

# Pemanfaatan *Deep Learning* menggunakan *Convolutional Neural Network* Terhadap Penyakit Tuberkulosis melalui Citra Rontgen

<sup>1</sup>Muhammad Brajadien Sastramandala, <sup>2</sup>Novrina, <sup>3</sup>Ratih Nurdiani Sari  
<sup>1,3</sup>Prodi Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma, Jakarta, Indonesia  
<sup>2</sup>Prodi Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi  
Universitas Gunadarma, Jakarta, Indonesia

<sup>1</sup>[zeanbrajamandala@gmail.com](mailto:zeanbrajamandala@gmail.com), <sup>2</sup>[novrina@staff.gunadarma.ac.id](mailto:novrina@staff.gunadarma.ac.id), <sup>3</sup>[ratihns@staff.gunadarma.ac.id](mailto:ratihns@staff.gunadarma.ac.id)

Submit : 19 Mei 2025 | Diterima : 27 Mei 2025 | Terbit : 28 Mei 2025

## ABSTRAK

Tuberkulosis (TBC) merupakan penyakit yang disebabkan oleh infeksi bakteri *Mycobacterium tuberculosis*, yang menyerang paru-paru dan memicu gejala seperti batuk kronis serta sesak napas. Indonesia menempati posisi ketiga di dunia setelah India dan Cina dengan 824 ribu kasus TBC dan 93 ribu kematian per tahun, setara dengan 11 kematian per jam (Kemkes.go.id). Diagnosis TBC saat ini masih dilakukan secara manual melalui wawancara dengan pasien dan analisis hasil foto rontgen, yang berisiko menurunkan akurasi karena sifatnya yang subjektif. Diperlukannya teknologi berbasis komputer yang mampu menganalisis citra rontgen secara cepat dan akurat untuk membantu dokter spesialis paru. Penelitian ini ditujukan untuk mengembangkan model berbasis deep learning menggunakan metode Convolutional Neural Network untuk klasifikasi citra X-ray TBC. Model tersebut dikembangkan melalui proses menggunakan pendekatan SDLC. Berdasarkan hasil eksperimen di atas, presisi untuk kategori TBC adalah 90% dan kategori normal adalah 93%. Recall untuk TBC adalah 93% dan normal adalah 90%, sehingga rerata F1-score yang dihasilkan adalah 91%. Sebanyak 468 data uji, model dapat memasukkan 425 citra X-ray dengan benar dan 43 citra masuk salah dalam kelas, akurasi keseluruhan adalah 91%.

**Kata kunci :** *Confusion Matrix*, *Convolutional Neural Network*, *Deep Learning*, Klasifikasi, Tuberkulosis

## PENDAHULUAN

Tuberkulosis (TBC) merupakan salah satu penyakit yang menjadi perhatian utama di Indonesia, menempatkan negara ini pada posisi ketiga setelah India dan Cina dengan total 824 ribu kasus dan 93 ribu kematian per tahun, setara dengan 11 kematian setiap jam (Kemkes.go.id). Menurut Direktur Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Menular (P2PM) Kementerian Kesehatan RI, Dr. drh. Didik Budijanto, M.Kes, dari estimasi total kasus tersebut, baru sekitar 49% pasien yang terdeteksi dan mendapatkan pengobatan. Hal ini berarti terdapat sekitar 500 ribu penderita TBC yang belum menerima pengobatan, sehingga berpotensi menjadi sumber penularan aktif di masyarakat.

Berdasarkan Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia (JKMI), TBC adalah penyakit menular yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Penularannya terjadi ketika penderita TBC aktif batuk atau bersin, menyebarkan droplet kecil yang mengandung bakteri ke udara. Diperkirakan, satu penderita TBC paru dengan BTA positif dapat menularkan bakteri kepada 10 hingga 15 orang di sekitarnya. Infeksi bakteri ini menyerang paru-paru dan menimbulkan gejala seperti batuk kronis dan sesak napas. Data dari WHO mencatat bahwa pada tahun 2020, sebanyak 1,5 juta orang meninggal akibat TBC. Selain itu, faktor lingkungan

memiliki peran penting dalam memengaruhi interaksi antara agen penyakit dan pejamu, yang dapat meningkatkan risiko penyebaran penyakit menular seperti TBC (Notoatmodjo, 2011).

Dalam bidang kesehatan, analisis citra medis memiliki peran yang krusial dalam mendukung proses diagnosis penyakit dan pengambilan keputusan klinis. Beragam jenis citra medis tersedia untuk digunakan, termasuk *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), *Computed Tomography* (CT), ultrasonografi, X-ray, histologi, dan *Positron Emission Tomography* (PET), di mana masing-masing jenis citra memiliki fungsi dan aplikasi spesifik sesuai dengan kebutuhan klinis.

