

**LAPORAN AKHIR PENELITIAN
DANA MANDIRI**



**IMPLEMENTASI ALGORITMA CONVOLUTIONAL
NEURAL NETWORK UNTUK KLASIFIKASI CITRA X-
RAY PARU-PARU DALAM SISTEM APLIKASI
PENDETEKSI TUBERKULOSIS**

Muhamad Soleh, M.Kom	0302128902	Ketua
Dandi Rifaldi A.	1151800072	Anggota

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA

INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA

Agustus 2024

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network untuk Klasifikasi Citra X-ray Paru-paru dalam Sistem Aplikasi Pendeteksi Tuberkulosis

Jenis Penelitian : Terapan

Bidang Penelitian : Engineering and Technology

Tujuan Sosial Ekonomi : Tidak ada

TKT (Tingkat Kesiapterapan Teknologi) : 8

Peneliti

a. Nama Lengkap : Muhamad Soleh M.Kom

b. NIDN : 0302128902

c. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli

d. Program Studi : Teknik Informatika

e. Nomor HP : +6281321301463

f. Alamat Surel (*e-mail*) : muhamad.soleh@iti.ac.id

Anggota Mahasiswa

a. Nama Lengkap : Dandi Rifaldi Aldianayah

b. NRP : 1151800072

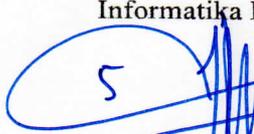
Institusi Sumber Dana : Mandiri

Biaya Penelitian : Rp. 12,000,000

Kerjasama Mitra : Tidak ada

Kota Tangerang Selatan, 23 Agustus
2024

Mengetahui,
Program Studi Teknik
Informatika Ketua



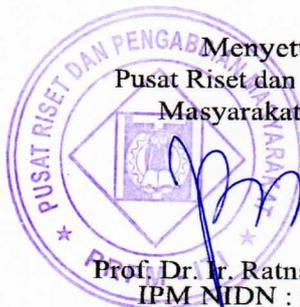
Muhamad Soleh S.Si.
M.Kom NIDN :
0302128902

Ketua Tim



Muhamad Soleh S.Si.
M.Kom NIDN :
0302128902

Menyetujui,
Pusat Riset dan Pengabdian
Masyarakat Kapala



Prof. Dr. Ir. Ratnawati M.Eng Sc.
IPM NIDN : 0301036303



INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA

Jl. Raya Puspipitek, Tangerang Selatan - 15314
(021) 7562757

www.iti.ac.id [@institutteknologiindonesia](https://www.instagram.com/institutteknologiindonesia) [@kampusITI](https://www.facebook.com/kampusITI) [Institut Teknologi Indonesia](https://www.youtube.com/channel/UC...)

SURAT TUGAS No. : 026/ST-PLT/PRPM-PP/ITV/2024

Pertimbangan : Bahwa dalam rangka melaksanakan kegiatan Penelitian bagi Dosen Program Studi Informatika Institut Teknologi Indonesia, perlu dikeluarkan surat tugas.

Dasar : 1. Pembebanan Tugas dosen Program Studi Informatika;
2. Surat Permohonan Tanggal 27 Mei 2024;
3. Kepentingan Institut Teknologi Indonesia.

DITUGASKAN

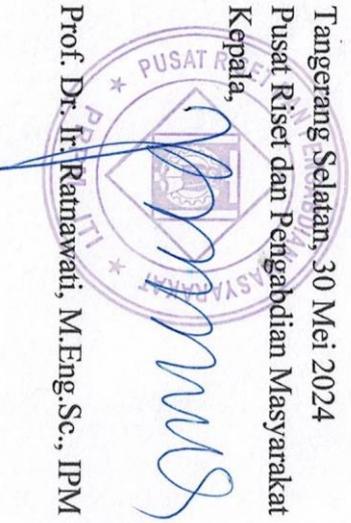
Kepada : Dosen Program Studi Informatika – ITI (Terlampir)

Untuk : 1. Melaksanakan kegiatan Penelitian pada Semester Genap Tahun Akademik 2023/2024;
2. Melaporkan hasil tugas kepada Kepala PRPM-ITI;
3. Dilaksanakan dengan penuh rasa tanggung jawab.

Tangerang Selatan, 30 Mei 2024

Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Kepala,

Prof. Dr. Ir. Ratnawati, M.Eng.Sc., IPM



Tembusan Yth.
1. Wakil Rektor Bid Akademik, Penelitian
dan Kemahasiswaan
2. Ka. Biro SDMO
3. Ka. Prodi Informatika
4. Arsip

Lampiran Surat Tugas
No. 026/ST-PLT/PRPM-PP/ITI/V/2024
Tanggal 27 Mei 2024

DAFTAR PENELITIAN DOSEN PROGRAM STUDI INFORMATIKA SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK: 2023/2024

REVISI 12 Agustus 2024

NO	TOPIK PENELITIAN	BIDANG	SUSUNAN TIM	SUMBER DANA	JUMLAH DANA (Rp)	KETERLIBATAN PRODI/INSTITUSI LAIN	KETERLIBATAN MAHASISWA
1	Electronic Voting (e-voting) as Decentralized Application on the Vexanium Blockchain	Engineering and Technology	Ketua: Suryo Bramasto, S.T., M.T Anggota: Dra. Endang Ratnawati Djuwitaningrum, M.Kom	Mandiri	10.000.000	Vexanium	Sandriana Fabia Savitri (NRP: 1151600048)
2	Implementasi Sistem Informasi Geografis pada Marketplace Toko Sembako	Engineering and Technology	Ir. Sumiarti Andri, M.Kom	Mandiri	10.000.000	Tidak Ada	Fardi Khalik (NRP: 115200033)
3	Platform Pembelajaran Online di Masa Pandemi Covid-19	Engineering and Technology	Ketua: Ir. Yustina Sri Suharni, S.T., M.T Anggota: Muhamad Ramli, S.T., M.Kom	Mandiri	10.000.000	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Penerapan Metode User Centered Design pada Pengembangan Front-End Platform Pembelajaran Berbasis Website PT. Bisa Artifisial Indonesia	Engineering and Technology	Melani Indriasari, S.T., M.Kom	Mandiri	10.000.000	PT. Bisa Artifisial Indonesia	Bimo Tri Darmawan (NRP: 1151900038)
5	Pengembangan Model Generasi Lirik Lagu Otomatis dengan Large Language Model	Engineering and Technology	Dino Hariatma Putra, S.T., M.Kom	Mandiri	10.000.000	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Pemanfaatan Kulit Salak Pondoh (<i>Salacca zolacca</i>) sebagai Minuman Kesehatan	Engineering and Technology	Ketua: Ir. Muhami, M.Si., IPM Anggota: 1. Ir. Darti Nurani, M.Si., IPM 2. Ir. Syahril Makosim, M.Si., IPM 3. Prof. Dr. Ir. Suhendar I. Sachmoemar, M.Si 4. Dra. Indrati Sukmadi, M.Sc	Institut Teknologi Indonesia (ITI)	10.000.000	Prodi Teknologi Industri Pertanian (TIP) ITI	Tidak Ada
7	Implementasi Machine Learning dalam Membangun Sistem Pakar Diagnosis	Engineering and Technology	Ketua: Dra. Sulistyowati, M.Kom Anggota: Sunarto, S.Kom, M.Kom	Mandiri	10.000.000	Tidak Ada	Umar Khoiril Afif (NRP: 1152000081)
8	Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network untuk Klasifikasi Citra X-ray Paru-paru dalam Sistem Aplikasi Pendeteksi Tuberkulosis	Engineering and Technology	Muhamad Soleh, S.Si., M.Kom	Institut Teknologi Indonesia (ITI)	12.000.000	Tidak Ada	Dandi Rifaldi Aldiansyah (NRP: 1151800072)
9	Pendekatan AI dan Data Sains dalam Bencana Geo-Hidrometeorologi di Sumatera Utara	Engineering and Technology	Ir. Yustina Sri Suharni, S.T., M.T	Mandiri	10.000.000	PSPPi & BMKG	Marzuki Sinambela (NRP: 2202400118)

Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Institut Teknologi Indonesia
Kepala



Prof. Dr. Ir. Ratnawati, M.Eng.Sc., IPM

ABSTRAK

Tuberkulosis merupakan suatu penyakit infeksi berbahaya mematikan pada paru-paru dan disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang dapat menular melalui udara ketika seorang penderita tuberkulosis batuk, bersin, atau meludah dan dapat menyebabkan gangguan pernapasan, seperti batuk kronis dan sesak napas. Didunia, sekitar 10 juta orang lebih setiap tahun terjangkit penyakit ini, sementara di Indonesia sendiri pada tahun 2020 terdapat 390.000 lebih kasus tuberkulosis. Pada diagnosisnya sering terlalu subjektif dalam mendeteksi tuberkulosis, tak jarang juga terjadi perdebatan antara tenaga medis atau dokter untuk menetapkan pasien terinfeksi tuberkulosis. Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi *computer vision* yang dapat mendeteksi secara akurat dan cepat. Algoritma CNN yang termasuk jenis *Deep Learning* yang banyak diterapkan pada klasifikasi citra dan dapat mengungguli metode lainnya dapat dijadikan metode dalam mendeteksi citra. Maka, dalam penelitian ini dilakukan analisis model dan klasifikasi tuberkulosis dengan algoritma CNN menggunakan data citra *X-ray* paru-paru manusia. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah CRIPS-DM dan dilakukan perbandingan 3 model CNN dengan jumlah *hidden layers* yang berbeda. Sebelum komputer melatih data, data tersebut diolah terlebih dahulu pada tahapan *data preparation* yang diantaranya mengubah ukuran atau *resize*, merubah citra menjadi keabuan atau *grayscale*, dan *data augmentation*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model dengan 5 *hidden layers* merupakan model terbaik yang berhasil mendapatkan tingkat akurasi hingga 98%. Selanjutnya, hasil dari model terbaik tersebut diimplementasikan pada sistem aplikasi pendeteksi tuberkulosis berbasis *website* yang dapat menganalisis citra *X-ray* paru-paru dan mengeluarkan hasil klasifikasi dengan cepat dan akurat.

Kata Kunci: Tuberkulosis, Klasifikasi, X-ray, CNN, CRISP-DM

ABSTRACT

*Tuberculosis is a deadly infectious disease of the lungs caused by the bacteria *Mycobacterium tuberculosis* that can be transmitted through the air when a person with tuberculosis coughs, sneezes, or spits and can cause respiratory problems, such as chronic cough and shortness of breath. More than 10 million people are infected every year worldwide, while in Indonesia in 2020, there were more than 390,000 cases of tuberculosis. The diagnosis is often too subjective in detecting tuberculosis, and it is not uncommon for debates to occur between medical personnel or doctors to determine whether a patient is infected with tuberculosis. Therefore, computer vision technology is needed that can detect accurately and quickly. CNN algorithm which is a type of Deep Learning that is widely applied in image classification and can outperform other methods can be used as a method in detecting images. So, in this study, the model analysis and classification of tuberculosis with CNN algorithm using X-ray image data of human lungs were conducted. In this research, the method used is CRIPS-DM and a comparison of 3 CNN models with different number of hidden layers is conducted. Before the computer trains the data, the data is processed first at the data preparation stage which includes resizing, grayscaling, and data augmentation. The results of this research show that the model with 5 hidden layers is the best model that managed to get an accuracy rate of up to 98%. Furthermore, the results of the best model are implemented in a web-based tuberculosis detection application system that can analyse lung X-ray images and output classification results quickly and accurately.*

Keywords: Tuberculosis, Classification, X-ray, CNN, CRISP-DM

DAFTAR ISI

Contents

ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 <i>State of Art</i>	4
BAB 2 LANDASAN TEORI	10
2.1 Tuberkulosis	10
2.2 <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	12
2.2.1 <i>Feature Extraction Layer</i>	12
2.3 <i>Cross-Industry Standard Process for Data Mining</i>	15
2.3.1 <i>Business Understanding</i>	16
2.3.2 <i>Data Understanding</i>	16
2.3.3 <i>Data Preparation</i>	17
2.3.4 <i>Modelling</i>	17
2.3.5 <i>Evaluation</i>	17
2.3.6 <i>Deployment</i>	17
BAB 3 METODE PENELITIAN	18
3.1 <i>Business Understanding</i>	18
3.1.1 <i>Problem Statements</i>	18
3.1.2 <i>Goals</i>	19
3.1.3 <i>Solution Statements</i>	19
3.2 <i>Data Understanding</i>	19
3.2.1 <i>Data Collecting</i>	19
3.2.2 Deskripsi Data	19
3.3 <i>Data Preparation</i>	21
3.3.1 <i>Resize</i>	21
3.3.2 <i>Grayscale</i>	21
3.3.3 <i>Data Augmentation</i>	22
3.3.4 Pembagian Data.....	23
3.4 <i>Modelling</i>	24
3.4.1 Arsitektur CNN.....	24
3.5 <i>Evaluation</i>	31
3.6 <i>Deployment</i>	31
3.6.1 Perancangan Aplikasi	32
3.6.1.1 Perancangan Tampilan Awal.....	32
3.6.1.2 Perancangan Tampilan Informasi Tuberkulosis	33
3.6.1.3 Perancangan Tampilan Bagian Prediksi	33
BAB 4.....	34
4.1 Hasil Uji Perbandingan.....	34
4.1.1 Akurasi Model	34
4.2 Implementasi Aplikasi.....	37
4.2.1 Tampilan Awal Aplikasi.....	37

4.2.2	Tampilan Informasi Tuberkulosis.....	38
4.2.3	Tampilan Bagian Prediksi	38
BAB 5 PENUTUP		40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40
DAFTAR REFERENSI		42

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tuberkulosis merupakan suatu penyakit berbahaya dan mematikan yang menginfeksi paru-paru dan disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang dapat menular melalui udara ketika seorang penderita tuberkulosis batuk, bersin, atau meludah. Bakteri tuberkulosis yang menyerang paru-paru dapat menyebabkan gangguan pernapasan, seperti batuk kronis dan sesak napas. Secara global, penyakit tuberkulosis di seluruh dunia diperkirakan mencapai angka 10 juta kasus penderita pada tahun 2020 (WHO, 2020). Sedangkan Di Indonesia sendiri terdapat 393.323 kasus tuberkulosis yang dilaporkan oleh Kementerian Kesehatan (Kemenkes) pada tahun 2020, sehingga Indonesia menempati urutan ketiga dunia kasus tuberkulosis terbanyak setelah India dan China.

