014. Comparison of Preprocessing Methods for Diffusion Tensor Estimation in Brain Imaging. *2014 XIX Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision*, 1-5.
- Mamidi, I. S., Dunham, M. E., Adkins, L., McWhorter, A. J., Fang, Z., dan Banh, B. T., 2024. Laryngeal Cancer Screening During Flexible Video Laryngoscopy Using Large Computer Vision Models. *Annals of Otolaryngology & Rhinology*, 133(8) : 720-728.
- Maysanjaya, I. M. D., 2020. Klasifikasi Pneumonia Pada Citra X-Rays Paru-Paru dengan Convolutional Neural Network. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 9(2) : 190-195.
- Mendoza, J. dan Pedrini, H., 2019. Detection and Classification of Lung Nodules in Chest X- Ray Images Using Deep Convolutional Neural Networks. *Computational Intelligence*, 36(2) : 370-401.
- Mosleh, M. A. A., Assiri, A., Gumaei, A. H., Alkhamees, B. F., dan Al-Qahtani, M., 2024. A Bidirectional Arabic Sign Language Framework Using Deep Learning and Fuzzy Matching Score. *Mathematics*, 12(8) : 1155.
- Muhartini, S., Sunyoto, A., dan Muhammad, A. H., 2024. Implementasi Metode Deep Learning CNN dalam Klasifikasi Tajong (Sarung) Samarinda. *Jurnal SENOPATI*, 6(1) : 28-41.

- Musha, A., Mamun, A. A., Tahabilder, A., Hossen, J., Jahan, B., dan Ranjbari, S., 2022. A Deep Learning Approach for Covid-19 and Pneumonia Detection from Chest X-Ray Images. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 12(4) : 3655.
- Nasien, D., Sirvan, S., Deny, D., Syahputra, R. S. R., Marunduri, A. A., dan See, R. P. 2024. Klasifikasi Penyakit Jantung menggunakan Decision Tree dan KNN menggunakan Ekstraksi Fitur PCA. *JEKIN - Jurnal Teknik Informatika*, 4(1) : 18-24.
- Nugroho, B., Puspaningrum, E. Y., dan Munir, M., 2021. Kinerja Algoritma Optimasi Root-Mean-Square Propagation dan Stochastic Gradient Descent pada Klasifikasi Pneumonia Covid-19 menggunakan CNN. *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, 7(3) : 420.
- Olayiwola, J. O., Badejo, J. A., Okokpujie, K., dan Awomoyi, M. E., 2023. Lung-Related Diseases Classification Using Deep CNN. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 10(4) : 1097-1104.
- Pham, H. H., Nguyen, H. Q., Lam, K., Le, L., Nguyen, D. B., Nguyen, H., dan Vu, V., 2021. An Accurate and Explainable Deep Learning System Improves Interobserver Agreement in The Interpretation of Chest Radiograph. *IEEE Access*, 10 : 104512–104529.
- Polsinelli, M., Cinque, L., dan Placidi, G., 2020. A Light CNN for Detecting Covid-19 from CT Scans of the Chest. *Pattern Recognition Letters*, 140 : 95-100.
- Putra, P. L. W. E., Naufal, M., dan Hidayat, E. Y., 2023. A Comparative Study of MobileNet Architecture Optimizer for Crowd Prediction. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 8(3) : 241-247.
- Putri, N. H., Jasril, J., Irsyad, M., Agustian, S., dan Yanto, F., 2023. Klasifikasi Citra Stroke Menggunakan Augmentasi dan CNN Efficientnet-B0. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 7(2) : 650.

- Radaković, A., Čukanović, D., Bogdanović, G., Blagojević, M., Stojanović, B., Dragović, D., dan Manić, N., 2020. Thermal Buckling and Free Vibration Analysis of Functionally Graded Plate Resting on an Elastic Foundation According to High Order Shear Deformation Theory Based on New Shape Function. *Applied Sciences*, 10(12) : 4190.
- Rahmawati, D., Diartama, A. A., dan Widodo, R., 2024. Teknik Pemeriksaan CT Scan Abdomen pada Kasus Tumor Intra Abdomen di Instalasi Radiologi Rumah Sakit X. *Jurnal Ilmu Kesehatan dan Gizi (JIG)*, 2(1) : 22-40.
- Ramadhani, F., Septiana, D., Amalia, S. N., Fadilah, P. M., dan Satria, A., 2024. Klasifikasi Risiko Gizi Buruk pada Ibu Hamil menggunakan metode Random Forest. *Djtechno: Jurnal Teknologi Informasi*, 5(2) : 370-380.
- Rici, P., Santos, S. O. S., dan Ottoni, A. L. C., 2022. Tuning of Data Augmentation Hyperparameters to Covid-19 Detection in X-Ray Images with Deep Learning. *Learning and Nonlinear Models*, 20(2) : 5-20.
- Rochman, E. M. S., Rachmad, A., Fatah, D. A., Setiawan, W., dan Kustiyahningsih, Y., 2022. Classification of Salt Quality Based on Salt-Forming Composition Using Random Forest. *Journal of Physics: Conference Series*, 2406(1) : 012021.
- Rousan, L. A., Elobeid, E., Karrar, M., dan Khader, Y., 2020. Chest X-Ray Findings and Temporal Lung Changes in Patients with COVID-19 Pneumonia. *BMC Pulmonary Medicine*, 20 : 245.
- Sabir, M. W., Farhan, M., Almalki, N. S., Alnfai, M. M., dan Sampedro, G. A., 2023. Fibrovit-Vision Transformer-Based Framework for Detection and Classification of Pulmonary Fibrosis From Chest CT Images. *Frontiers in Medicine*, 10.
- Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., dan Chen, L., 2018. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 4510-4520.