*Convolutional Neural Network* (CNN) merupakan salah satu metode dalam *Deep Learning* yang terdiri dari dua komponen utama, yaitu *convolutional layer* dan *pooling layer*. Penerapan metode *Deep Learning*, termasuk CNN, bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pengolahan data tidak terstruktur. *Convolutional layer* berfungsi dengan menggunakan sejumlah besar *weights*, sementara *pooling layer* berperan dalam mengambil sampel output dari *convolutional layer* untuk mengurangi jumlah data yang harus diproses pada lapisan berikutnya (Hidayat dan Kusuma, 2020).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keakuratan diagnosis tuberkulosis pada manusia yang setinggi-tingginya dengan menggunakan data olahan yaitu gambar rontgen termasuk hasil rontgen dada. Hal ini dapat memudahkan petugas kesehatan untuk mengklasifikasikan seseorang mengidap penyakit tuberkulosis dengan akurat dan cepat.

## TINJAUAN PUSTAKA

Pada penulisan ini, digunakan berbagai referensi terkait penelitian yang terdiri dari buku, jurnal nasional dan internasional berisikan penjelasan teori-teori yang menjadi sumber dasar penelitian terkait dengan penelitian yang dilakukan serta referensi mengenai pemakaian *deep learning* pada citra *x-ray* untuk penyakit tuberkulosis menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN).

### *Artificial Intelligence* (AI)

Kecerdasan Buatan atau *Artificial Intelligence* (AI) adalah metode yang dirancang untuk meniru kemampuan berpikir makhluk hidup maupun benda mati dalam menyelesaikan berbagai permasalahan. Menurut Rich (1991), AI merupakan disiplin ilmu yang berfokus pada pengembangan komputer agar mampu melakukan tugas-tugas yang saat ini lebih baik dikerjakan oleh manusia. Tujuan utama dari AI adalah memahami dan memodelkan proses berpikir manusia, serta menciptakan mesin yang mampu meniru perilaku manusia. Mesin bisa bertindak seperti manusia dengan dibekali pengetahuan serta kemampuan menalar yang baik.

### *Machine Learning*

Pembelajaran mesin membantu memproses dan memprediksi data dalam jumlah yang sangat besar dengan menggunakan algoritma pembelajaran untuk merepresentasikan data. Pembelajaran mesin membantu komputer memprogram dirinya sendiri. Untuk tugas yang memerlukan pembuatan pemrograman secara otomatis, pembelajaran mesin mengotomatiskan proses otomatis. Pada dasarnya, pembelajaran mesin melibatkan pembuatan data agar berfungsi. Salah satu karakteristik utama dari *machine learning* adalah adanya proses pelatihan atau *training*. Oleh karena itu, penerapan teknik-teknik *machine learning* memerlukan ketersediaan data sebagai elemen fundamental. Tanpa data, algoritma *machine learning* tidak dapat berfungsi. Data yang digunakan umumnya dibagi menjadi dua kelompok, yaitu *training data* dan *testing data*. *Training data* digunakan untuk melatih algoritma agar mampu mengenali pola, sementara *testing data* digunakan untuk mengevaluasi kinerja algoritma yang telah dilatih ketika menghadapi data baru yang belum pernah dianalisis sebelumnya.

### *Deep Learning*

*Deep learning* adalah salah satu metode dalam *machine learning* yang digunakan untuk berbagai tugas, seperti mengidentifikasi objek dalam citra, mentranskripsikan ucapan menjadi

teks, mencocokkan berita, menentukan postingan atau produk yang sesuai dengan minat pengguna, serta memilih hasil pencarian yang relevan (LeCun et al., 2015). Metode ini merupakan bentuk spesifik dari *machine learning* yang dirancang untuk menangani masalah dengan tingkat kompleksitas tinggi (Goodfellow et al., 2016).

Secara teknis, *deep learning* memiliki kesamaan dengan *machine learning* dalam hal fungsi, namun keduanya memiliki perbedaan signifikan dalam kemampuan. Pada *machine learning*, ketika sebuah algoritma menghasilkan prediksi yang kurang akurat, diperlukan intervensi seorang engineer untuk melakukan penyesuaian. Sebaliknya, dalam *deep learning*, algoritma memiliki kemampuan untuk secara mandiri melakukan penyesuaian jika hasil prediksi tidak sesuai dengan yang diharapkan.

### **Convolutional Neural Network (CNN)**

Menurut Allaozi dkk (2019) dalam beberapa tahun terakhir penggunaan convolutional neural network (CNN) berhasil mengungguli performa machine learning tradisional lainnya dalam bidang klasifikasi citra, tidak terkecuali citra medis (Yuli, Hadiyoso, & Siadari, 2020). Banyak arsitektur jaringan yang dibangun dari CNN, antara lain Inception, Densenet, VGGNet dan sebagainya.

CNN sering digunakan untuk pengenalan objek atau pemandangan, deteksi dan segmentasi objek. CNN belajar langsung dari data gambar, menghilangkan kebutuhan untuk ekstraksi fitur manual. Penelitian awal yang menjadi dasar penemuan ini pertama kali dilakukan oleh Hubel dan Wiesel, yang mempelajari korteks visual dalam penglihatan kucing. Korteks visual hewan adalah sistem pemrosesan visual terkuat yang pernah ada. Mekanismenya telah mengilhami banyak penelitian dan menghasilkan model-model baru seperti Neocognitron, HMAX, LeNet-5, dan AlexNet.