Penyakit tuberkulosis dapat disembuhkan, namun apabila terlambat dalam penanganannya dapat meningkatkan resiko kematian. Dalam mendiagnosis penyakit ini umumnya dilakukan adalah melakukan *rontgen* dengan *X-ray* pada bagian dada pasien. Pada data citra *X-ray* seorang ahli dapat melihat dan mempertimbangkan untuk mengetahui apakah seorang pasien terjangkit penyakit tuberkulosis. Untuk melakukan diagnosa terhadap penderita tuberkulosis berdasarkan citra *X-ray* perlu dilakukan secara akurat dan cepat sangat penting dalam upaya pencegahan penyakit tersebut. Permasalahan yang terjadi adalah diagnosa penyakit tuberkulosis masih dilakukan secara manual, hal ini menyebabkan akurasi yang kurang baik dan subjektif. Perbedaan persepsi antar dokter dapat menyebabkan hasil diagnosa yang berbeda. Sehingga dibutuhkan teknologi yang dapat membantu dokter serta tenaga kesehatan dalam menganalisa citra *X-ray* dengan cepat dan akurat dengan menggunakan teknologi informasi berbasis komputer dan data.

Beberapa teknologi yang dapat digunakan untuk mendiagnosa penyakit tuberkulosis diantaranya adalah *computer vision* dan *deep learning* yang saat ini sudah berkembang dapat dimanfaatkan di berbagai bidang termasuk bidang kesehatan. Kedua metode tersebut banyak digunakan dalam berbagai penelitian untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan berbagai penyakit seperti batu ginjal *pneumonia*, kanker kulit. Dalam kasus tuberkulosis, pengklasifikasian menggunakan *computer vision* dan data citra *X-ray* telah dilakukan oleh Firman

Rizky Santoso pada tahun 2020, penelitian tersebut menggunakan metode *Fuzzy K-nearest Neighbors* (FK-NN). Metode ini merupakan penggabungan dari algoritma *fuzzy logic* dan *k-Nearest Neighbors*. Selain menggunakan metode FK-NN, penelitian yang lain, adalah penelitian yang dilakukan oleh Sri Anggraeni Nasution pada tahun 2019, penelitian tersebut menggunakan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) dengan data gambar *X-ray*.

Dalam pengolahan data dua dimensi, algoritma CNN yang merupakan pengembangan dari *Multi-Layer Perceptron* dan termasuk jenis *Deep Neural Network* sangat populer digunakan dalam klasifikasi data citra dan terbukti mengungguli metode lainnya seperti *Support Vector Machine* (SVM) pada kasus klasifikasi data citra (Zufar & Setiyono, 2016). Algoritma CNN menggunakan sebuah jaringan dari sekelompok unit pemroses kecil yang dimodelkan berdasarkan jaringan saraf manusia sehingga dapat mengklasifikasikan data citra dengan cepat dan akurat. Maka dari itu, algoritma CNN dipilih sebagai metode dalam penelitian ini. Selanjutnya, pada penelitian ini penulis akan mengembangkan sebuah sistem pendeteksi citra *X-ray* dengan tuberkulosis menggunakan algoritma CNN. Sistem yang dikembangkan akan menghasilkan suatu model berformat .h5 dan diimplementasikan pada halaman *website* prediksi tuberkulosis.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang disebutkan sebelumnya, masalah utama yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana mengimplementasikan algoritma *Convolutional Neural Network* dalam membangun sistem pendeteksi dini penyakit tuberkulosis?
- Bagaimana penerapan algoritma *Convolutional Neural Network* dalam mengklasifikasikan citra *X-ray* paru-paru penderita dan bukan penderita penyakit tuberkulosis?
- Bagaimana model yang dihasilkan dapat digunakan dalam *web deployment*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dari penulisan tugas akhir ini, yaitu:

- Memahami cara kerja algoritma *Convolutional Neural Network* dalam mendeteksi citra *X-ray* paru-paru penderita maupun bukan penderita tuberkulosis.
- Memahami penerapan dan implementasi algoritma *Convolutional Neural Network* dalam proses *training* pada sistem pendeteksi tuberkulosis.
- Memahami cara untuk mengkonversi model *Convolutional Neural Network* kedalam format *.h5* agar model yang dihasilkan dapat diimplementasikan pada *web deployment*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

- Dengan adanya model yang dibuat dapat membantu mengklasifikasi penyakit tuberkulosis berdasarkan citra *X-ray* paru-paru manusia.
- Menjadi referensi dalam pengembangan teknologi terutama dalam bidang *image processing*.
- Mengetahui kemampuan algoritma *Convolutional Neural Network* dalam mengklasifikasi citra *X-ray* paru-paru.

1.5 Batasan Masalah

Agar pengerjaan tugas akhir ini menjadi lebih terarah dan mendapatkan hasil yang lebih spesifik, maka sistem yang dirancang akan dibatasi dalam batasan masalah sebagai berikut:

- *Dataset* yang digunakan dalam pembuatan model *machine learning* ini adalah *dataset opensource* yang diakses melalui situs Kaggle.
- Data citra *X-ray* yang akan diklasifikasikan sebanyak 2 kelas, yaitu tuberkulosis dan normal sebagai pembanding jika penyakit tidak terklasifikasi.
- Hasil dari sistem ini adalah sebuah model yang berformat *.h5* yang selanjutnya akan diimplementasikan pada aplikasi sistem pendeteksi berbasis *website*.

1.6 State of Art

Dalam penelitian ini, diambil beberapa referensi dari penelitian terdahulu termasuk beberapa jurnal yang berhubungan dengan penelitian ini. Referensi dari beberapa jurnal beserta pembahasannya terdapat pada Tabel 1.1 berikut ini.

Tabel 1.1 *State of Art*

Judul Jurnal	Pembahasan
Deteksi Penyakit Pneumonia dan Covid-19 Menggunakan Citra X-ray dengan Metode <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN) Model <i>GoogleNet</i>	<u>Hasil Penelitian:</u> Penelitian ini membahas bagaimana algoritma CNN (<i>Convolutional Neural Network</i>) dan arsitektur <i>GoogleNet</i> dapat bekerja secara baik dalam klasifikasi citra X-ray paru manusia dalam kasus pneumonia dan covid-19.
Peneliti M. Syaifulloh Fattah	
Lokasi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya	<u>Alasan Menjadi Tinjauan</u>
Tahun 2021	<u>Penelitian:</u> Dengan melihat tingkat akurasi yang tinggi yaitu 97.22% dan dengan pembagian data 80% <i>training</i> dan 20% <i>testing</i> dari 900 data (300 covid-19, 300 normal, dan 300 pneumonia), sehingga penelitian ini menjadikan langkah awal dalam pendalaman algoritma CNN (<i>Convolutional Neural Network</i>) hingga akhirnya dijadikan metode dalam pengembangan sistem ini.
Nama Jurnal <i>Digital Library</i> UIN Sunan Ampel Surabaya	

Klasifikasi Citra X-ray Tuberkulosis Paru Menggunakan Fuzzy K-Nearest Neighbor

Penulis

Firman Rizki Santoso

Tahun

2020

Tempat

Universitas Airlangga

Jurnal

Universitas Airlangga Repository

Hasil Penelitian:

Penelitian ini membahas bagaimana algoritma FK-NN (*Fuzzy K-Nearest Neighbor*) dapat mengklasifikasi citra X-ray paru manusia dalam kasus tuberkulosis dengan membandingkan nilai k pada klasifikasinya.

Alasan Menjadi Tinjauan

Penelitian:

Penelitian menggunakan data citra X-ray dan mengangkat studi yang sama yaitu tuberkulosis. Tingkat akurasi tertinggi adalah 87.5% sehingga dapat menjadi pertimbangan pemilihan algoritma yang dipilih dalam pembuatan sistem.

Klasifikasi Penyakit Tuberkulosis (TB) Organ Paru Manusi Berdasarkan Citra X-ray Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN)

Penulis

Sri Anggraeni Nasution

Tahun

2019

Tempat

Universitas Sumatera Utara

Jurnal

Hasil Penelitian:

Penelitian ini membahas algoritma CNN (*Convolutional Neural Network*) dalam kasus deteksi tuberkulosis pada citra X-ray dengan proses pengolahan citra *pre-image processing* (*greyscale, scaling, contrast*), segmentasi, dan binerisasi. Pada proses training penelitian membandingkan jumlah *epochs, learning rate* serta *hidden node*. Penelitian ini diimplementasikan kedalam aplikasi klasifikasi tuberkulosis berbasis desktop.

Alasan Menjadi Tinjauan

Penelitian:

Penelitian mengangkat studi kasus tuberkulosis dengan algoritma yang sama serta penerapan *pre-image processing*, segmentasi, dan binerisasi dapat dijadikan pengetahuan tentang pengolahan citra untuk metode CNN (*Convolutional Neural Network*) serta perbandingan *epochs*, *learning rate*, dan *hidden note* yang menjadi pebelajaran agar tingkat akurasi pada sistem sesuai dengan yang diinginkan.

Analisa Performa Pre-Trained Model Convolutional Neural Network dalam Mendeteksi Penyakit Tuberkulosis

Penulis

Ovy Rochmawanti, Firti
Utamingrum, Fitria A. Bachtiar

Tahun

2021

Tempat

Universitas Brawijaya

Jurnal

Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu
Komputer (JTIK)

Hasil Penelitian:

Penelitian ini membandingkan enam arsitektur pre-trained model algoritma CNN (*Convolutional Neural Network*) diantaranya, *ResNet50*, *DenseNet121*, *MobileNet*, *InceptionResNetV2*, *InceptionV3*, dan *Xception* dalam mendeteksi tuberkulosis pada data rontgen dengan ukuran yang berbeda-beda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model CNN dengan *DenseNet121* memiliki tingkat akurasi tertinggi (91,57%) pada ukuran gambar 128x128 dan 150x150.

	<p><u>Alasan Menjadi Tinjauan</u></p> <p><u>Penelitian:</u></p> <p>Penelitian mengangkat studi kasus tuberkulosis dengan berbagai macam arsitektur dan dapat dijadikan pengetahuan tentang perbandingan arsitektur model CNN.</p>
<p>Penerapan Metode <i>Convolutional Neural Network</i> pada Aplikasi Deteksi Wajah Pengunjung Perpustakaan</p> <p>Penulis</p> <p>Ricky Adytya P., Sentot Achmadi, Karina Auliasari</p> <p>Tahun</p> <p>2022</p> <p>Tempat</p> <p>Institut Teknologi Nasional Malang</p> <p>Jurnal</p> <p>Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika</p>	<p><u>Hasil Penelitian:</u></p> <p>Penelitian ini membahas algoritma CNN (<i>Convolutional Neural Network</i>) dalam <i>face recognition</i> untuk pengunjung perpustakaan. Penelitian ini diimplementasikan kedalam sistem aplikasi perpustakaan berbasis web.</p> <p><u>Alasan Menjadi Tinjauan</u></p> <p><u>Penelitian:</u></p> <p>Penelitian menggunakan algoritma CNN dan diimplementasikan kedalam sistem aplikasi berbasis website yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan sistem yang akan dibangun dengan data gambar.</p>
<p>Gambaran Komplikasi Penyakit Tuberkulosis Berdasarkan Kode <i>International Classification of Disease 10</i></p> <p>Penulis</p> <p>Rita Dian Pratiwi</p>	<p><u>Hasil Penelitian:</u></p> <p>Penelitian ini membahas komplikasi TB berdasarkan kode ICD 10. Desain penelitian ini adalah deskriptif dengan menggunakan metode <i>cross sectional</i>. Sampel penelitian berasal dari 309 data rekam medis pasien TB tahun 2015-</p>

<p>Tahun 2020</p> <p>Tempat Universitas Gadjah Mada</p> <p>Jurnal Jurnal Kesehatan Al-Irsyad</p>	<p>2018 di RSUD Wates yang diambil secara <i>simple random sampling</i> dengan mengambil sampel pada nomor rekam medis genap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 64 jenis komplikasi (diagnosa lain) yang diderita pasien TB, ditemukan lima penyakit penyerta yang paling banyak diderita terkait dengan Diabetes Mellitus (12,17%), Anemia (10,53%), Malnutrisi (9,73%), gangguan hati & PPOK akibat obat (8.17%), serta <i>Bronchitis</i> dan <i>Pneumothorax</i> (7.58%).</p>
---	--

Alasan Menjadi Tinjauan

Penelitian:

Penelitian ini membantu menambah wawasan tentang seputar resiko dan pencegahan tuberkulosis yang akan dijadikan rujukan dalam pembuatan aplikasi.

