

## PENGEMBANGAN MODEL HYBRID KECERDASAN ARTIFISIAL UNTUK DETEKSI DINI PNEUMONIA PADA ANAK BERBASIS DATA KLINIS DAN CITRA RADIOLOGI

Numan<sup>1</sup>, Qori Armiza Septia<sup>2</sup>, Nopianto<sup>3</sup>, Junadhi<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>STIKES Tengku Maharatu, Pekanbaru

<sup>4</sup>Universitas Sains dan Teknologi Indonesia, Pekanbaru

e-mail: <sup>1</sup>numanjamil06@gmail.com, <sup>2</sup>qoriarmizamkm@gmail.com,

<sup>3</sup>nopianto.skm@gmail.com, <sup>4</sup>junadhi@usti.ac.id

**Abstract:** *Pneumonia is one of the leading causes of death in children, so early detection is very important to increase the chances of recovery. This study aims to develop a hybrid model based on artificial intelligence to detect pneumonia in children by combining X-ray images and clinical data. The system is built in two main stages: image feature extraction using Convolutional Neural Network (CNN) based on MobileNetV2 architecture, and combined classification of visual and clinical features using Support Vector Machine (SVM). The CNN model successfully classified children's lung conditions with an accuracy of 89.92% and a recall of 0.95 in the pneumonia class, indicating excellent detection sensitivity. The SVM model built using clinical data also showed competitive performance with an accuracy of 90%, confirming the important contribution of clinical data in supporting diagnosis. The hybrid model combining visual feature vectors (128 dimensions) and 12 clinical features showed very high performance with an accuracy of 98% on the test data, and precision and recall above 0.98 in both classes. Principal Component Analysis (PCA) visualization shows a clearly separated class distribution, supporting the reliability of the multimodal representation used. The results of this study indicate that the integration of visual and clinical data significantly improves the accuracy and sensitivity of the model, making it a potential candidate as an AI-based pneumonia diagnostic tool. This model is very relevant to be applied in areas with limited medical personnel, to support faster and more accurate early detection. Further research is recommended to test the model's performance on more heterogeneous external data to ensure generalization capabilities.*

**Keyword:** *Pneumonia; Convolutional Neural Network; MobileNetV; Clinical Data; Hybrid Models*

**Abstrak:** *Pneumonia merupakan salah satu penyebab utama kematian pada anak, sehingga deteksi dini menjadi sangat penting untuk meningkatkan peluang kesembuhan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model hybrid berbasis kecerdasan buatan untuk mendeteksi pneumonia pada anak dengan menggabungkan citra X-ray dan data klinis. Sistem dibangun dalam dua tahap utama: ekstraksi fitur citra menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) berbasis arsitektur MobileNetV2, serta klasifikasi gabungan fitur visual dan klinis menggunakan Support Vector Machine (SVM). Model CNN berhasil mengklasifikasikan kondisi paru-paru anak dengan akurasi 89,92% dan recall 0,95 pada kelas pneumonia, menunjukkan sensitivitas deteksi yang sangat baik. Model SVM yang dibangun menggunakan data klinis juga menunjukkan performa kompetitif dengan akurasi 90%, menegaskan kontribusi penting data klinis dalam mendukung diagnosis. Model hybrid yang menggabungkan vektor fitur visual (128 dimensi) dan 12 fitur klinis menunjukkan performa sangat tinggi dengan akurasi 98% pada data uji, serta precision dan recall di atas 0,98 pada kedua kelas. Visualisasi Principal Component Analysis (PCA) memperlihatkan distribusi kelas yang terpisah dengan jelas, mendukung keandalan representasi multimodal yang digunakan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi data visual dan klinis secara signifikan*

meningkatkan akurasi dan sensitivitas model, menjadikannya kandidat potensial sebagai alat bantu diagnosis pneumonia berbasis kecerdasan artifisial. Model ini sangat relevan untuk diterapkan di wilayah dengan keterbatasan tenaga medis, guna mendukung deteksi dini yang lebih cepat dan akurat. Penelitian lanjutan disarankan untuk menguji performa model pada data eksternal yang lebih heterogen guna memastikan kemampuan generalisasi.