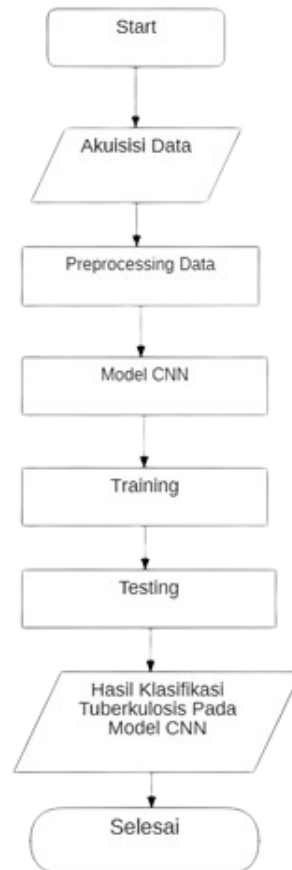
### **Tuberkulosis**

Tuberkulosis merupakan penyakit yang disebabkan oleh infeksi Mycobacterium tuberculosis. Bakteri ini dapat menyerang paru-paru dan menyebabkan sesak napas serta batuk kronis. Kondisi ini dapat mempengaruhi otak, kelenjar getah bening, sistem saraf pusat, jantung, dan tulang belakang. Namun, infeksi tuberkulosis paling sering menyerang paru-paru.

Mycobacterium tuberculosis dapat menular melalui air liur ketika penderita tuberkulosis batuk, bersin, berbicara, tertawa, atau bernyanyi. Cara penularannya mirip dengan flu biasa dan influenza, namun tuberkulosis tidak mudah menular. Untuk tertular penyakit tersebut, seseorang harus melakukan kontak erat dalam waktu yang lama (beberapa jam) dengan penderita TBC.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

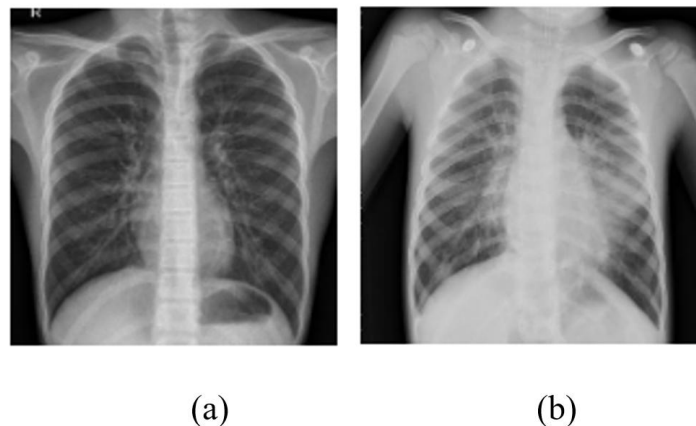
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model dengan tingkat akurasi tertinggi dalam mengklasifikasikan citra X-ray penyakit Tuberkulosis. Model ini dirancang menggunakan metode *Convolutional Neural Network (CNN)* dengan pengukuran parameter berupa akurasi, presisi, dan *recall*. Penulisan ini menggunakan pendekatan metode SDLC (*Software Development Life Cycle*) dimana dilakukan beberapa tahap yang dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1. Kerangka Penelitian**

### Akuisisi Data

Dataset yang digunakan untuk melatih dan menguji model merupakan data sekunder yang diperoleh dari [www.kaggle.com](http://www.kaggle.com), berupa kumpulan citra x-ray rontgen dada yang berkaitan dengan Tuberkulosis. Dataset ini sebelumnya telah digunakan untuk pelatihan model di Kaggle. Secara keseluruhan, dataset mencakup 3.150 gambar yang telah melalui proses cropping dan augmentasi. Data ini kemudian dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu citra rontgen dada dengan kondisi paru-paru normal dan yang terdiagnosis Tuberkulosis (TBC). Data validasi yang diambil dari uji dan data latih yang diambil pada penelitian ini data val sejumlah 84 diambil dari 42 data uji dan 42 data latih. Gambar 2 adalah contoh data yang akan dipakai pada penelitian ini.



**Gambar 2. Sampel Data (a) Normal (b) Tuberkulosis**

### Preprocessing

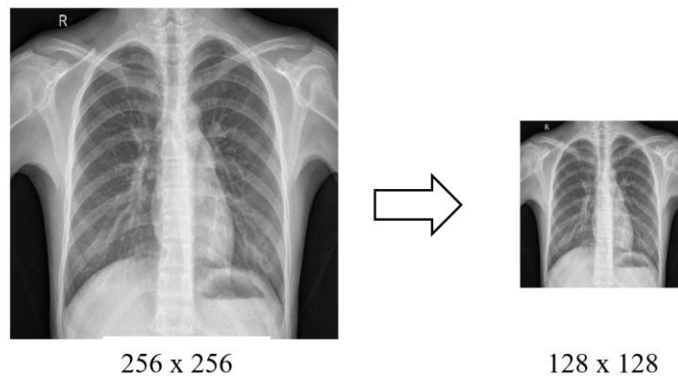
Proses preprocessing pada penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan hasil akurasi. Terdapat tiga metode yang dilakukan dalam preprocessing pada penelitian ini yaitu *splitting* data, *scaling* data dan *augmentasi* citra.