<p>Analisis dan Penerapan Algoritma Convolutional Neural Network untuk Klasifikasi Kendaraan Prioritas</p> <p>Penulis Rijal Abdulhakim, Carudin, Budi Arif Dermawan</p> <p>Tahun</p>	<p><u>Hasil Penelitian:</u></p> <p>Penelitian ini melakukan analisis model klasifikasi untuk jenis kendaraan pemadam kebakaran, ambulans / mobil jenazah, dan kendaraan non-prioritas dengan menerapkan algoritma CNN menggunakan data video dari CCTV yang dikelola oleh ATCS Kota</p>
---	--

2021	Bandung. Pada penelitian ini terdapat 5
Tempat	skenario berbeda dimana skenario
Universitas Singaperbangsa Karawang	tersebut dibedakan dengan
Jurnal	menggunakan metode <i>holdout</i> dalam
Jurnal Sainsy dan Informatika	pembagian data dan evaluasi model.

Alasan Menjadi Tinjauan

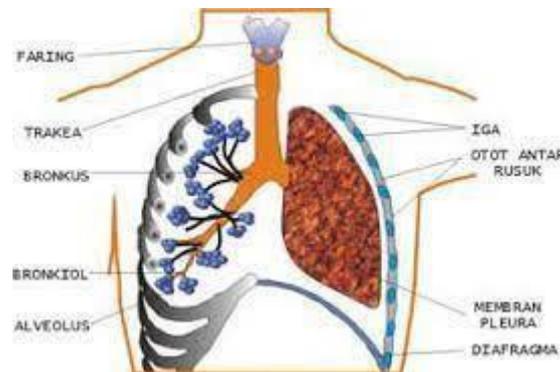
Penelitian:

Penelitian menggunakan algoritma CNN dan pembahasannya menggunakan metode CRISP-DM (*Cross Industry Standard Process for Data Mining*) sebagai acuan dan pembelajaran dalam menuliskan penelitian.

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Tuberkulosis

Paru-paru adalah organ dalam sistem pernapasan manusia yang digunakan untuk menyediakan oksigen ke seluruh tubuh dan mengeluarkan karbondioksida. Seperti pada Gambar 2.1, paru-paru manusia terdiri dari dua buah paru-paru yang terdapat pada bagian dada manusia yang dihubungkan dengan trakea, bronkus dan aveoli. Paru-paru juga merupakan salah satu organ vital pada tubuh manusia yang dapat dengan mudah terjangkit penyakit, virus, atau bakteri yang salah satunya adalah tuberkulosis.



Gambar 2.1 Bagian Paru-paru Manusia

Tuberkulosis merupakan suatu penyakit infeksi berbahaya mematikan yang umumnya menginfeksi paru-paru. Tuberkulosis disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang dapat menyebar dan menular melalui udara ketika seorang yang terinfeksi tuberkulosis batuk, bersin, atau meludah. Bakteri tuberkulosis yang menyerang paru-paru dapat menyebabkan gangguan pernapasan, seperti batuk kronis yang disertai dengan dahak bahkan flek darah, dan sesak napas. Selain itu, tuberkulosis juga dapat menyebabkan gejala lain seperti demam tinggi, kehilangan berat badan, nafsu makan yang buruk, serta kelelahan yang berkepanjangan. Jika tidak segera diobati, infeksi tuberkulosis dapat menyebar ke seluruh paru-paru dan menyebabkan kerusakan permanen pada jaringan paru-paru yang dapat menyebabkan komplikasi seperti timbulnya *pneumonia*, abses paru, atau

jika bakteri tuberkulosis menyebar ke organ lain seperti tulang, ginjal, dan otak dapat menyebabkan komplikasi hingga kematian.

Secara global, penyakit tuberkulosis di seluruh dunia diperkirakan mencapai angka 10 juta kasus penderita pada tahun 2020 dan menjadi salah satu penyebab utama kematian akibat infeksi. Setiap tahun, sekitar 10 juta lebih orang terdiagnosis tuberkulosis dan sekitar 1,4 juta orang meninggal karena penyakit ini (WHO, 2020). Sedangkan di Indonesia sendiri terdapat 393.323 lebih kasus tuberkulosis yang dilaporkan oleh Kementerian Kesehatan (Kemenkes) pada tahun 2020, sehingga Indonesia menempati urutan ketiga dunia kasus tuberkulosis terbanyak setelah India dan China. Dalam penanggulangannya, *World Health Organization* (WHO) telah merencanakan strategi '*End Tuberculosis*' yang merupakan bagian dari *Sustainable Development Goals*, dengan satu tujuan yaitu mengakhiri epidemi tuberkulosis di seluruh dunia. Visinya adalah dunia bebas tuberkulosis, *zero deaths*, dan *disease and suffering due to Tuberculosis* pada tahun 2030. Pemerintah Indonesia sendiri telah berupaya untuk mengatasi masalah ini melalui program pengendalian dan penanganan tuberkulosis nasional yang diimplementasikan diseluruh wilayah negara dengan menerbitkan Strategi Nasional Penanggulangan Tuberkulosis di Indonesia 2020 – 2024 (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2020).

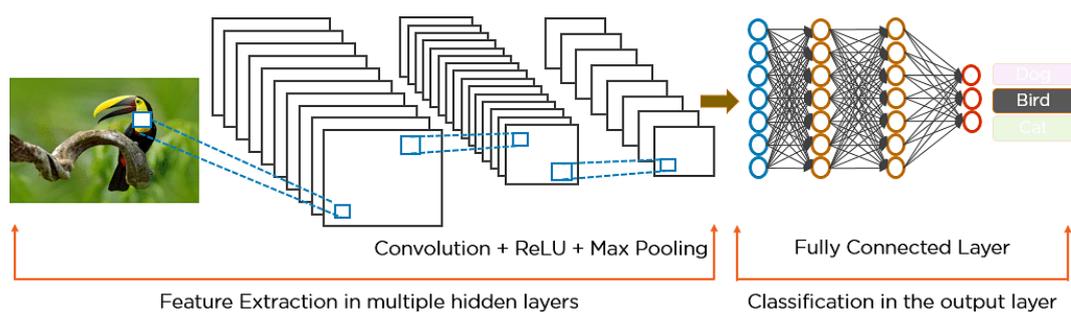
Salah satu cara mendiagnosis penyakit ini umumnya yang dilakukan adalah melakukan foto *rontgen* dengan *X-ray* pada bagian dada pasien tuberkulosis. Pada data citra *X-ray* seorang ahli dapat melihat dan mempertimbangkan untuk mengetahui apakah seorang pasien terjangkit penyakit tuberkulosis. Untuk melakukan diagnosa terhadap penderita tuberkulosis berdasarkan citra *X-ray* perlu dilakukan secara akurat dan cepat sangat penting dalam upaya pencegahan penyakit tersebut. Permasalahan yang terjadi adalah diagnosa penyakit tuberkulosis masih dilakukan secara manual, hal ini menyebabkan akurasi yang kurang baik dan subjektif. Perbedaan persepsi antar dokter serta tenaga medis dapat menyebabkan hasil diagnosa yang berbeda. Sehingga dibutuhkan teknologi yang dapat membantu dokter serta tenaga kesehatan dalam menganalisa citra *X-ray* dengan cepat dan akurat dengan menggunakan teknologi pengolahan citra berbasis komputer dan data. Salah satu teknologi pengolahan citra yang telah diimplementasikan pada diagnosa

tuberkulosis adalah Identifikasi Bakteri pada Citra Dahak Penderita Tuberkulosis (TBC) Menggunakan Metode *Watershed* (Dirvi Eko & Asih Setiarini, 2017).

2.2 Convolutional Neural Network (CNN)

Convolutional Neural Network atau disingkat CNN merupakan salah satu metode *machine learning* dan tergolong pada teknologi *Deep Learning* yang terinspirasi dari pemahaman Hubel dan Weasel melalui cara kerja pada korteks visual kucing pada tahun 1968. Dimana pada korteks visual memiliki daerah kecil yang terdiri dari beberapa sel yang peka terhadap daerah tertentu. Sel-sel dalam korteks visual hanya aktif pada bentuk dan orientasi objek tertentu pada bidang visual.

Algoritma CNN memiliki struktur dasar yang hampir serupa dengan *Neural Network* (NN) yang pada umumnya memiliki *input layer*, *feature extraction layer* yang terdiri dari beberapa *hidden layer*, dan *classification* atau *output layer* seperti pada Gambar 2.5. Semua *layer* tersebut terdiri dari *neuron* yang berbentuk 3D (lebar, tinggi, kedalaman). Sisi lebar dan tinggi pada *neuron* menggambarkan ukuran dari *layer*, sedangkan sisi kedalaman menggambarkan pada jumlah dari *layer* tersebut (Zufar & Setiyono, 2016). Namun pada CNN, setiap *hidden layer* terdapat bagian yakni *Convolutional Layer*, *Activation Function*, dan *Pooling* serta pada proses *classification* terdapat beberapa bagian seperti *Flatten*, *Dropout*, dan *Fully Connected Layer*.



Gambar 2.5 Ilustrasi Arsitektur CNN

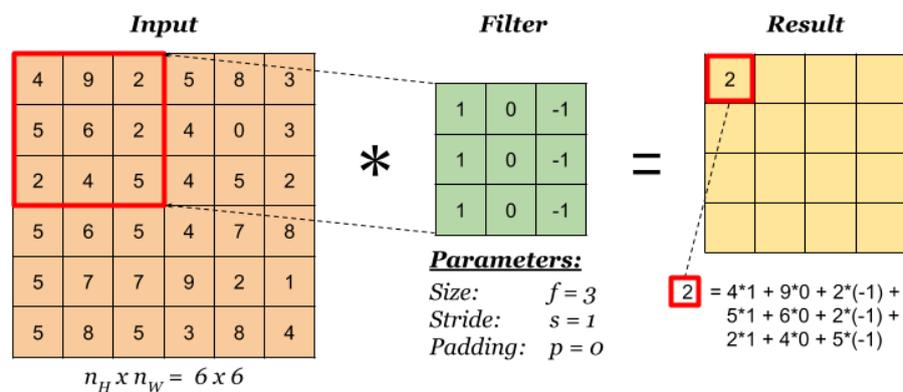
2.2.1 Feature Extraction Layer

Pada proses ini CNN akan mengubah citra menjadi fitur yang berupa nilai-nilai yang dapat mempresentasikan citra tersebut. Proses ini biasa disebut

feature learning yang terdiri dari beberapa *hidden layer* yang saling bekerja sama untuk mengidentifikasi ciri dari citra. Berikut adalah beberapa *layer* beserta penjelasannya.

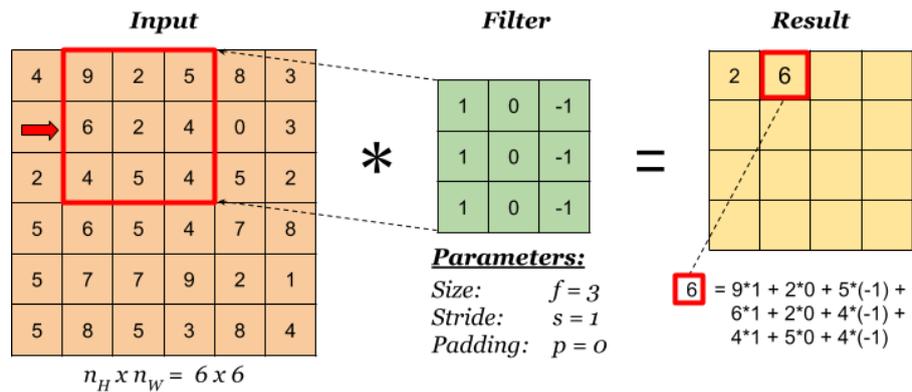
2.2.1.1 Convolutional Layer

Convolutional layer adalah bagian *hidden layer* pada CNN yang melakukan proses konvolusi terhadap *input* maupun *output* dari layer sebelumnya. *Convolutional layer* terdiri dari *neuron* yang membentuk sebuah *filter* dengan panjang dan tinggi (piksel) tertentu yang nantinya akan digeser pada keseluruhan gambar. Dari setiap pergeseran tersebut akan dilakukan operasi ‘dot’ antara *input* maupun *output* layer sebelumnya dengan *filter* sehingga akan menghasilkan nilai tertentu. Berikut pada Gambar 2.6 gambaran dari pengoperasian ‘dot’ antara *input* dengan *filter* pada *convolutional layer* untuk menghasilkan *output* sementara pada iterasi pertama.