**Kata kunci:** *Pneumonia; Convolutional Neural Network; MobileNetV2; Data Klinis; Model Hybrid*

## PENDAHULUAN

Pneumonia merupakan salah satu penyakit infeksi saluran pernapasan akut yang paling mematikan pada anak-anak, khususnya mereka yang berusia di bawah lima tahun (balita). Organisasi Kesehatan Dunia World Health Organization (WHO) mencatat bahwa pneumonia menjadi penyebab utama kematian anak secara global, dengan estimasi sekitar 700.000 kasus kematian balita pada tahun 2019 saja, dan sebagian besar terjadi di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia (Numan et al., 2020; World Health Organization, 2022). Di tingkat nasional, data Kementerian Kesehatan Republik Indonesia menunjukkan bahwa angka kejadian pneumonia balita masih cukup tinggi dan menjadi beban signifikan dalam sistem pelayanan kesehatan, khususnya di daerah dengan keterbatasan sumber daya medis (Muhawarman, 2024). Salah satu faktor utama tingginya angka kematian akibat pneumonia adalah keterlambatan dalam proses diagnosis dan intervensi medis. Di banyak wilayah, khususnya daerah terpencil dan perbatasan, kekurangan tenaga medis spesialis seperti dokter anak atau radiolog menyebabkan diagnosis sering kali bergantung pada tenaga kesehatan umum yang tidak memiliki pelatihan mendalam dalam interpretasi data klinis maupun citra radiologis (Milwati et al., 2024). Pendekatan konvensional dalam mendiagnosis pneumonia melalui pemeriksaan fisik dan interpretasi manual terhadap citra rontgen dada (X-ray) menjadi tidak cukup efektif, dan rentan terhadap kesalahan (*human error*),

sehingga diperlukan solusi teknologi yang dapat mendukung proses klinis secara cepat, akurat, dan terstandarisasi (Kanwal et al., 2024; Wang et al., 2021).

Beberapa tahun terakhir, pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin, khususnya teknik deep learning, telah menunjukkan potensi besar dalam transformasi sistem diagnosis medis. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa model deep learning seperti Convolutional Neural Network (CNN) memiliki kemampuan tinggi dalam mengklasifikasi citra medis, termasuk deteksi pneumonia dari X-ray dada dengan akurasi mendekati atau bahkan melampaui radiolog manusia (Ainleni Srikeerthi et al., 2025; Alapat et al., 2022; Siddiqi & Javaid, 2024). Di sisi lain, metode machine learning tradisional seperti Support Vector Machine (SVM) masih banyak digunakan dalam pengolahan dan klasifikasi data numerik dari parameter klinis, karena kestabilan dan kemampuannya menangani data berdimensi tinggi secara efisien (Ghaddar & Naoum-Sawaya, 2018; Guido et al., 2024).

Sebagian besar penelitian sebelumnya masih terfokus pada pemanfaatan salah satu jenis data saja, baik itu data klinis maupun citra radiologis secara terpisah. Penelitian oleh (Mabrouk et al., 2022) mengembangkan model CNN untuk klasifikasi pneumonia berdasarkan X-ray, tetapi tidak mengintegrasikan data klinis seperti suhu tubuh, frekuensi napas, atau riwayat imunisasi yang relevan dengan diagnosis. Di sisi lain, penelitian oleh (Firdausanti et al., 2022) menggunakan data klinis

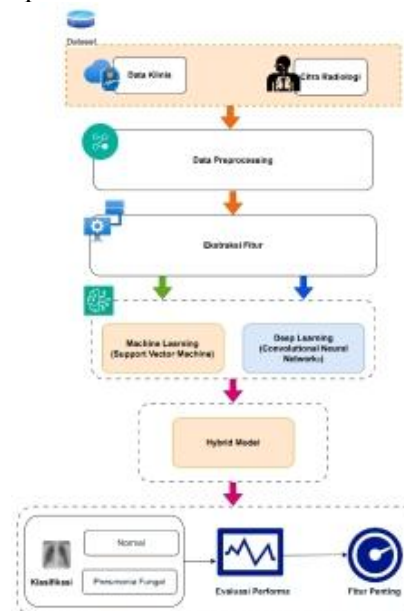
dengan pendekatan SVM, namun tidak melibatkan data visual dari citra medis. Hal ini menciptakan celah penelitian, di mana sistem diagnosis terkompulasi berbasis kecerdasan artifisial yang mengintegrasikan kedua jenis data tersebut masih relatif terbatas dan belum optimal digunakan dalam sistem deteksi dini pneumonia secara komprehensif (Ruan et al., 2024; Sheng et al., 2024). Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan hybrid yang menggabungkan keunggulan CNN dalam mengolah citra radiologi dan kemampuan SVM dalam mengklasifikasi data klinis, guna menghasilkan sistem deteksi dini pneumonia yang lebih akurat, efisien, dan aplikatif, terutama di fasilitas pelayanan kesehatan primer (Shofiqul Islam et al., 2025). Sistem ini diharapkan mampu mengklasifikasikan kondisi paru-paru anak ke dalam tiga kategori utama, yaitu normal, pneumonia akibat infeksi bakteri, dan pneumonia akibat infeksi jamur (fungus pneumonia), dengan performa klasifikasi yang andal untuk mendukung pengambilan keputusan klinis secara cepat.