#### 1. *Splitting* Data

Dari total 3.150 data, sebanyak 84 data dialokasikan untuk proses validasi, sementara 2.682 data digunakan sebagai *training data* dan 468 data sisanya sebagai *testing data*. *Training data* dimanfaatkan oleh algoritma klasifikasi untuk membangun model klasifikasi (*classifier*). Model ini berfungsi sebagai representasi pengetahuan yang akan digunakan untuk memprediksi kelas dari data baru yang belum pernah diolah sebelumnya.

#### 2. *Scaling* Data

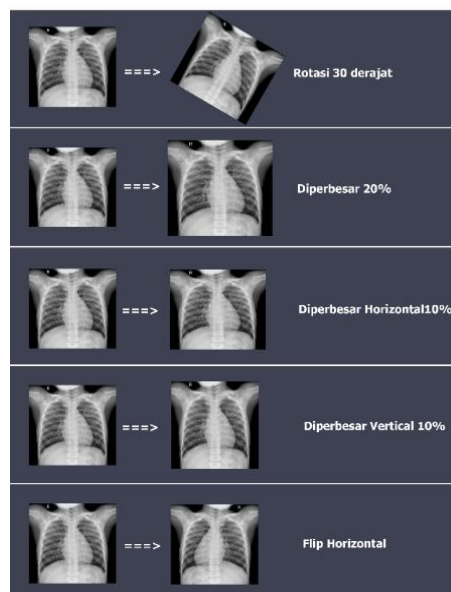
Pada penelitian ini proses latihan citra yang digunakan beresolusi 128x128 pixel. Tujuan dari *scaling* ini yaitu agar citra yang diolah tidak terlalu besar dalam menggunakan memori, sehingga akan mempercepat proses *training*.



**Gambar 3. Ilustrasi *Scaling* Data**

#### 3. *Augmentasi* Citra

Agar mencapai performa yang optimal, *deep learning* memerlukan data latih yang cukup banyak dan beragam. Proses *augmentasi* dilakukan pada data latih yang telah dipisahkan dari data validasi. Teknik *augmentasi* yang diterapkan meliputi rotasi citra hingga 30 derajat, pembesaran ukuran sebesar 20%, peningkatan skala horizontal dan vertikal masing-masing sebesar 10%, serta pembalikan citra secara horizontal (*horizontal flip*).



**Gambar 4. Ilustrasi Proses *Augmentasi***

## Model CNN

Proses pelatihan data pada dataset merupakan tahap yang harus dilakukan sebelum memasuki tahap pengujian data. Hasil dari proses pelatihan ini adalah sebuah file model yang nantinya akan digunakan untuk melakukan klasifikasi citra. Pelatihan model *Convolutional Neural Network* (CNN) mencakup beberapa langkah, yaitu praproses data, pembagian data, penerapan *Image Dataset Augmentation*, pembuatan model CNN, pelatihan model, serta visualisasi grafik hasil pelatihan.

### Training

Pelatihan model bertujuan untuk mempelajari berbagai fitur dan kelas pada citra X-ray Tuberkulosis, sehingga model dapat mengenali karakteristik yang diperlukan untuk mengklasifikasikan kondisi tersebut. Pada tahap ini, proses pelatihan dilakukan menggunakan dataset yang telah disiapkan dan dipisahkan, sesuai dengan model yang telah dirancang sebelumnya.

### Testing

Pengujian dilakukan menggunakan 468 data uji yang sebelumnya telah dipisahkan dari total 3.150 dataset. Model yang digunakan pada pengujian ini adalah model dengan parameter *batch size* sebesar 50 dan *epoch* sebanyak 50, yang menunjukkan kinerja terbaik selama proses pelatihan. Pengujian ini dilaksanakan secara bersamaan dengan proses kompilasi model pelatihan. Selama proses pelatihan, nilai *validation loss* dan *validation accuracy* juga dihitung dan ditampilkan. Hasil dari proses tersebut memungkinkan evaluasi apakah nilai akurasi dan *loss* memiliki kedekatan yang konsisten dengan nilai validasi akurasi dan validasi *loss*.

## Hasil Klasifikasi Model CNN

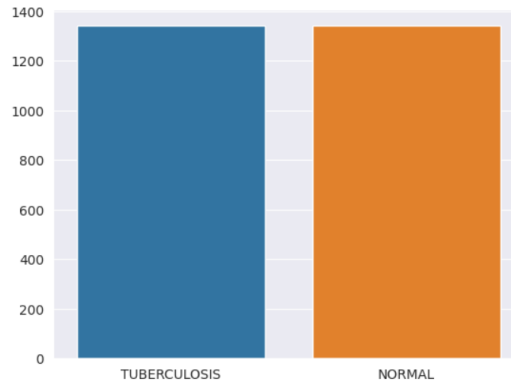
Evaluasi dilakukan untuk menguji presentase keakuratan sebuah model yang sudah dibuat. Pengujian juga dilakukan dengan menggunakan citra di luar database yang telah tersedia, guna menyempurnakan penelitian yang sedang berlangsung. Sebagai tambahan, satu citra diuji untuk menentukan apakah hasilnya menunjukkan kondisi positif atau negatif terkait Tuberkulosis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian model dilakukan dalam dua tahap utama, yaitu tahap pelatihan dan pengujian, yang bertujuan untuk mengklasifikasikan penyakit Tuberkulosis berdasarkan citra X-ray. Pada tahap pelatihan, sistem menjalankan proses *training* menggunakan model *Convolutional Neural Network* yang telah dirancang dengan lapisan dan parameter yang disesuaikan. Sementara itu, pada tahap pengujian, sistem melakukan klasifikasi terhadap citra yang dimasukkan, sehingga dapat mengenali pola dengan baik. Penelitian ini melibatkan total 3.150 citra, yang terdiri dari 2.682 citra untuk pelatihan, 468 citra untuk pengujian, dan 84 citra untuk validasi.