Gambar 2.6 Operasi ‘Dot’ Antara *Input* Dengan *Filter* Pada Iterasi Pertama

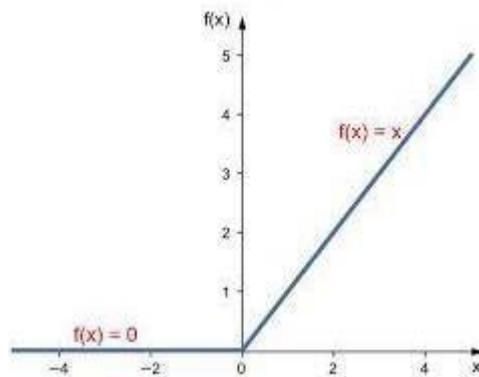
Pada iterasi selanjutnya, proses akan dilakukan pergeseran pada matriks input ke kanan dan akan melakukan pengoperasian ‘dot’ kembali lalu menghitung hasil sementara untuk piksel setelahnya. Pergeseran filter tersebut dapat disebut dengan *stride*. Jumlah *stride* pada satu proses konvolusi umumnya adalah 1, namun banyak juga yang memakai jumlah 2, 3, dan seterusnya untuk mempercepat proses komputasi. Seperti Gambar 2.7 berikut ini yang memiliki stride 1 pada proses konvolusi iterasi kedua.



Gambar 2.7 Operasi 'Dot' Antara Input Dengan Filter Pada Iterasi Kedua

2.2.1.2 Rectifier Linear Unit (ReLU) Activation Function

ReLU layer bertujuan untuk menerapkan fungsi aktivasi terhadap nilai output hasil konvolusi pada convolution layer dengan hasil keluaran dari fungsi aktivasi dinyatakan sebagai 0 (nol) apabila input-nya negatif atau nilai input fungsi aktivasi itu sendiri jika input-nya positif. Berikut pada Gambar 2.8 adalah grafik fungsi aktivasi pada ReLU layer.

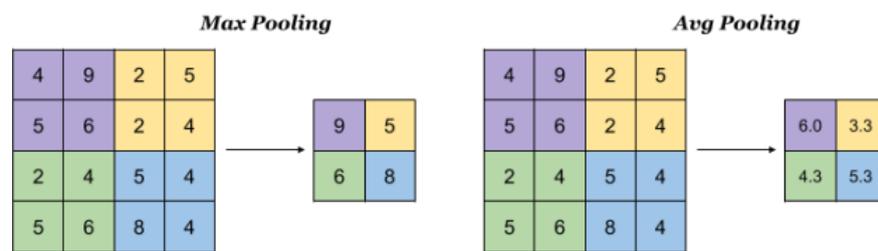


Gambar 2.8 Grafik ReLU Activation Function

2.2.1.3 Pooling Layer

Pooling layer merupakan bagian dari feature extraction layer pada CNN yang berperan untuk mengurangi dimensi dari matriks hasil konvolusi pada convolutional layer. Tujuan dari penggunaan pooling layer adalah untuk mempercepat proses komputasi pada feature extraction layer. Hal ini terjadi karena setelah melewati pooling layer,

parameter yang harus diperbarui semakin sedikit, sehingga resiko terjadinya *overfitting* semakin minim. Sama seperti pada *convolution layer*, *pooling layer* juga memiliki *filter* dengan ukuran tertentu yang dapat melakukan proses *sliding window* terhadap matriks *input* atau matriks *output* layer sebelumnya. Terdapat dua jenis *pooling* yang sering digunakan, yakni *max pooling* dan *average pooling*.

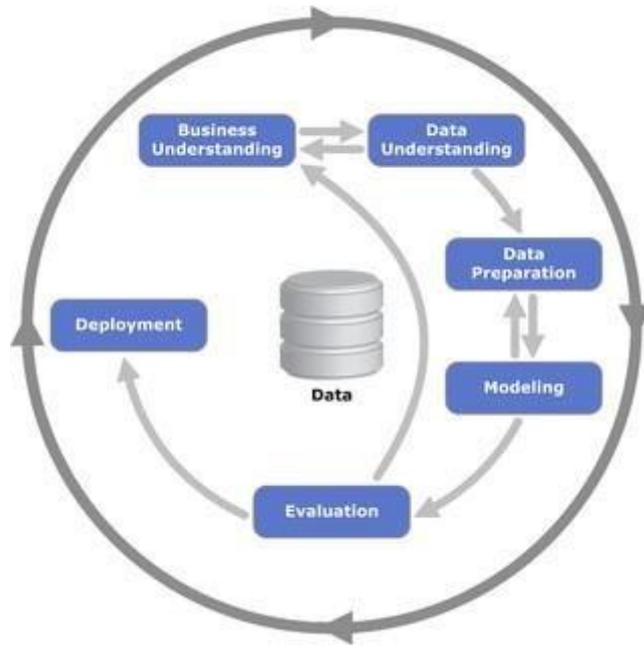


Gambar 2.9 Perbedaan Max Pooling Dengan Average Pooling

Seperti yang dapat diamati pada Gambar 2.9, *max pooling* akan mengambil nilai terbesar dari matriks input berdasarkan cakupan *filter* dari *max pooling*. Sedangkan *average pooling* akan mengambil nilai rata-rata dari matriks input berdasarkan cakupan *filter* *average pooling*. Pada penelitian ini, proses *pooling* yang dilakukan adalah menggunakan *max pooling*.

2.3 Cross-Industry Standard Process for Data Mining

Cross-Industry Standard Process for Data Mining atau singkatan dari CRISP-DM merupakan salah satu metodologi *data mining* yang dirancang oleh himpunan beberapa perusahaan Komisi Eropa pada tahun 1996 dan telah ditetapkan sebagai proses standarisasi dalam *data mining* (Setiawan, 2016). Metode ini sering digunakan karena dianggap sebagai metode dengan teknologi yang netral, industri independen, dan merupakan standar de-facto untuk *data mining*.



Gambar 2.14 Diagram Alur CRISP-DM

Dari Gambar 2.14 dapat dilihat bahwa diagram alur memiliki beberapa tahapan yang akan dijelaskan sebagai berikut.

2.3.1 Business Understanding

Tahapan *business understanding* adalah mencari arah, memahami tujuan dan kebutuhan dari sudut pandang bisnis, kemudian mengartikan pengetahuan ini ke dalam pendefinisian masalah dalam *data mining* yang selanjutnya akan ditentukan rencana dan strategi untuk mencapai tujuan tersebut.

2.3.2 Data Understanding

Tahapan *data understanding* ini dimulai dengan pengumpulan data yang kemudian akan dilanjutkan dengan proses Analisa untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang data yang telah dikumpulkan, mengidentifikasi sebuah masalah kualitas data atau untuk menemukan adanya bagian yang menarik dari data yang dapat digunakan untuk hipotesa didalam informasi yang tersembunyi.

2.3.3 Data Preparation

Data preparation bertujuan untuk mendapatkan data yang baik sehingga meliputi semua langkah dalam mengolah *dataset* akhir yang akan diproses pada tahap *modelling*. Terdapat beberapa proses yang dapat dilakukan pada tahapan ini, salah satunya adalah melakukan *data augmentation* atau *data preprocessing* yang mencakup pemilihan tabel, *record*, dan atribut-atribut data termasuk proses pembersihan dan *transformation data*. Tahapan ini dapat diulang beberapa kali sehingga dapat menghasilkan hasil *dataset* yang baik.

2.3.4 Modelling

Tahapan *modelling* akan dilakukan pemilihan dan penerapan berbagai teknik pemodelan dan beberapa parameternya akan disesuaikan untuk mendapatkan nilai yang baik. Secara khusus, ada beberapa teknik berbeda yang dapat diterapkan untuk masalah yang sama. Sehingga pada tahap ini masih memungkinkan kembali ke tahap sebelumnya. Dalam penelitian ini, pemilihan model akan dilakukan dengan membandingkan beberapa model dengan jumlah *hidden layer* yang berbeda.

2.3.5 Evaluation

Pada tahapan ini model sudah terbentuk dan diharapkan memiliki kualitas yang baik jika dilihat dari sudut pandang analisis data. Pada tahap ini juga akan dilakukan evaluasi terhadap kinerja dan kualitas model sebelum yang digunakan menentukan apakah model tersebut dapat mencapai tujuan yang ditetapkan pada *business understanding* dan memastikan semua proses tidak ada yang terlewatkan.

2.3.6 Deployment

Pada tahap ini, informasi yang telah diperoleh akan diatur dan dipresentasikan dalam bentuk khusus sehingga dapat digunakan oleh *user*. Dalam penelitian ini, proses *deployment* akan diimplementasikan pada sistem aplikasi pendeteksi tuberkulosis berbasis web.

BAB 3

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Cross Industry Standard Process for Data Mining* (CRISP-DM) yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Penjelasan metode tersebut untuk penelitian ini secara rinci akan dijelaskan sebagai berikut.

3.1 Business Understanding

Tuberkulosis yang disebabkan karena terinfeksi paru-paru oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* menjadi penyakit infeksi menular yang menyebabkan gangguan pernapasan seperti batuk kronis dan lain-lain. Sekitar 10 juta kasus lebih di dunia setiap tahun, tuberkulosis menjadi penyakit infeksi menular terbanyak yang dapat menyebabkan kematian. Di Indonesia, kasus tuberkulosis telah mencapai 390.000 lebih pada tahun 2020 dan menjadikan Indonesia peringkat ketiga kasus tuberkulosis terbanyak setelah India dan China. Hal ini menjadi fokus pemerintah Indonesia dalam memberantas tuberkulosis. Dalam pendeteksian tuberkulosis, salah satu prosesnya adalah dengan *scan* foto *X-ray* paru-paru pasien. Terkadang diagnosis tuberkulosis dapat menjadi subjektif dan kurang tepat, tak jarang juga terjadi perdebatan antar dokter atau tenaga medis dalam mendiagnosa tuberkulosis. Daripada itu, maka harus ada teknologi yang dapat membantu tenaga medis serta masyarakat dalam melakukan pendeteksian tuberkulosis yang akurat dan cepat. Algoritma CNN yang termasuk kedalam golongan *Deep Learning* dapat dijadikan model dalam membantu mendeteksi tuberkulosis, karena CNN memiliki keunggulan dalam menganalisa dan kasifikasi citra daripada algoritma lainnya.

3.1.1 Problem Statements

Dalam mendeteksi tuberkulosis berdasarkan citra hasil *scan X-ray* paru-paru dengan algoritma CNN terdapat beberapa masalah, diantaranya adalah.

- Bagaimana membuat model CNN yang dapat bekerja dalam sistem klasifikasi tuberkulosis berdasarkan citra *X-ray*?
- Bagaimana model terbaik yang akurat dan cepat dibuat dengan CNN?

- Dengan data yang dimiliki, bagaimana CNN dapat membantu tenaga medis dalam mendeteksi tuberkulosis berdasarkan citra *X-ray*?

3.1.2 Goals

Sesuai dengan permasalahan yang ada di atas, tujuan dalam penelitian ini diantaranya adalah.

- Membuat model dengan algoritma CNN dan mengetahui cara kerjanya.
- Mendapatkan model terbaik yang cepat dan akurat dari beberapa percobaan *fitting* dengan beberapa *hidden layer* yang berbeda.
- Mengimplementasikan model terbaik pada aplikasi pendeteksi tuberkulosis berbasis website.

3.1.3 Solution Statements

Agar dapat mencapai tujuan diatas beberpa solusi yang dapat dilakukan yaitu.

- Membuat model dengan CNN dan melakukan percobaan pada 3, 5, dan 7 *hidden layer* lalu memilih model terbaik.
- Menyimpan model terbaik dalam format .h5 untuk diimplementasikan kedalam sistem aplikasi pendeteksi tuberkulosis berbasis website.