Selain aspek teknis dan klinis, penelitian ini juga memiliki relevansi yang kuat dengan agenda pembangunan nasional dan global. Secara makro, pengembangan sistem deteksi dini berbasis kecerdasan artifisial ini mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*), khususnya SDG 3 tentang *Good Health and Well-being*, yang menekankan pentingnya akses terhadap layanan kesehatan berkualitas bagi seluruh lapisan masyarakat (United Nations, 2025). Di tingkat nasional, riset ini juga sejalan dengan Asta Cita Presiden Republik Indonesia, terutama poin ke-5 tentang peningkatan kualitas hidup masyarakat melalui layanan kesehatan yang merata dan terjangkau, serta poin ke-6 mengenai peningkatan daya saing bangsa melalui inovasi teknologi (Erilia, 2024). Dengan demikian, pengembangan model hybrid berbasis kecerdasan buatan dalam deteksi dini pneumonia pada anak

tidak hanya menjawab tantangan teknis dan klinis dalam bidang kesehatan, tetapi juga merupakan kontribusi strategis dalam mendukung transformasi digital pelayanan kesehatan dan peningkatan kualitas hidup masyarakat secara berkelanjutan.

## METODE

Sebagai dasar pemahaman terhadap tahapan penelitian, Gambar 1 memperlihatkan alur metodologi secara menyeluruh yang digunakan dalam pengembangan model hybrid deteksi pneumonia pada anak. Diagram ini merangkum proses mulai dari pengumpulan data klinis dan citra radiologi, tahap preprocessing, ekstraksi fitur, hingga integrasi dalam model hybrid dan evaluasi performa akhir. Pendekatan ini dirancang untuk menggabungkan keunggulan analisis fisiologis dan radiologis, sehingga menghasilkan sistem klasifikasi yang lebih akurat dan komprehensif.



**Gambar 1 Pengembangan Model Hybrid**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan temuan

penelitian serta analisis mendalam untuk menjawab tujuan dan rumusan masalah secara ilmiah.

### Akuisisi dan Preprocessing Data

#### Akuisisi Data

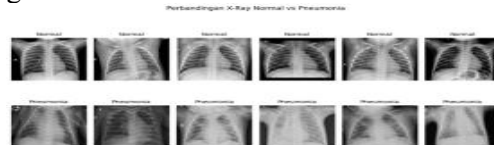
Penelitian ini memanfaatkan dua jenis data utama, yaitu citra X-ray dada dan data klinis pasien. Tahap ini berfokus pada proses akuisisi, penyiapan, serta penyelarasan kedua sumber data agar dapat diintegrasikan secara optimal dalam pengembangan model hibrida berbasis kecerdasan buatan. Pendekatan integratif tersebut diharapkan mampu meningkatkan tingkat akurasi serta reliabilitas sistem dalam mendeteksi pneumonia pada anak secara dini.

#### Data Citra X-ray

Dataset citra X-ray yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sumber terbuka, yaitu platform Kaggle, yang secara khusus berfokus pada kasus pneumonia bakteri pada anak. Pemilihan dataset tersebut didasarkan pada tingkat validitas dan kualitasnya yang telah diakui secara luas, serta penggunaannya yang konsisten dalam berbagai penelitian terdahulu, sehingga dapat menjamin reliabilitas hasil analisis. Dataset ini terdiri atas dua kategori utama, yaitu kategori normal dan pneumonia bakteri. Secara lebih rinci, data latih (training set) mencakup 1.341 citra X-ray untuk kategori normal dan 530 citra untuk kategori pneumonia bakteri, sedangkan data uji (testing set) terdiri atas 234 citra normal dan 242 citra pneumonia bakteri. Seluruh citra disimpan dalam format digital (.jpeg atau .png) dan telah dilengkapi dengan label diagnosis yang telah diverifikasi, sehingga mempermudah proses anotasi serta klasifikasi selama pelatihan model.

Pemilihan dataset dengan struktur yang terorganisasi dan label yang tervalidasi memiliki peran krusial dalam mendukung efektivitas proses deep learning yang diterapkan, khususnya untuk mengoptimalkan kemampuan model dalam mengenali pola-pola

radiologis khas yang menjadi indikator pneumonia bakteri pada anak. Berikut adalah hasil citra x-ray dari paru yang normal dan pneumonia disajikan pada gambar 2 dibawah ini.



**Gambar 2 Dataset X-Ray Paru-Paru**

#### Data Klinis

Data klinis dalam penelitian ini dikonstruksi secara sintetik menggunakan pendekatan pemodelan statistik yang didukung oleh domain knowledge medis. Struktur variabel disusun berdasarkan acuan dari pedoman World Health Organization (WHO) dan berbagai publikasi klinis terkait diagnosis pneumonia pada anak. Dataset mencakup sejumlah fitur klinis utama seperti suhu tubuh, status demam, saturasi oksigen, kondisi sesak napas, usia, dan frekuensi napas, yang dirancang agar merepresentasikan kondisi pasien secara realistis. Hubungan antarfitur disimulasikan secara logis misalnya pasien tanpa demam memiliki suhu di bawah  $37,5^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pasien dengan sesak napas menunjukkan saturasi oksigen di bawah 94%. Kombinasi fitur dibentuk secara sistematis untuk mencegah bias idealistik dan memperkuat robustness model terhadap variasi data dunia nyata. Secara keseluruhan, dataset terdiri dari 1.500 data latih dan 200 data uji dengan distribusi seimbang antara kelas normal dan pneumonia, guna memastikan stabilitas performa klasifikasi serta meminimalkan risiko overfitting. Berikut adalah dataset klinis yang digunakan disajikan pada gambar 3 dibawah ini.