## Model Arsitektur CNN

Visualisasi data dirancang untuk menemukan dan menganalisis kepemilikan kumpulan data dengan menunjukkan perbandingan jumlah kumpulan data pelatihan dan pengujian, atau dengan menunjukkan contoh setiap kelas. Pada gambar 5 dibawah ini jumlah dataset latih pada masing-masing kelas tercatat sebanyak 1.341 dataset, sehingga distribusi dataset latih untuk label Tuberkulosis dan label normal memiliki perbandingan yang seimbang, yaitu 1:1.



Gambar 5. Jumlah Dataset

### Training Model

Pelatihan model dilakukan menggunakan dataset yang telah melewati tahap pemrosesan dan augmentasi. Proses ini melibatkan 2.682 data latih dan 84 data validasi. Selama pelatihan, dilakukan 10 kali percobaan dengan variasi nilai *epoch* dan *batch size* untuk mengoptimalkan hasil. Dari hasil percobaan ini, didapat nilai akurasi dan nilai *loss* iterasi 10 percobaan ini dapat terlihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai Akurasi Dan Loss Pada 10 Kali Percobaan

No	Batch_size	Epoch	Nilai Akurasi	Nilai Loss	Gambar Hasil dari program
1	25	10	98,09%	6,48%	84/84 [=====] - 1s 6ms/step - loss: 0.0648 - accuracy: 0.9810 Loss of the model is - 6.484050303697586 % 84/84 [=====] - 0s 5ms/step - loss: 0.0648 - accuracy: 0.9810 Accuracy of the model is - 98.09843301773071 %
2	25	20	99,06%	2,58%	84/84 [=====] - 1s 6ms/step - loss: 0.0259 - accuracy: 0.9907 Loss of the model is - 2.585649862885475 % 84/84 [=====] - 0s 5ms/step - loss: 0.0259 - accuracy: 0.9907 Accuracy of the model is - 99.0678608417511 %
3	25	30	99,14%	2,72%	84/84 [=====] - 1s 6ms/step - loss: 0.0273 - accuracy: 0.9914 Loss of the model is - 2.7296243235468864 % 84/84 [=====] - 0s 5ms/step - loss: 0.0273 - accuracy: 0.9914 Accuracy of the model is - 99.14243221282959 %
4	25	40	99,70%	1,71%	84/84 [=====] - 1s 6ms/step - loss: 0.0117 - accuracy: 0.9970 Loss of the model is - 1.1710040271282196 % 84/84 [=====] - 0s 5ms/step - loss: 0.0117 - accuracy: 0.9970 Accuracy of the model is - 99.70171451568604 %
5	25	50	99,06%	2,15%	84/84 [=====] - 1s 6ms/step - loss: 0.0215 - accuracy: 0.9907 Loss of the model is - 2.1541520953178406 % 84/84 [=====] - 0s 5ms/step - loss: 0.0215 - accuracy: 0.9907 Accuracy of the model is - 99.0678608417511 %
6	50	10	99,81%	0,45%	84/84 [=====] - 0s 6ms/step - loss: 0.0045 - accuracy: 0.9981 Loss of the model is - 0.4511468578130007 % 84/84 [=====] - 0s 5ms/step - loss: 0.0045 - accuracy: 0.9981 Accuracy of the model is - 99.81357455253601 %
7	50	20	99,81%	0,46%	84/84 [=====] - 1s 6ms/step - loss: 0.0047 - accuracy: 0.9981 Loss of the model is - 0.4694789182394743 % 84/84 [=====] - 0s 6ms/step - loss: 0.0047 - accuracy: 0.9981 Accuracy of the model is - 99.81357455253601 %
8	50	30	99,82%	0,16%	84/84 [=====] - 1s 6ms/step - loss: 0.0016 - accuracy: 0.9993 Loss of the model is - 0.16404313500970602 % 84/84 [=====] - 0s 5ms/step - loss: 0.0016 - accuracy: 0.9993 Accuracy of the model is - 99.92542862892151 %
9	50	40	99,77%	0,37%	84/84 [=====] - 1s 6ms/step - loss: 0.0038 - accuracy: 0.9978 Loss of the model is - 0.37529964465647936 % 84/84 [=====] - 0s 5ms/step - loss: 0.0038 - accuracy: 0.9978 Accuracy of the model is - 99.77628588676453 %