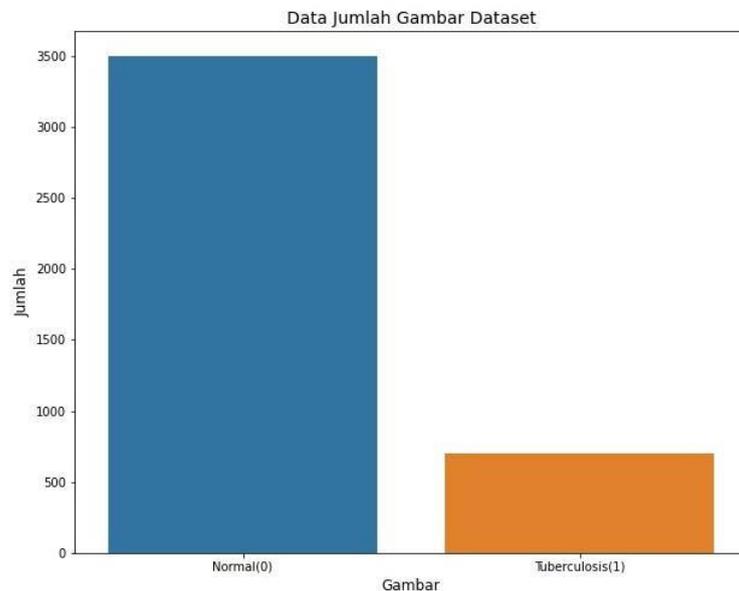
3.2 Data Understanding

3.2.1 Data Collecting

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa data yang telah dikumpulkan dari beberapa sumber seperti *National Library of Medicine (NLM) U.S*, *Belarus Set National Institute of Allergy and Infectious Diseases Republic of Belarus*, *NIAID TB Dataset*, dan *RSNA CXR Dataset*. Data yang telah dikumpulkan tersebut didapat dari situs *opensource* penyedia *dataset* Kaggle yang informasinya dapat dilihat pada url: <https://www.kaggle.com/datasets/tawsifurrahman/tuberculosis-tb-chest-xray-dataset>.

3.2.2 Deskripsi Data

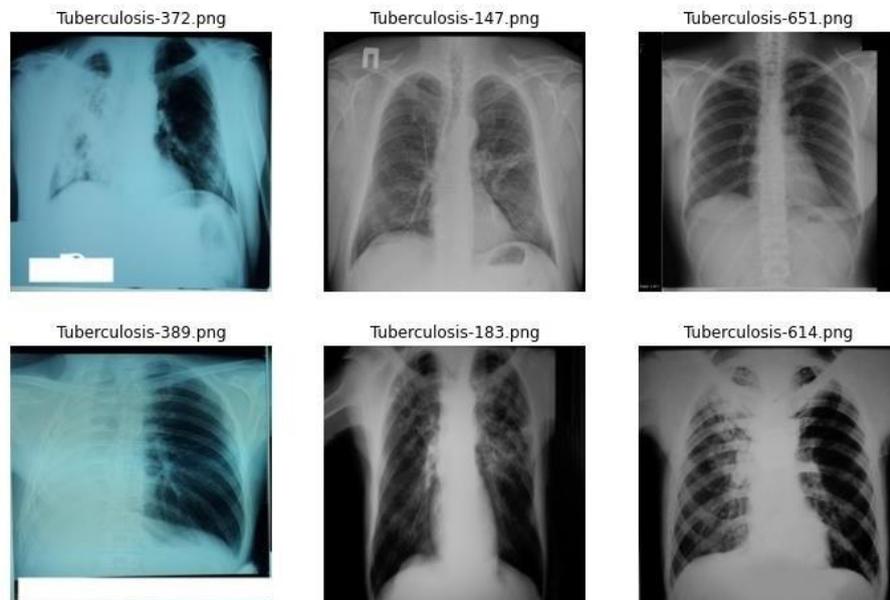
Data yang digunakan pada penelitian ini terdapat 4200 berukuran 512x512 piksel data berupa citra *X-ray* berformat PNG yang telah diolah dengan menutupi beberapa informasi seperti nama pasien dan nama rumah sakit yang tertera pada citra. Pada dataset ini, terdapat dua folder yang bernama 'Normal' yang didalamnya terdapat 3500 data yang merepresentasikan citra *X-ray* pasien dengan paru-paru normal serta folder '*Tuberculosis*' yang didalamnya terdapat 700 data yang merepresentasikan citra *X-ray* pasien dengan paru-paru terjangkit tuberkulosis. Perbandingan jumlah data ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Grafik Perbedaan Jumlah Data Gambar

Pada data normal, semua data yang tersedia berupa gambar *grayscale* sehingga tidak perlu dilakukan *grayscale*. Namun pada data tuberkulosis terdapat 359 data RGB dan 341 data *grayscale* sehingga perlu dilakukan *grayscale* pada beberapa data tuberkulosis seperti yang terlihat pada Gambar 3.2 berikut.

Gambar Paru-paru Tuberkulosis



Gambar 3.2 Beberapa Data Gambar Tuberkulosis

3.3 Data Preparation

Pada tahapan ini, data yang telah dikumpulkan akan diolah terlebih dahulu agar dapat diproses dengan baik dalam tahapan fitting model. Pada penelitian ini dilakukan beberapa *data preprocessing* yang akan dibahas berikut ini.

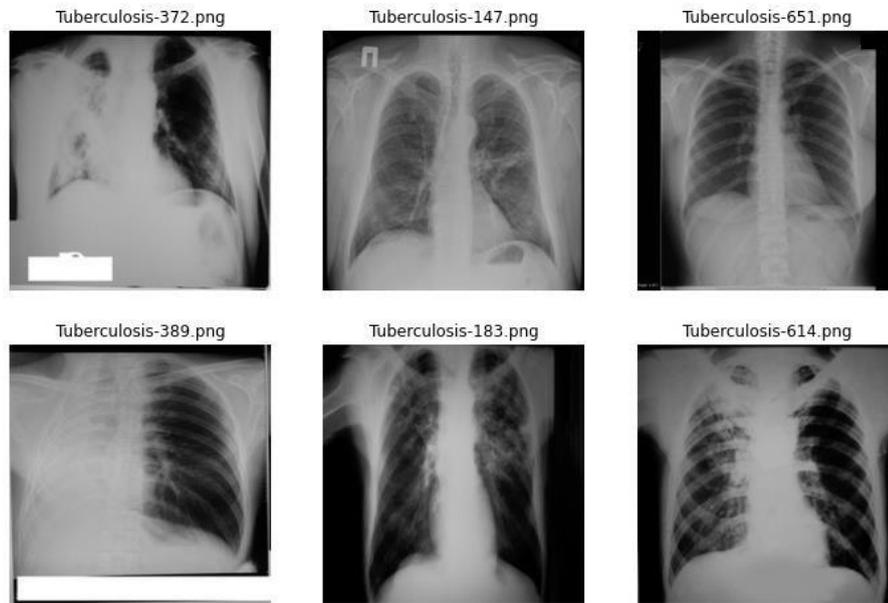
3.3.1 Resize

Karena semakin besar ukuran jumlah piksel yang terdapat pada citra maka akan semakin lama juga waktu yang dibutuhkan dalam proses pengolahan data dan komputasi tersebut sehingga untuk mendapatkan hasil yang optimal pada proses *fitting model*, maka akan dilakukan *resize* pada seluruh citra yang sebelumnya berukuran 512x512 piksel menjadi 224x224 piksel.

3.3.2 Grayscale

Untuk penyamaan jenis data tuberkulosis yang terdapat jenis citra RGB, maka akan dilakuka *grayscale* dengan membuat data RGB menjadi *grayscale* seperti pada Gambar 3.2 yang dikonversi dan menjadi seperti Gambar 3.3 berikut.

Gambar Paru-paru Tuberkulosis Grayscale



Gambar 3.3 Hasil Konversi Citra Dataset Menjadi Grayscale

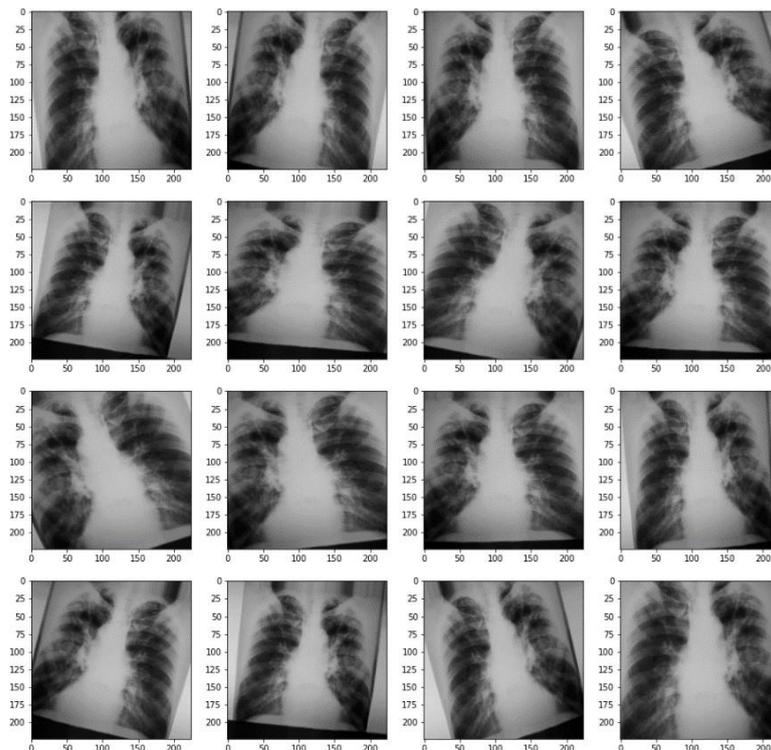
3.3.3 Data Augmentation

Augmentasi data merupakan proses memodifikasi atau memanipulasi suatu citra, sehingga citra asli dalam bentuk standar akan diubah bentuk dan posisinya. Augmentasi data bertujuan agar mesin dapat belajar dan mengenali dari berbagai citra yang berbeda-beda sekaligus dan bisa dimanfaatkan untuk memperbanyak data. Pada kebanyakan kasus, penggunaan augmentasi data berhasil meningkatkan performa dari model. Peningkatan tersebut terjadi karena mesin berhasil mengenali lebih banyak objek dari bentuk dan pola yang beragam jenisnya. Pada penelitian ini augmentasi data yang dilakukan adalah *rescale*, *shear*, *zoom*, *rotation*, dan *horizontal flip*.

- a. *Rescale* digunakan untuk menormalisasi citra dengan membagi piksel terkecil dengan piksel terbesar. Fungsi ini akan dilakukan pada semua citra pada dataset.
- b. *Shear* digunakan untuk menggeser citra searah jarum jam. Pada penelitian ini dilakukan pergeseran sebesar 0.2 derajat.

- c. *Zoom* digunakan untuk memperbesar citra dataset. Penelitian ini menggunakan perbesaran sebanyak $1+0.2$ dari luas citra.
- d. *Rotation* pada penelitian ini dilakukan sebanyak 20 derajat putaran citra.
- e. *Horizontal flip* digunakan untuk membalik gambar secara horizontal.

Semua fungsi augmentasi tersebut dilakukan pada semua citra dataset secara acak sehingga menghasilkan beberapa citra seperti pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Hasil Augmentasi Citra

3.3.4 Pembagian Data

Data yang telah dilakukan proses augmentasi akan dibagi menjadi dua bagian yaitu data *training* dan data *testing*. Jumlah data yang diperuntukan untuk proses *training* sebesar 80% dari *dataset* yaitu sebanyak $4200 \times 80\% = 3360$ data citra dan untuk proses *testing* sebesar 20% dari *dataset* yaitu sebanyak 840 data citra.

3.4 Modelling

3.4.1 Arsitektur CNN

Dalam sistem pendeteksi tuberkulosis ini, untuk mendapatkan akurasi yang tinggi maka diperlukan data *training* terlebih dahulu. Tujuan dilakukan data *training* adalah untuk menemukan ciri dari setiap citra yang dilatih kemudian menandai *neuron* mana yang akan diaktifkan ketika citra diklasifikasi.

Untuk mendapatkan model CNN yang terbaik, maka pada proses *training* ini dilakukan perbandingan terhadap beberapa model dengan jumlah *hidden layer* yang berbeda-beda pada setiap model. Tabel 3.1 berikut menunjukkan jumlah *hidden layer* yang akan digunakan pada setiap model yang akan dilakukan uji perbandingan.