ID	Umur	Suhu	Demam	Saturasi Oksigen	Frekuensi Napas	Status Sesak Napas	Label
1	10	37,5	Ya	95	20	Tidak	Normal
2	12	38,2	Ya	92	25	Ya	Pneumonia
3	8	37,1	Tidak	98	18	Tidak	Normal
4	11	37,8	Ya	94	22	Tidak	Pneumonia
5	9	37,3	Tidak	96	19	Tidak	Normal
6	13	38,5	Ya	91	28	Ya	Pneumonia
7	7	37,0	Tidak	97	17	Tidak	Normal
8	10	37,6	Ya	93	21	Tidak	Pneumonia
9	11	37,4	Tidak	96	20	Tidak	Normal
10	12	38,1	Ya	92	24	Ya	Pneumonia

**Gambar 3 Dataset Klinis**

#### Preprocessing Data

##### Preprocessing Data Citra

Seluruh citra X-ray yang digunakan

terlebih dahulu menjalani proses preprocessing untuk memastikan kualitas data yang optimal sebelum tahap pelatihan model Convolutional Neural Network (CNN). Proses ini mencakup penyesuaian ukuran citra menjadi 224×224 piksel, normalisasi nilai piksel ke rentang [0,1], serta penerapan data augmentation secara acak melalui rotasi, horizontal flipping, dan shifting guna meningkatkan keragaman data sekaligus menekan risiko overfitting. Model CNN yang digunakan berbasis arsitektur MobileNetV2 dengan pendekatan transfer learning, di mana bobot awal model yang telah dilatih pada dataset berskala besar dimanfaatkan kembali. Arsitektur kemudian dimodifikasi dengan penambahan dense layer berisi 128 neuron untuk menghasilkan representasi fitur, serta softmax layer sebagai keluaran dua kelas, yaitu normal dan pneumonia. Setelah pelatihan selesai, seluruh citra diproses ulang melalui model tersebut untuk mengekstraksi vektor fitur berdimensi 128, yang selanjutnya digunakan sebagai representasi visual dalam tahap integrasi dengan data klinis.

### **Preprocessing Data Klinis**

Data klinis pada penelitian ini menjalani serangkaian tahap preprocessing yang terstruktur untuk memastikan kelayakannya dalam pengembangan model klasifikasi hibrida. Proses tersebut mencakup pembersihan data melalui pemeriksaan konsistensi antarvariabel dan validasi rentang nilai setiap fitur, normalisasi variabel numerik seperti suhu tubuh dan saturasi oksigen agar berada dalam skala seragam, serta encoding variabel kategorikal—misalnya konversi status demam dari kategori “ya/tidak” menjadi format biner (1/0). Selain itu, fitur yang tidak relevan terhadap deteksi pneumonia dieliminasi guna memastikan hanya variabel signifikan yang digunakan pada tahap pembelajaran mesin.

### **Penyelarasan dan Penggabungan Dataset**

Integrasi dua jenis data dalam model hibrida dilakukan melalui proses alignment yang terstruktur. Pada tahap awal, seluruh citra X-ray dari data latih dan data uji dievaluasi menggunakan model MobileNetV2 terlatih, kemudian hasil prediksi dibandingkan dengan label aslinya untuk memastikan validitas klasifikasi. Hanya citra yang teridentifikasi benar yang dipertahankan guna menghindari propagasi kesalahan pada tahap pembelajaran berikutnya serta meningkatkan akurasi sistem. Setelah proses seleksi, dibentuk dataset multimodal dalam format Comma-Separated Values (CSV) yang berisi fitur klinis, label target (0: normal, 1: pneumonia), dan filepath yang menghubungkan data klinis dengan citra X-ray terkait. Struktur dataset yang selaras ini memungkinkan model hibrida dalam hal ini Support Vector Machine (SVM) memanfaatkan kekuatan representasi visual dan informasi klinis secara simultan. Pendekatan integratif tersebut diharapkan mampu meningkatkan performa klasifikasi serta mendukung deteksi pneumonia secara lebih komprehensif.