No	Batch_size	Epoch	Nilai Akurasi	Nilai Loss	Gambar Hasil dari program
10	50	50	99,88%	0,21%	<pre>84/84 [=====] - 1s 6ms/step - loss: 0.0021 - accuracy: 0.9989 Loss of the model is - 0.21139541640877724 % 84/84 [=====] - 0s 5ms/step - loss: 0.0021 - accuracy: 0.9989 Accuracy of the model is - 99.8881459236145 %</pre>

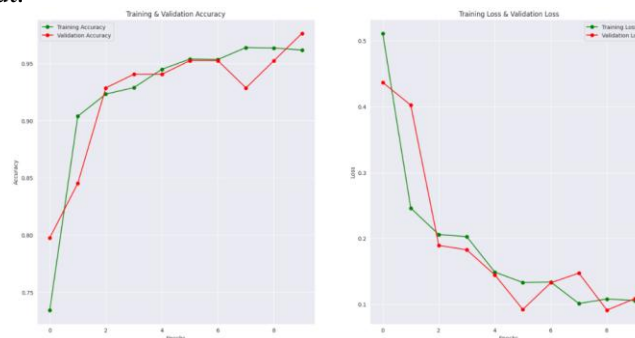
Berdasarkan 10 kali percobaan pelatihan yang dilakukan, sebagaimana tercantum pada Tabel 1, diperoleh nilai akurasi dan nilai *loss* yang bervariasi. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan pada parameter *batch size* dan *epoch* memengaruhi performa model, terutama nilai akurasi dan *loss*. Hasil terbaik dari percobaan pelatihan model dicapai pada percobaan ke-10, dengan parameter *batch size* 50 dan *epoch* 50, menghasilkan akurasi sebesar 99,88% dan *loss* sebesar 0,21%.

```
84/84 [=====] - 1s 6ms/step - loss: 0.0021 - accuracy: 0.9989
Loss of the model is - 0.21139541640877724 %
84/84 [=====] - 0s 5ms/step - loss: 0.0021 - accuracy: 0.9989
Accuracy of the model is - 99.8881459236145 %
```

**Gambar 6. Nilai Akurasi Dan Nilai Loss Percobaan Ke-10**

Pengujian klasifikasi pada Tuberkulosis, data yang digunakan dalam pengujian ini terdiri dari 468 data uji yang telah dipisahkan sebelumnya dari total 3.150 dataset. Model yang diterapkan dalam pengujian merupakan model dengan *batch size* 50 dan *epoch* 50, yang menunjukkan performa terbaik selama proses pelatihan. Pengujian ini dilakukan secara bersamaan dengan proses kompilasi model pelatihan. Selama proses pelatihan, nilai *validation loss* dan *validation accuracy* dihitung dan ditampilkan untuk memantau performa model. Hasil yang menunjukkan nilai akurasi dan *loss* yang mendekati nilai validasi masing-masing menandakan bahwa model pembelajaran yang dikembangkan memiliki kemampuan klasifikasi Tuberkulosis yang baik.

Visualisasi nilai akurasi dan *loss*, serta validasi akurasi dan *loss* yang menunjukkan pola peningkatan atau penurunan secara bertahap, dapat ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik ini dihasilkan dari proses pelatihan model dan berfungsi untuk merepresentasikan serta menyimpan informasi mengenai akurasi dan *loss* selama proses pelatihan data berlangsung yang dapat dilihat pada gambar 7 berikut.

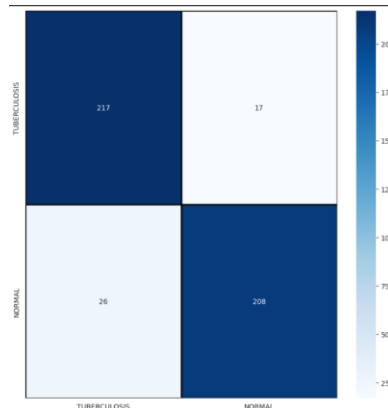


**Gambar 7. Visualisasi Nilai Akurasi Dan Nilai Loss**

### Testing Model

Untuk melakukan pengujian ketepatan suatu model diukur dengan menggunakan beberapa pengukuran *confusion matrix* yang meliputi pengukuran presisi, *recall*, akurasi, dan F1. Beberapa pengukuran tersebut memerlukan nilai *True Positive* (TP), *True Negative* (TN), *False Negative* (FN), dan *False Positive* (FP), yang diperoleh dari perbandingan hasil prediksi dengan

kelas sebenarnya menggunakan *confusion matrix*. Untuk melihat *confusion matrix* pada penelitian ini dapat di lihat pada gambar 8 berikut.