Tabel 3.1 Jumlah *Hidden Layer* Setiap Model

Nama Model	Jumlah <i>Hidden Layer</i>
Model 1	3 <i>hidden layer</i>
Model 2	5 <i>hidden layer</i>
Model 3	7 <i>hidden layer</i>

Semua model yang akan diuji pada arsitekturnya terdapat *input layer*, *hidden layer* yang jumlahnya sesuai dengan masing-masing model dan *fully connected layer*. Selain itu, pada proses *training* akan menggunakan fungsi *early stopping* dan *optimizer Adam* yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Sebelum dilakukan *training*, perlu adanya inisialisasi beberapa parameter *learning*. Parameter yang akan digunakan pada penelitian terdapat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Parameter *Learning* Dan Fungsinya

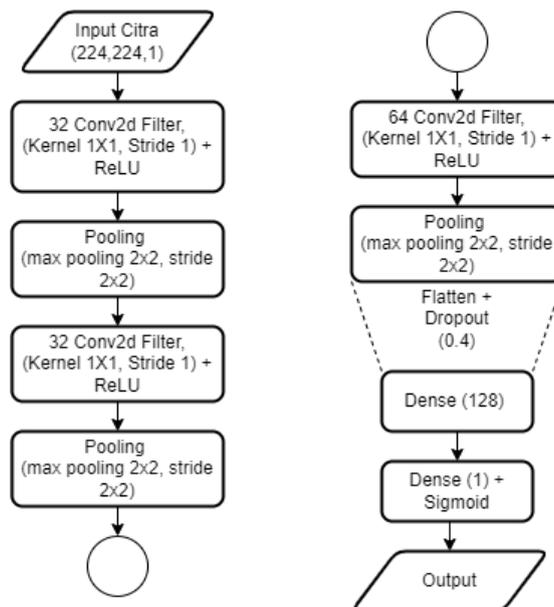
Parameter	Fungsi
<i>Learning Rate</i>	Parameter yang digunakan untuk mengupdate bobot <i>training</i> pada setiap iterasi.
<i>Batch Size</i>	Jumlah sampel data yang disebar ke <i>neural network</i> dalam satu kali <i>epoch</i>
<i>Epoch</i>	Banyaknya iterasi yang dilakukan mulai dari awal dataset hingga akhir.

Pada penelitian ini, setiap model akan dilakukan *training* dengan *learning rate* sebesar 0.001, ukuran *batch size* 32, dan jumlah *epoch* 50.

Masing-masing model memiliki *hidden layer* berbeda sehingga arsitektur CNN yang dirancang juga berbeda-beda. Berikut adalah penjelasan rancangan arsitektur CNN yang dibangun dari setiap model yang akan diuji.

a. Model 1

Pada model 1 yang memiliki jumlah 3 *hidden layer* dengan arsitektur seperti berikut ini.

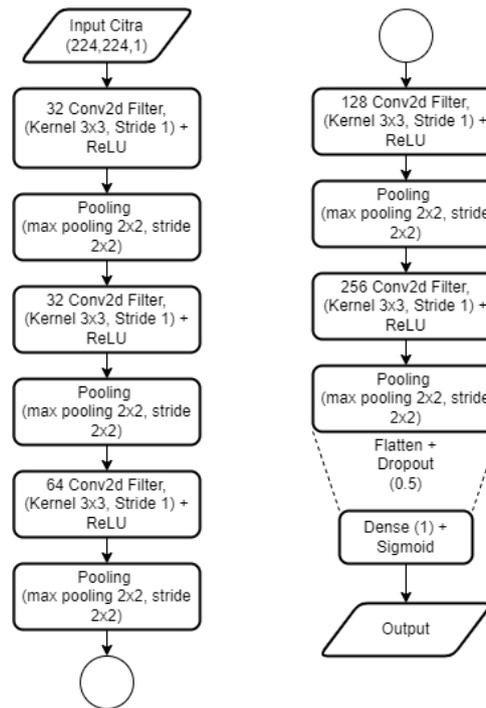


Gambar 3.5 Arsitektur CNN Model 1

- Pada awal arsitektur, *input* dilakukan dengan ukuran citra 224x224x1 piksel berupa citra *grayscale* yang telah diolah sebelumnya
- Setelah itu citra akan masuk pada tahapan konvolusi pertama dengan kernel berjumlah 1x1, *stride* 1 dan dengan *filter* sebanyak 32 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* dengan kernel 2x2 dan *stride* 2x2 pula.
- Lalu dilanjutkan citra akan masuk pada tahapan konvolusi kedua dengan kernel berjumlah 1x1, *stride* 1 dan dengan *filter* sebanyak 32 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* kembali dengan kernel 2x2 dan *stride* 2x2 pula.
- Selanjutnya citra akan masuk pada tahapan konvolusi ketiga dengan kernel berjumlah 1x1, *stride* 1 dan dengan *filter* sebanyak 64 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* kembali dengan kernel 2x2 dan *stride* 2x2 pula.
- Setelah itu hasil dari *convolutional layer* akan dilakukan *flatten* agar berubah menjadi bentuk vektor dan dilakukan pula *dropout* sebesar 0,4 untuk selanjutnya masuk pada tahapan *fully connected layer*
- Setelah tahap *flatten* dan *dropout*, dilakukan *fully connected layer* dengan jaringan MLP dengan 4 *layer* yang terdiri dari *input layer*, 2 *hidden layer* dan *output layer*.

b. Model 2

Model 2 dengan jumlah 5 *hidden layer* akan dibangun dengan arsitektur CNN seperti berikut ini.



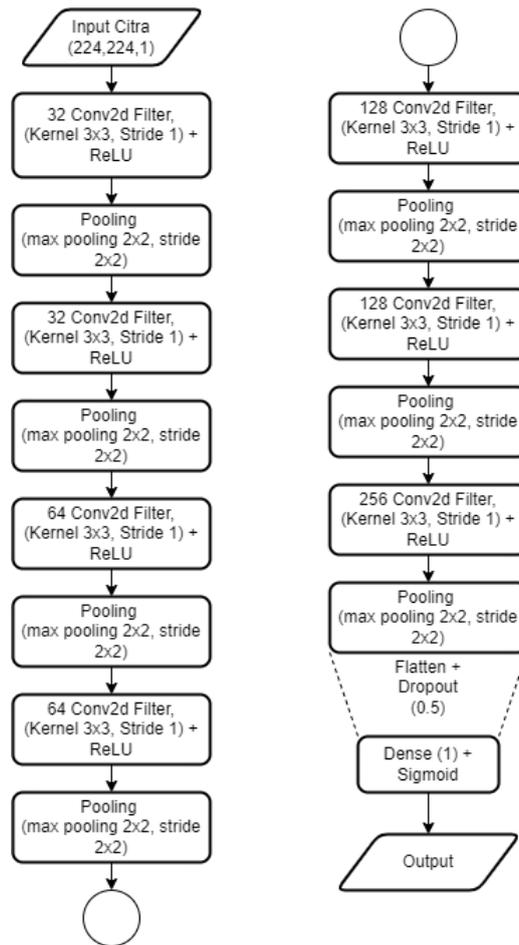
Gambar 3.6 Arsitektur CNN Model 2

- Pada awal arsitektur, *input* dilakukan dengan ukuran citra 224x224x1 piksel berupa citra *grayscale* yang telah diolah sebelumnya
- Setelah itu citra akan masuk pada tahapan konvolusi pertama dengan kernel berjumlah 3x3, *stride* 1 dan dengan *filter* sebanyak 32 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* dengan kernel 2x2 dan *stride* 2x2 pula.
- Lalu dilanjutkan citra akan masuk pada tahapan konvolusi kedua dengan kernel berjumlah 3x3, *stride* 1 dan dengan *filter* sebanyak 32 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* kembali dengan kernel 2x2 dan *stride* 2x2 pula.
- Selanjutnya citra akan masuk pada tahapan konvolusi ketiga dengan kernel berjumlah 3x3, *stride* 1 dan dengan *filter* sebanyak 64 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU

- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* kembali dengan kernel 2x2 dan *stride* 2x2 pula.
- Pada tahapan konvolusi keempat citra diolah dengan kernel berjumlah 3x3, *stride* 1 dan dengan *filter* sebanyak 128 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* kembali dengan kernel 2x2 dan *stride* 2x2 pula.
- Selanjutnya citra akan masuk pada tahapan konvolusi kelima dengan kernel berjumlah 3x3, *stride* 1 dan dengan *filter* sebanyak 256 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan kembali *max pooling* dengan kernel 2x2 dan *stride* 2x2 pula.
- Setelah itu hasil dari *convolutional layer* akan dilakukan *flatten* agar berubah menjadi bentuk vektor dan dilakukan pula *dropout* untuk sebesar 0,5 dari hasil *flatten*
- Setelah tahap *flatten* dan *dropout*, dilakukan *fully connected layer* dengan jaringan MLP dengan 3 *layer* yang terdiri dari input *layer*, sebuah *hidden layer* dan *output layer*.

c. Model 3

Pada model 3 yang memiliki jumlah 7 *hidden layer* dengan arsitektur CNN seperti berikut ini.



Gambar 3.7 Arsitektur CNN Model 3

- Sama seperti model sebelumnya, pada awal arsitektur, *input* dilakukan dengan ukuran citra 224x224x1 piksel berupa citra *grayscale* yang telah diolah sebelumnya pada proses *data preprocessing*.
- Setelah itu citra akan masuk pada tahapan konvolusi pertama dengan kernel berjumlah 3x3, stride 1 dan dengan *filter* sebanyak 32 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* dengan kernel 2x2 dan *stride* 2x2 pula.
- Lalu dilanjutkan citra akan masuk pada tahapan konvolusi kedua dengan kernel berjumlah 3x3, stride 1 dan dengan *filter* sebanyak 32 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU

- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* kembali dengan kernel 2×2 dan *stride* 2×2 pula.
- Selanjutnya citra akan masuk pada tahapan konvolusi ketiga dengan kernel berjumlah 3×3 , *stride* 1 dan dengan *filter* sebanyak 64 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* kembali dengan kernel 2×2 dan *stride* 2×2 pula.
- Tahapan konvolusi keempat dilakukan proses yang sama dengan konvolusi ketiga dimana *layer* terdiri dari kernel berjumlah 3×3 , *stride* 1 dan dengan *filter* sebanyak 64 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* dengan jumlah kernel 2×2 dan *stride* 2×2 yang sama.
- Selanjutnya citra akan masuk pada tahapan konvolusi kelima dengan kernel berjumlah 3×3 , *stride* 1 dan dengan *filter* sebanyak 128 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* kembali dengan kernel 2×2 dan *stride* 2×2 pula.
- Tahapan konvolusi keenam dilakukan proses yang sama dengan konvolusi keempat dimana *layer* terdiri dari kernel berjumlah 3×3 , *stride* 1 dan dengan *filter* sebanyak 128 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* dengan jumlah kernel 2×2 dan *stride* 2×2 yang sama.
- Selanjutnya citra akan masuk pada tahapan konvolusi ketujuh dengan kernel berjumlah 3×3 , *stride* 1 dan dengan *filter* yang lebih banyak yaitu 256 *filter* ditambah fungsi aktivasi ReLU
- Selanjutnya akan dilakukan *max pooling* kembali dengan kernel 2×2 dan *stride* 2×2 pula.

- Setelah itu hasil dari *convolutional layer* tersebut yang menghasilkan *feature map* akan dilakukan *flatten* agar berubah menjadi bentuk vektor dan dilakukan pula *dropout* sebesar 0,5
- Setelah tahap *flatten* dan *dropout*, dilakukan *fully connected layer* dengan jaringan MLP dengan 3 *layer* yang terdiri dari *input layer*, 1 *hidden layer* dan *output layer*.

Ketiga model dengan arsitektur yang berbeda tersebut selanjutnya akan dilatih dengan parameter *learning* yang sama. Setiap menjalankan iterasi, sistem akan langsung otomatis menampilkan nilai *accuracy*, *loss*, *validation accuracy* dan *loss accuracy* dari *data training*. Setelah proses latihan selesai, akan dilakukan evaluasi terhadap ketiga model agar dapat dipilih model yang terbaik untuk diimplementasikan dalam sebuah sistem aplikasi prediksi tuberkulosis.

3.5 Evaluation

Tahapan *evaluation* akan dilakukan untuk melihat bagaimana kinerja model yang sebelumnya dilatih dengan beberapa metode pengukuran, diantaranya adalah *confusion matrix*, *Precision & Recall*, dan *F1-Score*.

3.6 Deployment

Pada tahapan terakhir dari metode CRIPS-DM model yang telah dievaluasi akan dikembangkan menjadi sebuah sistem aplikasi pendeteksi tuberkulosis berbasis *website* dengan beberapa cara berikut.

Model terbaik yang telah diuji dan dipilih akan disimpan lalu digunakan dalam pengembangan aplikasi pendeteksi tuberkulosis. Karena sistem aplikasi ini akan menggunakan teknologi *website* sebagai media pengembangannya, maka model akan disimpan dengan format *.h5* dengan menggunakan library TensorFlow. Proses penyimpanan model dapat dilakukan dengan menjalankan modul `model.save('model.h5')`.