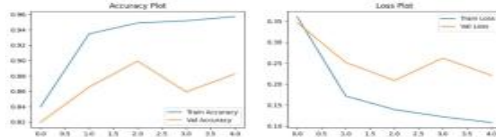
### **Pengembangan Model Individu**

Pada tahap ini, proses pelatihan model dilakukan secara terpisah untuk setiap jenis data, yaitu model Convolutional Neural Network (CNN) yang diterapkan pada data citra X-ray, serta model Support Vector Machine (SVM) yang digunakan untuk data klinis.

### **Model CNN untuk Citra X-Ray**

Model CNN digunakan untuk mengevaluasi kemampuan dalam mengklasifikasikan dua kategori, yakni normal dan pneumonia bakteri, berdasarkan citra X-ray dada. Proses evaluasi dilaksanakan secara bertahap, dimulai dari analisis kurva pelatihan, pemilihan model dengan performa terbaik, hingga pengujian akhir serta analisis mendalam terhadap metrik klasifikasi. Selama tahap pelatihan, evaluasi model dilakukan secara berkala

pada data validasi di setiap epoch untuk memantau kinerja secara berkelanjutan. Hasil pelatihan menunjukkan adanya tren konvergensi yang baik, ditandai dengan peningkatan akurasi serta penurunan nilai loss secara stabil, yang mengindikasikan keberhasilan model dalam mempelajari pola representasi dari data.

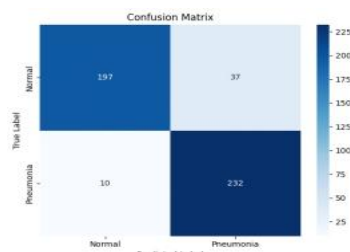


**Gambar 4 Grafik Akurasi Dan Loss Antara Data Training Dan Validasi**

**Tabel 1 Metrik akurasi model CNN untuk data uji gambar x-ray**

Kategori	Precision	Recall	F1-Score
Normal	0.95	0.84	0.89
Pneumonia	0.86	0.95	0.91
Akurasi	0.90		

Tingginya nilai precision pada kelas normal mengindikasikan bahwa model jarang melakukan kesalahan dalam mengklasifikasikan kasus pneumonia sebagai normal, sehingga potensi kesalahan negatif dapat diminimalkan. Sementara itu, nilai recall yang tinggi pada kelas pneumonia menunjukkan sensitivitas model yang sangat baik dalam mendeteksi kasus pneumonia, yang selaras dengan tujuan klinis utama, yaitu memaksimalkan kemampuan identifikasi pasien yang benar-benar terinfeksi. Selanjutnya disajikan visualisasi confusion matrix pada gambar 5 dibawah ini.



**Gambar 5 Confusion Matrix Model CNN**

Model CNN berbasis arsitektur MobileNetV2 terbukti memiliki

kemampuan yang sangat baik dalam mengekstraksi fitur-fitur penting dari citra X-ray untuk keperluan klasifikasi pneumonia pada anak, dengan tingkat akurasi yang tinggi. Keunggulan model dalam mendeteksi pneumonia, yang tercermin dari nilai recall sebesar 0,95, menjadikannya kandidat yang sangat potensial untuk diimplementasikan sebagai sistem deteksi dini. Selain berfungsi sebagai model klasifikasi independen, layer dense berdimensi 128 dari model ini juga dimanfaatkan sebagai vektor representasi visual yang selanjutnya akan dikombinasikan dengan data klinis pada tahap pembangunan model hybrid (Asnal et al., 2025). Pendekatan ini diharapkan dapat memperkuat kemampuan model dalam mengintegrasikan informasi multimodal untuk mendukung diagnosis yang lebih komprehensif.

**Model SVM untuk data Klinis**

Hasil evaluasi model Support Vector Machine (SVM) pada data uji ditampilkan pada tabel 2 sebagai berikut:

**Tabel 2 Metrik akurasi model SVM untuk data uji**

Kategori	Precision	Recall	F1-Score
Normal	0.89	0.90	0.90
Pneumonia	0.90	0.89	0.89
Akurasi	0.90		

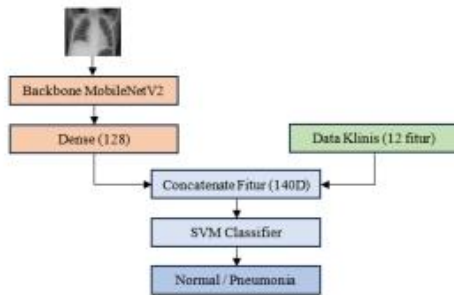
Model SVM yang dilatih menggunakan data klinis sintetik berhasil mencapai akurasi klasifikasi sebesar 90%, nilai yang sebanding dengan akurasi model CNN berbasis citra. Temuan ini menunjukkan bahwa data klinis memiliki kemampuan diskriminasi yang cukup kuat dalam membedakan kondisi pneumonia, sehingga dapat berfungsi sebagai komponen penting dan bernilai diagnostik tinggi dalam pengembangan sistem hybrid pada tahap selanjutnya.