- Sari, N. P., 2024. Analisis Performa Algoritma CNN dalam Klasifikasi Citra Medis Berbasis Deep Learning. *Jurnal Komputer*, 2(2) : 87–92.
- Shamrat, FMJM., Azam, S., Karim, A., Ahmed, K., Bui, FM., dan De Boer, F., 2023. High Precision Multiclass Classification of Lung Disease Through Customized MobileNetV2 from Chest X-Ray Images. *Computers in Biology and Medicine*, 155 : 106646.
- Smith, L. N. dan Topin, N., 2019. Super-Convergence: Very Fast Training of Neural Networks Using Large Learning Rates. *Artificial Intelligence and Machine Learning for Multi-Domain Operations Applications*, 36.
- Su, C. dan Wang, W., 2020. Concrete Cracks Detection Using Convolutional Neural network Based on Transfer Learning. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020 : 1-10.
- Talaat, M., Si, X., dan Xi, J., 2023. Datasets of Simulated Exhaled Aerosol Images from Normal and Diseased Lungs with Multi-Level Similarities for Neural Network Training/Testing and Continuous Learning. *Data*, 8(8) : 126.
- Tang, M., Seng, C., Hidayatullah, N. A., dan Rashidi, B., 2024. Enhanced Brain Tumor Classification using Modified Resnet50 Architecture. *Borneo Journal of Sciences and Technology*. 1(6) : 11-18.
- Taylor-Phillips, S., dan Stinton, C., 2019. Fatigue in Radiology: a Fertile Area for Future Research. *British Journal of Radiology*, 1099 (92) : 20190043.
- Thomas, B., Lu, M., Jha, R., dan Bertrand, J., 2022. Machine Learning for Detection and Risk Assessment of Lifting Action. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 52(6) : 1196-1204.
- Togatorop, P. R., Pratama, Y., Sianturi, A. M., Pasaribu, M. S., dan Sinaga, P. S., 2023. Image Preprocessing and Hyperparameter Optimization on Pretrained Model MobileNetV2 in White Blood Cell Image Classification. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 12(3) : 1210.

- Vienne, D. M. d., Supek, F., dan Gabaldón, T., 2017. Overtraining Often Results in Topologically Incorrect Species Trees with Maximum Likelihood Methods. *bioRxiv*.
- Vollmer, A., Saravi, B., Vollmer, M., Lang, G., Straub, A., Brands, R. C., dan Hartmann, S., 2022. Artificial Intelligence-Based Prediction of Oroantral Communication after Tooth Extraction Utilizing Preoperative Panoramic Radiography. *Diagnostics*, 12(6) : 1406.
- Wahyuningrum, R. T., Putra, W. Z., Satoto, B. D., Sari, A. K., dan Sensusiati, A. D., 2024. Klasifikasi Covid-19 menggunakan Arsitektur DarkCovidNet pada Citra Radiografi X-Ray Dada. *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, 10(1) : 40.
- Wanto, A., Yunus, Y., dan Okfalisa, O., 2024. RetMobileNet: A New Deep Learning Approach for Multi-Class Eye Disease Identification. *Revue d'Intelligence Artificielle* : 38(4).
- Widiarto, S. A., Saputra, W. A., dan Dewi, A. R., 2021. Klasifikasi Citra X-Ray Toraks dengan menggunakan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization dan CNN (Studi Kasus: Pneumonia). *JIPi (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, 6(2) : 348-359.
- Yu, X., Zhao, H., Zhang, M., Wei, Y., Zhou, L., dan Ou, L., 2024. DynamicAug: Enhancing Transfer Learning Through Dynamic Data Augmentation Strategies Based on Model State. *Neural Processing Letters*, 56 : 176.
- Zhou L, Yin X, Zhang T, Feng Y, Zhao Y, Jin M, Peng M, Xing C, Li F, Wang Z, Wei G, Jia X, Liu Y, Wu X, dan Lu L., 2021. Detection and Semiquantitative Analysis of Cardiomegaly, Pneumothorax, and Pleural Effusion on Chest Radiographs. *Radiology: Artificial Intelligence*. 3(4) : e200172.