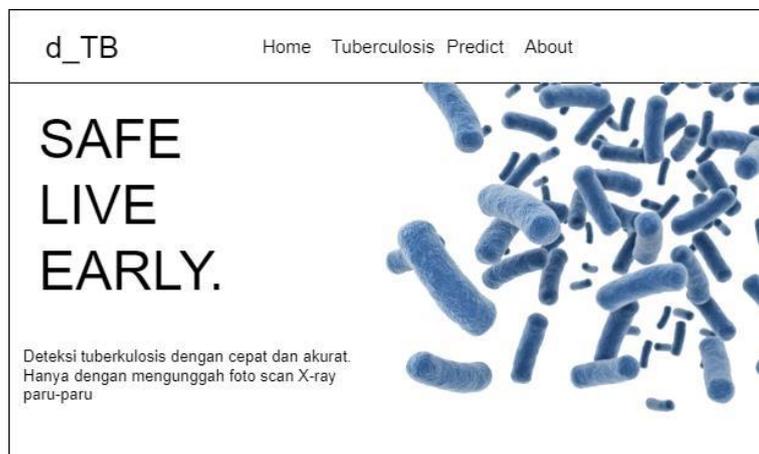
3.6.1 Perancangan Aplikasi

Bagian ini akan menjelaskan bagaimana perancangan (*mockup*) dari aplikasi pendeteksi tuberkulosis berbasis *website* akan dibuat. Aplikasi ini akan diberi nama “d_TB” yang merupakan singkatan dari *detection tuberculosis*. Aplikasi ini didalamnya terdapat fitur pendeteksian tuberkulosis berdasarkan citra *X-ray* pasien yang dapat langsung menampilkan hasil klasifikasi dari citra tersebut dengan cepat dan akurat. Selain itu, di dalamnya juga terdapat beberapa informasi tentang tuberkulosis di dunia dan Indonesia.

Perancangan mockup aplikasi ini terdiri dari beberapa bagian yang dijelaskan sebagai berikut.

3.6.1.1 Perancangan Tampilan Awal

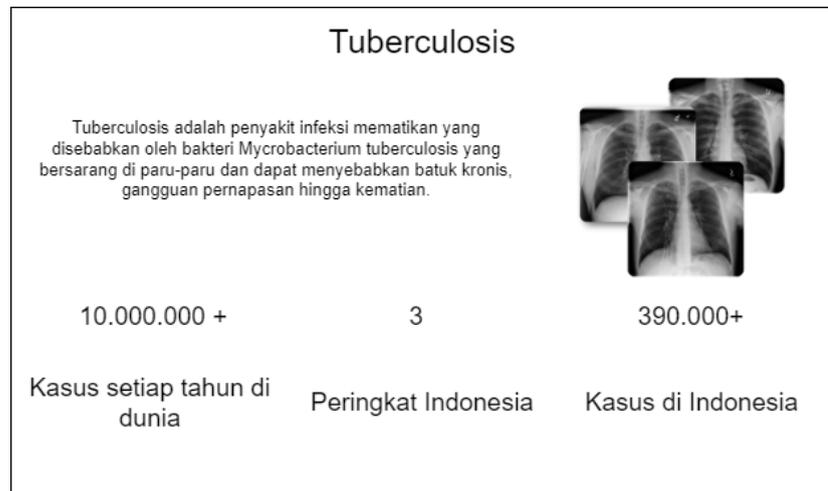
Bagian ini akan menggambarkan perancangan tampilan awal ketika membuka aplikasi d_TB. Yang mana akan menampilkan sebuah logo dari aplikasi d_TB, bagian navigasi, dan sedikit informasi tentang aplikasi. Perancangan tampilan ini akan digambarkan pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.16 Perancangan Tampilan Awal

3.6.1.2 Perancangan Tampilan Informasi Tuberkulosis

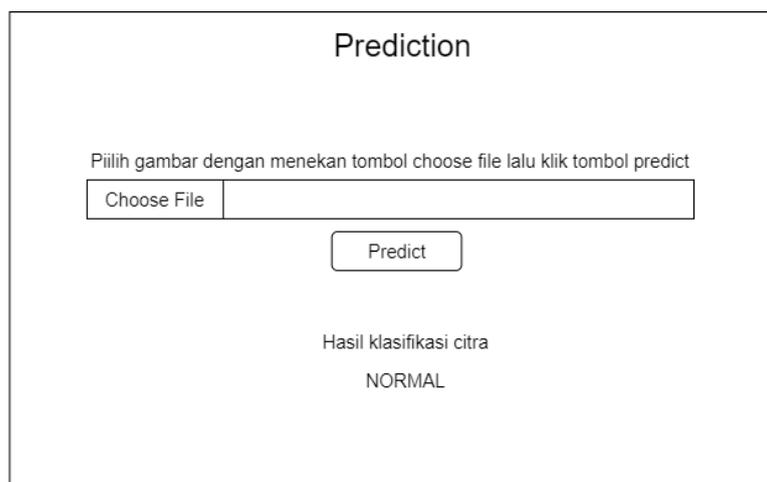
Bagian ini akan menggambarkan perancangan tampilan informasi tuberkulosis yang didalamnya terdapat informasi tuberkulosis secara umum dan informasi tuberkulosis di dunia maupun di Indonesia. Perancangan tampilan ini akan digambarkan pada Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3.17 Perancangan Tampilan Informasi Tuberkulosis

3.6.1.3 Perancangan Tampilan Bagian Prediksi

Bagian ini akan menggambarkan perancangan tampilan prediksi citra yang didalamnya terdapat informasi cara mengunggah citra, tombol prediksi, dan informasi hasil klasifikasi citra. Perancangan tampilan ini akan digambarkan pada Gambar 3.13 berikut.



Gambar 3.18 Perancangan Tampilan Prediksi

BAB 4

HASIL PEMBAHASAN

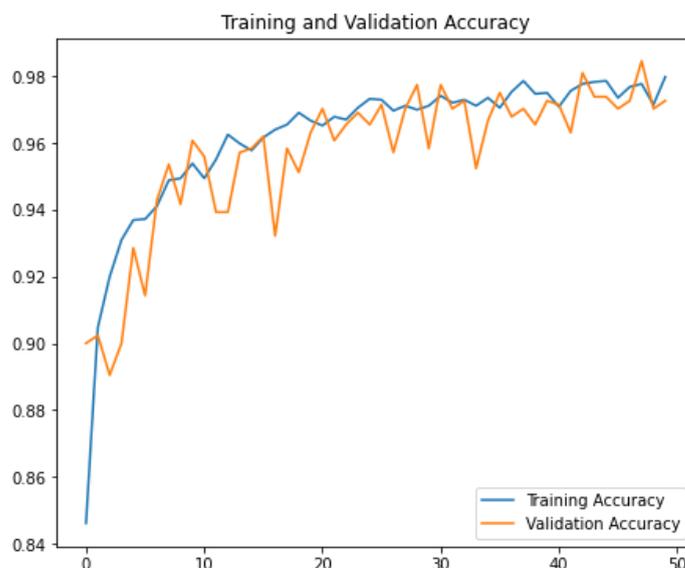
4.1 Hasil Uji Perbandingan

Bagian ini menjelaskan hasil uji perbandingan terhadap tiga arsitektur model CNN dengan jumlah *hidden layer* yang berbeda seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Uji perbandingan dilakukan dengan melihat beberapa metode pengukuran seperti hasil akurasi model, *loss* model, *confusion matrix*, *precision & recall*, dan *F1-Score*.

4.1.1 Akurasi Model

a. Model 1

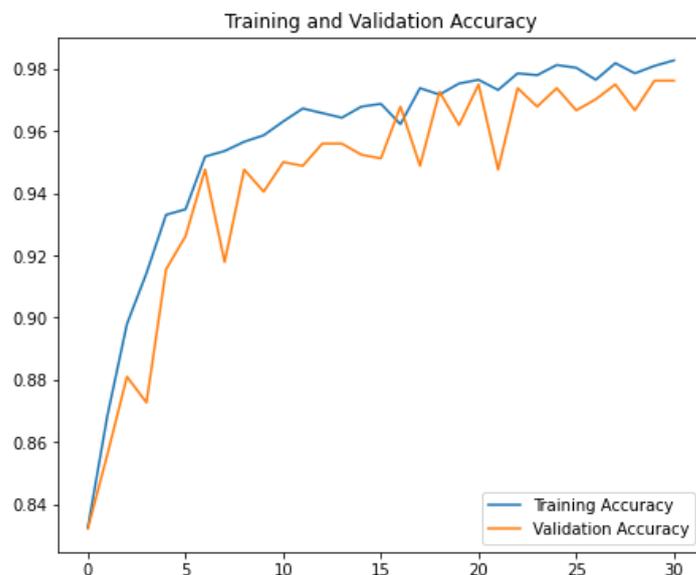
Hasil yang didapatkan pada proses pelatihan dataset dengan arsitektur CNN model 1, yaitu dengan tiga *hidden layer* mendapatkan nilai akurasi mencapai 96,9% dengan nilai akurasi validasi mencapai 96%. Waktu yang digunakan pada proses *training* data terhadap model 1 adalah 42 menit. Grafik dari tingkat akurasi dan akurasi validasi per *epoch* pada proses data *training* dari model 1 dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Grafik Akurasi dan Akurasi Validasi Model 1

b. Model 2

Untuk hasil pelatihan dataset dengan arsitektur CNN model 2 atau dengan lima *hidden layer* mendapatkan nilai akurasi mencapai 98,0% dengan nilai akurasi validasi 96%. Sementara, waktu yang digunakan pada proses *training* data terhadap model 2 adalah 26 menit. Karena semua model menggunakan metode *early stopping* pada pelatihannya, model 2 berhenti pada *epoch* ke-31 karena menghindari *overfitting* pada model dan mesin telah menganggap bahwa pada *epoch* ke-31 model sudah mendapatkan hasil terbaik. Grafik dari tingkat akurasi dan akurasi validasi per *epoch* pada proses data *training* dari model 2 dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.

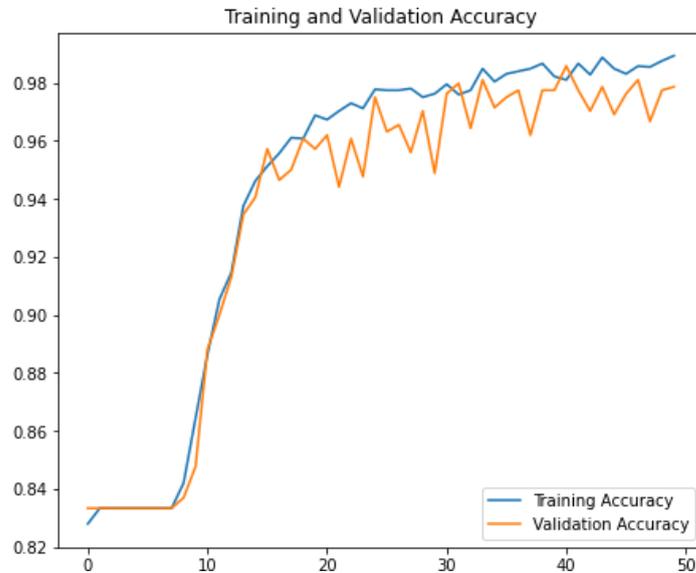


Gambar 4.2 Grafik Akurasi dan Akurasi Validasi Model 2

c. Model 3

Untuk hasil yang didapatkan pada proses pelatihan dataset dengan arsitektur CNN model 3, yaitu dengan tujuh *hidden layer* mendapatkan nilai akurasi rata mencapai 97,9% dengan nilai akurasi validasi 96%.

Tingkat akurasi pada model 3 lebih sedikit 0,1% dengan model 2. Waktu yang digunakan pada proses *training* data terhadap model 3 adalah 41 menit. Grafik dari tingkat akurasi dan akurasi validasi per *epoch* pada proses data *training* dari model 3 dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 Grafik Akurasi dan Akurasi Validasi Model 3

Dari ketiga model tersebut dapat dilihat perbandingannya dan dapat dikatakan model 2 lebih unggul dari kedua model lainnya karena memiliki tingkat akurasi yang paling tinggi dan mencapai 98% dan dengan waktu proses yang lebih sedikit yaitu 26 menit.

4.1.2 Precision, Recall, dan F1-Score

Untuk metode pengujian dengan *precision*, *recall*, dan *F1-score* yang telah dilakukan perhitungan terhadap *confusion matrix* dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.1 Perbandingan Skor Model

Nama Model	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1-Score</i>
Model 1	0.94	0.95	0.94
Model 2	0.97	0.97	0.97
Model 3	0.96	0.97	0.96

Dari seluruh metode pengukuran diatas, dapat disimpulkan bahwa uji perbandingan diantara tiga model dengan arsitektur CNN dan jumlah *hidden layer* berbeda yang telah dilakukan memiliki model terbaik yaitu model 2 dengan lima *hidden layer* yang memiliki tingkat akurasi sebesar 98%, sehingga model tersebut dipilih untuk selanjutnya dapat diimplementasikan pada sistem aplikasi pendeteksi tuberkulosis berbasis *website*.