**Gambar 8. Hasil Confusion Matrix**

Adapun nilai *Confusion Matrix* dari gambar 8 untuk mengukur nilai presisi, recall, akurasi dan F1, antara lain :

**Tabel 2. Gambaran Confusion Matrix**

Kelas Sebenarnya	Kelas Hasil Prediksi	
	Tuberkulosis	Normal
Tuberkulosis	217	17
Normal	26	208

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh informasi mengenai jumlah data yang terdeteksi dengan benar maupun salah, demikian pula sebaliknya. Identifikasi dilakukan dengan menganalisis nilai persentase terbesar yang dihasilkan oleh sistem untuk menentukan apakah citra X-ray yang diinputkan termasuk kategori tuberkulosis atau normal. Selanjutnya untuk melakukan pengukuran presisi (*P*), recall (*R*), dan akurasi pada setiap kelas, dapat menggunakan rumus berikut:

$$Presisi = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

$$F_1 = 2 \times \frac{R \times P}{R + P}$$

Dimana :

- TP (*True Positive*) : Prediksi benar terhadap positif Tuberkulosis.
- TN (*True Negative*) : Prediksi benar negatif Tuberkulosis.
- FP (*False Positive*) : Terdeteksi Tuberkulosis namun seharusnya normal.
- FN (*False Negative*) : Terdeteksi normal namun seharusnya terdeteksi Tuberkulosis.
- R : Nilai *Recall*

$P$  : Nilai Presisi  
Untuk hasil yang didapatkan berdasarkan persamaan yang ada akan ditampilkan dalam tabel 3 berikut ini.

**Tabel 3. Hasil Uji Sistem**

Kelas Confussion Matrix	presisi	<i>recall</i>	akurasi	F1
Tuberkulosis	90%	93%	91%	91%
Normal	93%	90%		91%

Berdasarkan tabel 3 data menunjukkan bahwa sistem memiliki hasil presisi tuberkulosis sebesar 90%, normal 93%. Nilai *recall* tuberkulosis sebesar 93%, normal 90% dan rerata F1 91%. Tingkat Akurasi sebesar 90%.

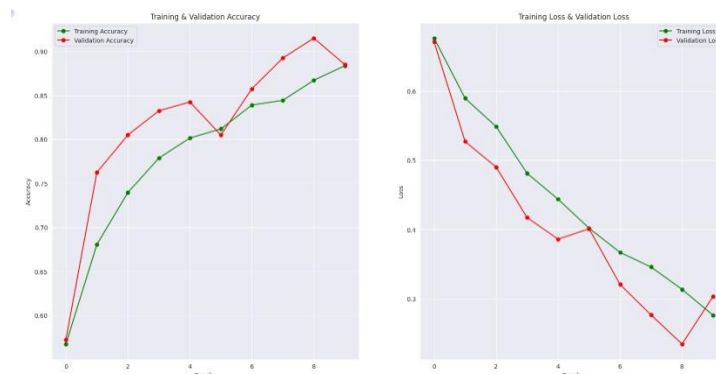
### Hasil Pengujian

Hasil prediksi Tuberkulosis menggunakan model Convolutional Neural Network menunjukkan bahwa dari 468 data uji, sebanyak 425 citra X-ray berhasil diklasifikasikan dengan benar oleh program, sementara 43 citra X-ray salah diklasifikasikan. Secara rinci, program mampu mengidentifikasi 217 citra X-ray Tuberkulosis dan 208 citra X-ray normal secara tepat. Namun, terdapat 17 citra X-ray Tuberkulosis dan 26 citra X-ray normal yang salah klasifikasi. Berdasarkan hasil tersebut, akurasi program yang diperoleh mencapai 91%.

Pengujian juga dilakukan menggunakan citra baru yang berada di luar dataset yang tersedia untuk melengkapi penelitian ini. Satu citra tambahan diuji untuk menentukan apakah citra tersebut termasuk kategori positif atau negatif Tuberkulosis. Gambar berikut menunjukkan citra baru yang digunakan dan hasil dari pengujian tambahan tersebut.



**Gambar 9. Data Citra Baru**



**Gambar 10. Visualisasi Nilai Akurasi Dan Loss Citra Baru**

## KESIMPULAN

Penelitian mengenai implementasi algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk sistem identifikasi Tuberkulosis (TBC) menggunakan citra X-ray dada dengan *package* Keras telah berhasil dilakukan. Model yang digunakan terdiri dari 5 lapisan *convolution* dengan ukuran kernel 3x3, 5 lapisan *pooling* dengan ukuran 2x2, satu lapisan *flatten*, satu *dropout*, dan dua lapisan *dense*. Fungsi aktivasi yang diterapkan adalah ReLU. Dataset yang digunakan mencakup 3.150 data, yang terdiri atas 2.682 data latih, 468 data uji, dan 84 data validasi. Proses pelatihan dan pengujian dilakukan dengan parameter *batch size* sebesar 50 dan *epoch* sebanyak 50, dengan estimasi waktu rata-rata 7 detik per *epoch* atau total 350 detik. Hasil pelatihan menunjukkan akurasi sebesar 99,88% dengan nilai *loss* 0,21%, sementara pada data uji, akurasi mencapai 96,81% dengan *loss* sebesar 18,06%.

Berdasarkan pengukuran menggunakan metode *confusion matrix*, diperoleh hasil bahwa nilai presisi untuk Tuberkulosis mencapai 90% dan untuk kategori normal sebesar 93%. Sementara itu, nilai *recall* untuk Tuberkulosis adalah 93% dan untuk kategori normal sebesar 90%, dengan rata-rata F1-score sebesar 91%. Pada pengujian menggunakan 468 data uji, program berhasil memprediksi dengan benar sebanyak 425 citra X-ray, sedangkan 43 citra lainnya salah diklasifikasikan. Secara rinci, terdapat 217 citra X-ray Tuberkulosis dan 208 citra X-ray normal yang berhasil diklasifikasikan dengan tepat, sedangkan 17 citra Tuberkulosis dan 26 citra normal salah diklasifikasikan. Berdasarkan hasil tersebut, akurasi keseluruhan yang diperoleh adalah sebesar 91%.