**Integrasi Model Hybrid**

Integrasi model dilakukan untuk mengoptimalkan potensi masing-masing

jenis data, yaitu citra X-ray dan data klinis, guna meningkatkan performa klasifikasi pneumonia. Pendekatan ini berlandaskan prinsip multimodal learning, di mana dua sumber informasi yang berbeda dikombinasikan secara sinergis untuk memperbaiki akurasi diagnosis dan memperkuat kemampuan generalisasi model. Tujuan utama dari integrasi ini mencakup: (1) meningkatkan akurasi prediksi melalui penggabungan representasi visual citra X-ray dengan indikator klinis relevan; (2) membangun sistem klasifikasi yang lebih tangguh dengan mempertimbangkan aspek anatomis paru-paru dan kondisi fisiologis pasien; serta (3) mengatasi keterbatasan performa yang muncul apabila salah satu modalitas digunakan secara terpisah.

Pendekatan integratif ini diharapkan dapat meningkatkan kemampuan model dalam mendeteksi pneumonia secara lebih akurat, dengan mempertimbangkan informasi radiologis dan klinis secara simultan. Berikut pada gambar 6 disajikan Arsitektur Model Hybrid yang dilakukan.



Gambar 6 Arsitektur Model Hybrid

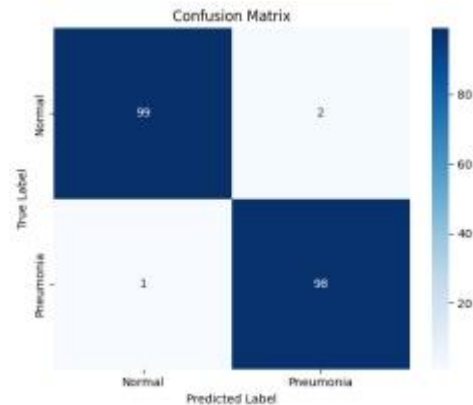
**Evaluasi dan Analisis**

Model hybrid dievaluasi menggunakan 200 sampel data uji, yang terdiri atas 100 sampel kategori normal dan 100 sampel kategori pneumonia. Seluruh sampel uji ini diproses dengan prosedur preprocessing dan penyesuaian yang sama seperti pada tahap pelatihan, guna memastikan kesesuaian distribusi data dan menghindari bias evaluasi. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model hybrid mampu mencapai performa yang sangat tinggi serta stabil, mencerminkan efektivitas integrasi antara fitur visual dan

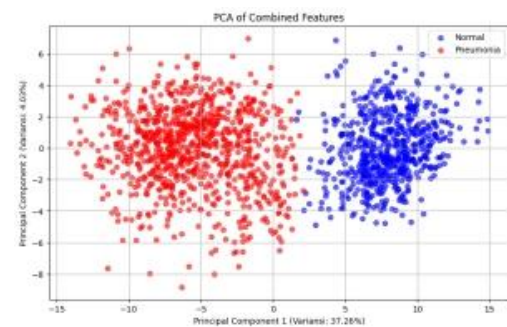
klinis dalam mendukung akurasi klasifikasi pneumonia.

**Tabel 3 Metrik Akurasi Model Hybrid untuk Data Uji**

Kategori	Precision	Recall	F1-Score
Normal	0.99	0.98	0.99
Pneumonia	0.98	0.99	0.98
Akurasi	0.98		



Gambar 7 Confusion Matrix Model Hybrid



Gambar 8 Principal Component

**Analysis Separabilitas Data Gabungan**

Berdasarkan scatter plot Principal Component Analysis (PCA) yang digunakan untuk mengevaluasi separabilitas data gabungan (citra X-ray dan data klinis), hasil visualisasi menunjukkan bahwa kedua kelas (normal dan pneumonia) terdistribusi dengan jelas serta terpisah secara signifikan pada dimensi utama (PC1), meskipun komponen ini hanya menjelaskan sebesar 41,3% dari total varians. Temuan ini memperkuat bukti keberhasilan model hybrid dalam mengintegrasikan informasi multimodal, sekaligus menjadi justifikasi

atas tingginya akurasi yang diperoleh (100%). Scatter plot tersebut juga menunjukkan bahwa kombinasi fitur visual dan klinis memiliki kemampuan diskriminasi yang sangat baik, bahkan ketika direpresentasikan dalam ruang dua dimensi.

## SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan model hybrid berbasis kecerdasan buatan untuk deteksi dini pneumonia pada anak dengan menggabungkan dua sumber data utama, yaitu citra X-ray dan data klinis. Sistem ini dibangun melalui dua tahap utama: tahap pertama berupa ekstraksi fitur citra menggunakan model Convolutional Neural Network (CNN) berbasis arsitektur MobileNetV2, dan tahap kedua berupa klasifikasi gabungan fitur visual dan klinis menggunakan algoritma Support Vector Machine (SVM). Model CNN (MobileNetV2) menunjukkan performa tinggi dengan akurasi sebesar 89,92% dan recall pada kasus pneumonia mencapai 0,95, yang mencerminkan sensitivitas yang sangat baik dalam mendeteksi kondisi paru-paru abnormal. Sementara itu, model SVM yang dikembangkan berdasarkan data klinis juga memperlihatkan performa kompetitif dengan akurasi 90%, menegaskan bahwa data klinis memberikan kontribusi signifikan terhadap diagnosis. Hasil yang lebih mengesankan diperoleh pada model hybrid, yang berhasil mencapai akurasi 98% pada data uji, dengan nilai precision dan recall di atas 0,98 untuk kedua kelas, menunjukkan keunggulan integrasi data visual dan klinis dalam meningkatkan kemampuan prediksi. Visualisasi Principal Component Analysis (PCA) memperlihatkan pemisahan kelas yang sangat jelas, mendukung efektivitas representasi fitur gabungan dan menjelaskan keberhasilan SVM dengan kernel linear dalam menghasilkan performa optimal. Secara keseluruhan, model hybrid yang dikembangkan dalam

penelitian ini sangat potensial untuk dijadikan alat bantu diagnosis pneumonia berbasis AI, terutama di daerah dengan keterbatasan tenaga radiolog maupun dokter spesialis paru, sehingga dapat mendukung deteksi dini yang lebih cepat dan akurat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia atas dukungan dan fasilitasi pendanaan yang telah terlaksananya penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada LLDIKTI Wilayah XVII yang senantiasa memberikan arahan, pembinaan, serta pendampingan administratif dan teknis selama proses penelitian berlangsung. Selanjutnya, penulis menyampaikan apresiasi yang mendalam kepada Stikes Tengku Maharatu atas segala dukungan moral, fasilitas, serta kesempatan yang diberikan, sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dan diselesaikan dengan baik. Semoga kontribusi dari seluruh pihak dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan peningkatan kualitas layanan kesehatan di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ainleni Srikeerthi, Kasala Gayathri, Aviraj Korati, & Mrs.L Swathi. (2025). Pneumonia Detection Using CNN Through Chest X-rays. *International Research Journal on Advanced Engineering and Management (IRJAEM)*, 3(05), 1799–1804. <https://doi.org/10.47392/IRJAEM.2025.0284>
- Alapat, D. J., Menon, M. V., & Ashok, S. (2022). A Review on Detection of Pneumonia in Chest X-ray Images Using Neural Networks. In *Journal*

- of Biomedical Physics and Engineering* (Vol. 12, Number 6, pp. 551–558). Shiraz University of Medical Sciences. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.2202-1461>
- Asnal, H., Andesa, K., Erlin, F., & Junadhi. (2025). Hybrid Machine Learning Model for Risk Prediction and Action Recommendation Based on Artificial Mental Systems. *Teknika*, 14(3), 415–423. <https://doi.org/10.34148/teknika.v14i3.1357>
- Celik, M., & Inik, O. (2024). Development of hybrid models based on deep learning and optimized machine learning algorithms for brain tumor Multi-Classification. *Expert Systems with Applications*, 238, 122159. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122159>
- Erilia, E. (2024, November 14). *Apa Itu Asta Cita Prabowo-Gibran, Program Prioritas, & Artinya?* Tirta.Id. <https://tirta.id/arti-asta-cita-prabowo-gibran-visi-misi-presiden-program-prioritas-dokumen-pdf-g5J4>
- Febriani, A. (2024). Improved Hybrid Machine and Deep Learning Model for Optimization of Smart Egg Incubator. *Journal of Applied Data Sciences*, 5(3), 1052–1068. <https://doi.org/10.47738/jads.v5i3.304>
- Firdausanti, N. A., Ningrum, R. A., & Qomariyah, S. (2022). Comparisons of Logistic Regression and Support Vector Machines in Classification of Echocardiogram Dataset. *Inferensi*, 5(2), 85. <https://doi.org/10.12962/j27213862.v5i2.14121>
- Ghaddar, B., & Naoum-Sawaya, J. (2018a). High dimensional data classification and feature selection using support vector machines. *European Journal of Operational Research*, 265(3), 993–1004. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.08.040>
- Ghaddar, B., & Naoum-Sawaya, J. (2018b). High dimensional data classification and feature selection using support vector machines. *European Journal of Operational Research*, 265(3), 993–1004. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.08.040>
- Guido, R., Ferrisi, S., Lofaro, D., & Conforti, D. (2024). An Overview on the Advancements of Support Vector Machine Models in Healthcare Applications: A Review. *Information*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/info15040235>
- Junadhi, Defit, S., & Okfalisa, O. (2026). Grouped Query Attention for Dual-Output Generative Modeling: Narrative and Visual Prompt Generation in Educational Storytelling. *2025 1st International Conference on Emerging Trends in Information Systems and Informatics (ICETISI)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICETISI67983.2025.11405876>
- Kanwal, K., Asif, M., Khalid, S. G., Liu, H., Qurashi, A. G., & Abdullah, S. (2024). Current Diagnostic Techniques for Pneumonia: A Scoping Review. *Sensors*, 24(13). <https://doi.org/10.3390/s24134291>
- Lubis, A., Irawan Yuda, Junadhi, & Defit Sarjon. (2024). Leveraging K-Nearest Neighbors with SMOTE and Boosting Techniques for Data Imbalance and Accuracy Improvement. *Journal of Applied Data Sciences*, 5(4), 1625–1638. <https://doi.org/10.47738/jads.v5i4.343>
- Mabrouk, A., Díaz Redondo, R. P., Dahou, A., Abd Elaziz, M., & Kayed, M. (2022). Pneumonia Detection on Chest X-ray Images Using Ensemble of Deep Convolutional Neural Networks. *Applied Sciences*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/app12136448>
- Milwati, S., Indarti, T. E., Putro, D. U. H., Leniwita, H., Subandiyo, Siagian, Y., Maula, D. R., Widiyanto, J., & Putri,