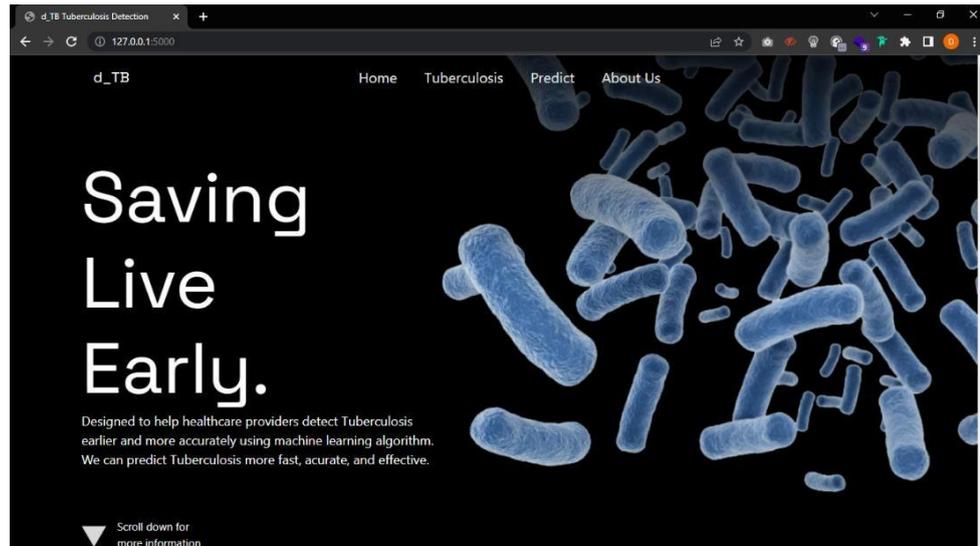
4.2 Implementasi Aplikasi

Pada bagian ini akan dijelaskan bagaimana implementasi model terhadap aplikasi d_TB, yaitu pendeteksi tuberkulosis berbasis *website* yang telah dirancang sebelumnya dapat bekerja.

Model terbaik yang telah diuji akan diimplementasi dengan membuat aplikasi sistem pendeteksi tuberkulosis berbasis web. Halaman web dibuat dengan bantuan *library* Flask yang dapat menerjemahkan bahasa pemrograman Python dengan teknologi *website* seperti HTML & CSS. Berikut adalah tampilan hasil implementasi yang telah dilakukan pada penelitian ini.

4.2.1 Tampilan Awal Aplikasi

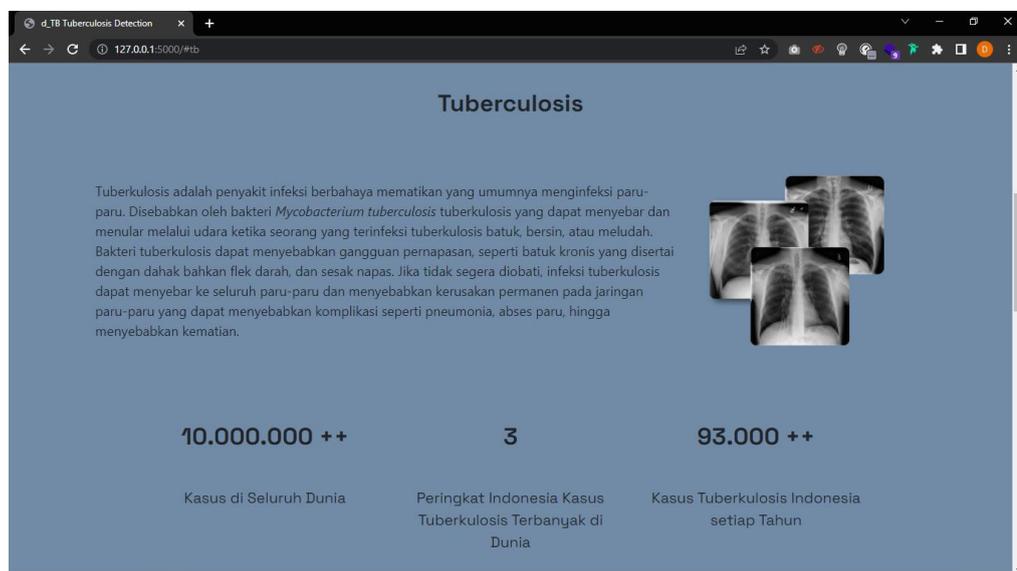
Pada tampilan awal aplikasi pendeteksi tuberkulosis berbasis *website*, terdapat logo d_TB, menu navigasi, dan sedikit informasi tentang aplikasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10 Tampilan Awal Aplikasi

4.2.2 Tampilan Informasi Tuberkulosis

Pada tampilan bagian informasi tuberkulosis pada aplikasi pendeteksi tuberkulosis berbasis *website*, terdapat informasi tuberkulosis secara umum, informasi tuberkulosis di dunia dan Indonesia yang dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut.

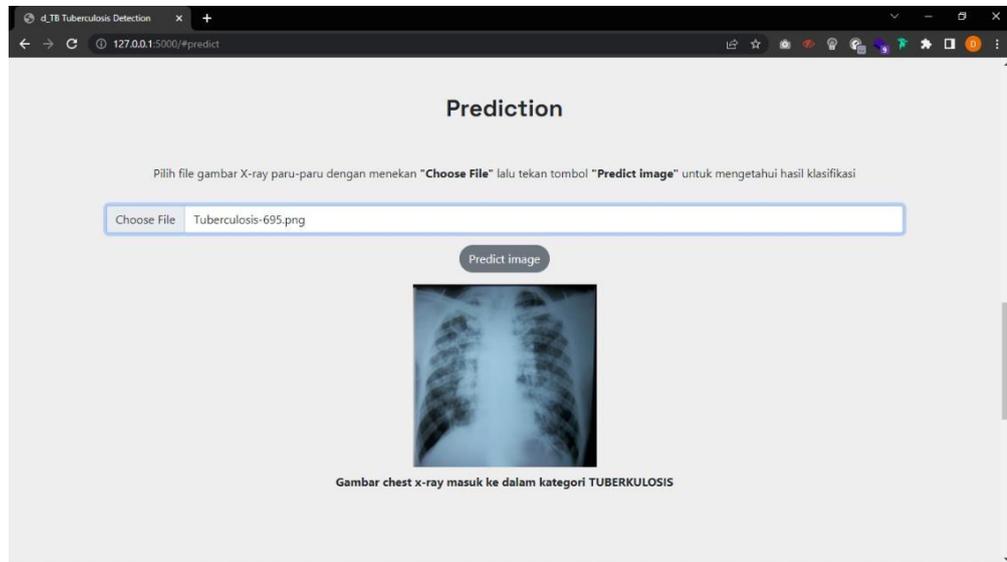


Gambar 4.11 Tampilan Bagian Informasi Tuberkulosis

4.2.3 Tampilan Bagian Prediksi

Pada tampilan bagian prediksi pada aplikasi pendeteksi tuberkulosis

berbasis *website*, terdapat informasi tentang cara menggunakan aplikasi, tombol untuk mengunggah citra *X-ray*, tombol untuk memulai prediksi, dan hasil klasifikasi dan prediksi model yang dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.12 Tampilan Bagian Prediksi

Dari beberapa hasil diatas, dapat diketahui sistem pendeteksi tuberkulosis dapat mengklasifikasi dan bekerja dengan baik. Namun, aplikasi tersebut masih dijalankan dengan *server* lokal dan belum dipublikasi secara *online*.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Terdapat beberapa kesimpulan yang didapatkan dari penelitian implementasi algoritma *Convolutional Neural Network* untuk klasifikasi citra *X-ray* paru-paru dalam sistem aplikasi pendeteksi tuberkulosis ini adalah sebagai berikut.

1. Algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) dapat diimplementasikan untuk membangun sebuah model sistem pengklasifikasian citra *X-ray* paru-paru untuk mendeteksi tuberkulosis.
2. Penelitian ini menguji tiga model dengan arsitektur CNN dan jumlah *hidden layer* yang berbeda untuk menghasilkan model terbaik. Model uji tersebut adalah model dengan tiga *hidden layer*, lima *hidden layer*, dan tujuh *hidden layer*. Pengujian dilakukan dengan memproses model dengan 4200 data yang terbagi menjadi 3500 data citra *X-ray* normal dan 700 data citra *X-ray* tuberkulosis yang telah diolah dan dibagi menjadi 80% *data training* dan 20% *data testing*. Hasil pengujian yang didapatkan adalah tingkat akurasi sebesar 96,9% pada model dengan tiga *hidden layer*, 98,0% pada lima *hidden layer*, dan 97,9% pada tujuh *hidden layer*.
3. Penelitian ini menghasilkan implementasi model terbaik dengan lima *hidden layer* yang memiliki tingkat akurasi 98,0% pada aplikasi sistem pendeteksi tuberkulosis berdasarkan citra *X-ray* berbasis web.

5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan penelitian implementasi algoritma *Convolutional Neural Network* untuk klasifikasi citra *X-ray* paru-paru dalam sistem aplikasi pendeteksi tuberkulosis berikutnya adalah sebagai berikut.

1. Menggunakan dataset yang memiliki jumlah seimbang pada setiap kategori tuberkulosis maupun normal agar model dapat mengolah pola citra *X-ray* sehingga dapat mendeteksi lebih akurat.
2. Dalam proses *training* menggunakan metode *transfer learning*. Agar dapat membandingkan tingkat efektivitas dan akurasi.

3. Menggunakan metode *deep learning* lainnya dalam mengimplementasi sistem pengklasifikasian klasifikasi citra *X-ray* paru-paru untuk dibandingkan tingkat keakuratannya.
4. Aplikasi yang sudah dibangun dapat dikembangkan lebih lanjut dan dipublikasikan secara *online*.

DAFTAR REFERENSI

- WHO (2020, Oktober 14). *Global Tuberculosis Report 2020*. Oktober 7, 2022. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240013131>
- Kementrian Kesehatan Republik Indonesia (2020, Maret). *Strategi Nasional Penanggulangan Tuberkulosis di Indonesia 2020-2024*. Desember 31, 2022. https://tbindonesia.or.id/pustaka_tbc/strategis-nasional-penanggulangan-tuberkulosis-di-indonesia-2020-2024/
- Zainuri, M., & Pamungkas, D.P. (2020). *Implementasi Metode Convolutional Neural Network (CNN) Untuk Klasifikasi Bunga Anggrek*. Seminar Nasional Inovasi Teknologi, 87-92
- Santoso, F.R. (2020). *Klasifikasi Citra X-ray Tuberkulosis Paru Menggunakan Fuzzy K-Nearest Neighbor*, Universitas Airlangga. <https://repository.unair.ac.id/103070/>.
- Nasution, S.A. (2019). *Klasifikasi Penyakit Tuberkulosis (TB) Organ Paru Manusia Berdasarkan Citra X-ray Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN)*. Universitas Sumatera Utara.
- Fattah, M.S. (2021). *Deteksi Penyakit Pneumonia dan Covid-19 Menggunakan Citra X-ray dengan Metode Convolutional Neural Network (CNN) Model GoogleNet*. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya. <https://digilib.uinsa.ac.id/49030/>.
- Rochmawati, O., Utaminigrum, F., & Bachtiar, F.A. (2021). *Analisis Performa Pre-Trained Model Convolutional Neural Network Dalam Mendeteksi Penyakit Tuberkulosis*. Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK), Vol. 8 No. 4, 805-814.
- P. Adytya, R., Achmadi, S., & Auliasari, K. (2022). *Penerapan Metode Convolutional Neural Network Pada Aplikasi Deteksi Wajah Pengunjung Perpustakaan*. Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika (JATI), Vol. 6 No. 1, 253-258.
- Pratiwi, R.D. (2020). *Gambaran Kompilasi Penyakit Tuberkulosis Berdasarkan Kode International Classification of Disease 10*. Jurnal Kesehatan Al-Irsyad, Vol. 13 No. 2, 93-101.
- Abdulhakim, R., Carudin, & Dermawan, B.A. (2021). *Analisis dan Penerapan Algoritma Convolutional Neural Network untuk Klasifikasi Kendaraan Prioritas*. Jurnal Sains dan Informatika, Vol. 7 No. 2, 135-144.
- Sudirman, D.E.J., & Setiarini, A. (2017). *Identifikasi Bakteri pada Citra Dahak Penderita Tuberkulosis (TBC) Menggunakan Metode Watershed*. Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE), Vol. 2 No. 1, 83-88.

- Salamah, U.G., & Ekawati, R. (2021). *Pengolahan Citra Digital*. Bandung: Penerbit Media Sains Indonesia.
- Jumadi, J., Yupianti, & Sartika, D. (2021). *Pengolahan Citra Digital Untuk Identifikasi Objek Menggunakan Metode Hierarchical Agglomerative Clustering*. Jurnal Sains dan Teknologi, Vol. 10 No. 2, 148-156.
- Hubel, D.H., & Wiesel, T.N. (1968). *Receptive Fields and Functional Architecture of Monkey Striate Cortex*. The Journal of Pshysiology, Vol. 195 No. 1, 215-243.
- Hasanah, M.A., Soim, S., & Handayani, A.S. (2021). *Implementasi CRISP-DM Model Menggunakan Metode Decision Tree dengan Algoritma CART untuk Prediksi Curah Hujan Berpotensi Banjir*. Journal of Applied Informatics and Computing (JAIC), Vol. 5 No. 2, 103-108.
- Novindri, G.F., & Saian, P.O.N. (2022). *Implementasi Flask pada Sistem Penentuan Minimal Order Untuk Tiap Item Barang di Distribution Center Pada PT XYZ Berbasis Website*. Jurnal MNEMONIC, Vol. 5 No. 2, 80-85.