## Saran

Beberapa saran untuk pengembangan penelitian terkait implementasi Tuberkulosis menggunakan metode *Convolutional Neural Network* mencakup beberapa aspek. Disarankan untuk menambahkan tahap pra-pemrosesan dataset guna memperkaya kualitas data yang dapat memengaruhi tingkat akurasi model. Penelitian selanjutnya juga diharapkan memanfaatkan jumlah dataset yang lebih besar, karena hal ini dapat meningkatkan kemampuan model dalam memprediksi citra dengan lebih akurat. Selain itu, penggunaan spesifikasi komputer yang lebih tinggi direkomendasikan agar proses pelatihan dapat berlangsung lebih cepat. Melakukan lebih banyak eksperimen pada model CNN juga diharapkan dapat meningkatkan kinerja model. Terakhir, pengembangan program menjadi aplikasi siap pakai, baik dalam bentuk aplikasi seluler maupun berbasis web, dapat menjadi langkah yang signifikan untuk implementasi praktis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Azzahra, I. A. A., & Setiawan, A. (2024). INOVASI TEKNOLOGI AI DALAM DETEKSI DINI TUBERKULOSIS DENGAN KECERDASAN BUATAN. *Multilingual: Journal of Universal Studies*, 4(2), 281-297.
- Ula, M., Zulfikri, A., Ulva, A. F., & Rizal, R. A. (2023). Penerapan Machine Learning Clustering K-Means dan Linear Regression Dalam Penentuan Tingkat Resiko Tuberkulosis Paru. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 12(1).  
<https://doi.org/10.33022/ijcs.v12i1.3162>
- Hidayat, Taufik. 2020. Klasifikasi Penyakit Pneumonia Pada Citra x-ray Menggunakan Metode Convolutional Neural Network. Skripsi. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- Sari, R., Minarno, A. E., & Azhar, Y. (2022). Implementasi Jaringan CNN-LSTM Untuk Deteksi Citra X-Ray Dada Covid-19. *Jurnal Repositor*, 4(4).  
<https://doi.org/10.22219/repositor.v4i4.32290>
- Khairi, M. Y., Sampetoding, E. A. M., & Pongtambing, Y. S. (2024). Studi Literatur Penerapan Deep Learning dalam Analisis Citra Medis di Indonesia. *HealthSense: Journal of Public Health Perspective*, 1(1), 15-24.

- Yopento, J., & Ernawati, E. (2022). Identifikasi Pneumonia Pada Citra X-Ray Paru-Paru Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN) Berdasarkan Ekstraksi Fitur Sobel. *Rekursif: Jurnal Informatika*, 10(1), 40-47. <https://doi.org/10.33369/rekursif.v10i1.17247>
- Ayumi, V., & Nurhaida, I. (2021). Klasifikasi Chest X-Ray Images Berdasarkan Kriteria Gejala Covid-19 Menggunakan Convolutional Neural Network. *JSAI (Journal Sci. Appl. Informatics)*, 4(2), 147-153. <https://doi.org/10.36085/jsai.v4i2.1513>
- Wiratama, A. S., Rifqi, M., & Maesaroh, S. (2023). Efektivitas Transfer Learning Dalam Pendeteksian Penyakit Pneumonia Melalui Citra X-Ray Paru Manusia. *Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 7(1), 43-52. <https://doi.org/10.47080/saintek.v7i1.2551>
- Hilmi, N., & Saputra, W. A. (2023). Implementasi HE, AHE, dan CLAHE Pada Metode Convolutional Neural Network untuk Identifikasi Citra X-Ray Paru-Paru Normal atau Terinfeksi Covid19. *Edu Komputika Journal*, 10(1), 1-9. <https://doi.org/10.15294/edukomputika.v10i1.57237>
- Septhyan, S., Magdalena, R., & Pratiwi, N. K. C. (2023). Deep Learning Untuk Deteksi Covid-19, Pneumonia, Dan Tuberculosis Pada Citra Rontgen Dada Menggunakan CNN Dengan Arsitektur Alexnet. *eProceedings of Engineering*, 9(6).
- DASTUR, D. P. Identifikasi Penyakit Tuberculosis Melalui Hasil Citra X-RAY Menggunakan Deep Learning Convolutional Neural Network.
- Amir, S. B. H., Akbar, S. N. A. F., Hendra, H., Anwar, A. M., & Sulfayanti, S. (2023). Deteksi Citra X-Ray Paru-Paru Terinfeksi COVID-19 dengan Algoritma CNN berbasis Aplikasi Web. *Informatika Mulawarman: Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 17(1), 37-41.
- Alimi, A. A., Adriansyah, A. R., & Prima, P. (2024). Pengembangan Sistem Deteksi Tuberculosis pada Citra X-Ray Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN) dengan Framework Laravel. *Jurnal Informatika Terpadu*, 10(2), 165-171. <https://doi.org/10.54914/jit.v10i2.1437>