- N. S. (2024). *Buku Ajar Keperawatan Medikal Bedah*.
- Muhawarman, A. (2024, November 18). *Pneumonia Terus Ancam Anak-anak*. <https://Kemkes.Go.Id/>.  
[https://kemkes.go.id/id/pneumonia-terus-ancam-anak-anak?utm\\_source=chatgpt.com](https://kemkes.go.id/id/pneumonia-terus-ancam-anak-anak?utm_source=chatgpt.com)
- Numan, N., Kusumadewi, S., & Muzayyanah, N. (2020). Sistem Inferensi Fuzzy Untuk Membantu Diagnosis Penyakit Pneumonia Anak. *IT Journal Research and Development*, 5(1), 53–62. [https://doi.org/10.25299/itjrd.2020.v015\(1\).5088](https://doi.org/10.25299/itjrd.2020.v015(1).5088)
- Rahman, M. A., Miah, M. B. A., Hossain, Md. A., & Hosen, A. S. M. S. (2025). Enhanced Brain Tumor Classification Using MobileNetV2: A Comprehensive Preprocessing and Fine-Tuning Approach. *BioMedInformatics*, 5(2). <https://doi.org/10.3390/biomedinformatics5020030>
- Ruan, C., Huang, C., & Yang, Y. (2024). *Comprehensive Evaluation of Multimodal AI Models in Medical Imaging Diagnosis: From Data Augmentation to Preference-Based Comparison*. <http://arxiv.org/abs/2412.05536>
- Sheng, J., Zhang, Q., Zhang, Q., Wang, L., Yang, Z., Xin, Y., & Wang, B. (2024). A hybrid multimodal machine learning model for Detecting Alzheimer's disease. *Computers in Biology and Medicine*, 170, 108035. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2024.108035>
- Shofiqul Islam, M., Fida Hasan, K., Hossain Shajeeb, H., Kabir Rana, H., Saifur Rahman, M., Munirul Hasan, M., Azad, A., Abdullah, I., & Ali Moni, M. (2025). *Multimodal Marvels of Deep Learning in Medical Diagnosis: A Comprehensive Review of COVID-19 Detection*. <https://github.com/shafiq-siddiqi>
- Siddiqi, R., & Javaid, S. (2024). Deep Learning for Pneumonia Detection in Chest X-ray Images: A Comprehensive Survey. *Journal of Imaging*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/jimaging10080176>
- United Nations. (2025). *Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development*. <https://sdgs.un.org/goals>
- Wang, G., Liu, X., Shen, J., Wang, C., Li, Z., Ye, L., Wu, X., Chen, T., Wang, K., Zhang, X., Zhou, Z., Yang, J., Sang, Y., Deng, R., Liang, W., Yu, T., Gao, M., Wang, J., Yang, Z., ... Lin, T. (2021a). A deep-learning pipeline for the diagnosis and discrimination of viral, non-viral and COVID-19 pneumonia from chest X-ray images. *Nature Biomedical Engineering*, 5(6), 509–521. <https://doi.org/10.1038/s41551-021-00704-1>
- Wang, G., Liu, X., Shen, J., Wang, C., Li, Z., Ye, L., Wu, X., Chen, T., Wang, K., Zhang, X., Zhou, Z., Yang, J., Sang, Y., Deng, R., Liang, W., Yu, T., Gao, M., Wang, J., Yang, Z., ... Lin, T. (2021b). A deep-learning pipeline for the diagnosis and discrimination of viral, non-viral and COVID-19 pneumonia from chest X-ray images. *Nature Biomedical Engineering*, 5(6), 509–521. <https://doi.org/10.1038/s41551-021-00704-1>
- World Health Organization. (2022, November 11). *Pneumonia in children*.