

Systematic Literature Review: Deep Learning Pada Citra Sinar-X Paru Untuk Klasifikasi Penyakit

Systematic Literature Review: Deep Learning in Lung X-ray Images for Diseases Classification

Calvin Rinaldy Leonard¹, Ingrid Nurtanio², Anugrayani Bustamin³

^{1,2,3}Teknik Informatika, Universitas Hasanuddin

E-mail: ¹calvinboys988@gmail.com, ²ingrid@unhas.ac.id, ³anugrayani@unhas.ac.id

Abstrak

Paru-paru merupakan organ vital dalam tubuh manusia. Paru-paru berfungsi mengangkut oksigen ke dalam tubuh dan mengeluarkan karbon dioksida keluar dari tubuh. Proses pertukaran oksigen dan karbon dioksida ini membuat paru-paru rentan terhadap infeksi virus dan bakteri. Paru-paru dapat terjangkit berbagai jenis penyakit seperti pneumonia, tuberkulosis, dan COVID-19. Dalam proses diagnosis penyakit-penyakit ini, seringkali terjadi perbedaan diagnosa antar dokter. Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan sistem pembelajaran mesin yang dapat berfungsi sebagai pihak ketiga untuk melakukan klasifikasi kondisi. Salah satu metode modern yang dapat digunakan adalah deep learning. Deep learning telah terbukti menghasilkan akurasi yang tinggi dalam menganalisis gambar medis. Banyaknya penelitian yang telah menggunakan deep learning dalam mengolah citra sinar-X paru menjadi dorongan untuk mencari gap dengan menggunakan metode SLR (Systematic Literature Review). Diagram PRISMA digunakan dalam memilih dan mendokumentasikan 241 artikel yang relevan hingga menghasilkan 51 artikel yang sesuai dengan lingkup penelitian yang menggunakan subjek sinar-X paru dan metode *deep learning*. Hasil yang diperoleh adalah informasi terkait dataset yang digunakan; hanya 2 dari 51 artikel yang menggunakan data primer, sementara sisanya menggunakan data sekunder. Selain itu, *transfer learning* menjadi pilihan terpopuler dalam mengembangkan sistem klasifikasi paru. Sedangkan, *ensemble learning* mulai populer digunakan bahkan mampu menghasilkan akurasi yang tinggi dan konsisten.

Kata kunci: *Deep Learning*, Paru-paru, Sinar-X, SLR, PRISMA

Abstract

The lungs are vital organs in the human body. They function by transporting oxygen into the body and expelling carbon dioxide out of the body. This process of oxygen and carbon dioxide exchange makes the lungs susceptible to infections by viruses and bacteria. The lungs can be affected by various diseases such as pneumonia, tuberculosis, and COVID-19. In diagnosing these diseases, there are often differences in diagnoses among doctors. To address this challenge, a machine learning system is needed to act as a third party to classify conditions. One modern method that can be utilized is deep learning. Deep learning has been proven to achieve high accuracy in analyzing medical images. The extensive research utilizing deep learning in processing lung X-ray images has driven the search for gaps using the Systematic Literature Review (SLR) method. The PRISMA diagram was used to select and document 241 relevant articles, resulting in 51 articles that fit the scope of research using lung X-ray images and deep learning methods. The findings reveal information related to the datasets used; only 2 out of 51 articles used primary data, while the rest used secondary data. Additionally, transfer learning emerged as the most popular choice in developing lung classification systems, while ensemble learning has gained popularity for its ability to deliver high and consistent accuracy.

Keywords: Deep Learning, Lungs, X-ray, SLR, PRISMA

1. PENDAHULUAN

Teknologi yang semakin berkembang saat ini turut mengambil bagian dalam ranah kesehatan untuk membantu para profesional kesehatan dalam mendiagnosis sebuah penyakit [1][2][3]. Salah satu area yang mendapatkan perhatian khusus adalah paru-paru. Paru-paru adalah organ vital dalam tubuh manusia yang berfungsi sebagai pertukaran udara, serta menjaga tubuh mendapatkan oksigen yang cukup dan mengangkut karbon dioksida keluar dari tubuh (sistem respirasi). Paru-paru terletak di dalam rongga dada (*thorax*) [4] sehingga untuk mengetahui permasalahan atau mendiagnosis penyakit tertentu pada paru-paru, maka bagian *thorax* akan dilakukan pemeriksaan sinar-X [5].

Dalam mendiagnosis penyakit paru, para dokter akan melakukan analisa pada hasil citra sinar-X untuk mencari perubahan atau kelainan yang terjadi pada paru-paru. Proses analisa yang dilakukan oleh para dokter terkadang menghasilkan hasil diagnosis yang berbeda (*differential diagnosis*) karena kemampuan setiap dokter dalam menganalisis hasil sinar-X berbeda, sehingga hasil diagnosis masing-masing dokter dapat berbeda [6]. Selain itu citra sinar-X seringkali menunjukkan pola yang mirip antara berbagai penyakit, seperti pneumonia dan tuberkulosis. Hal ini membuat diagnosis menjadi cukup lama dan dokter membutuhkan banyak waktu untuk menganalisis detail hasil sinar-X tersebut

Dalam membantu mendukung diagnosis para dokter, hasil citra sinar-X *thorax* juga dapat dilakukan proses komputerisasi, yaitu dengan memanfaatkan teknologi *image processing* (pengolahan gambar) karena sebuah mesin dapat menangkap detail-detail terperinci di dalam gambar jika dibandingkan dengan mata manusia secara langsung. Teknologi pengolahan gambar digunakan untuk memproses hasil citra sinar-X tersebut untuk meningkatkan kualitas dan mengekstraksi fitur-fitur dalam gambar citra tersebut sehingga dapat menghasilkan informasi yang berarti [7].

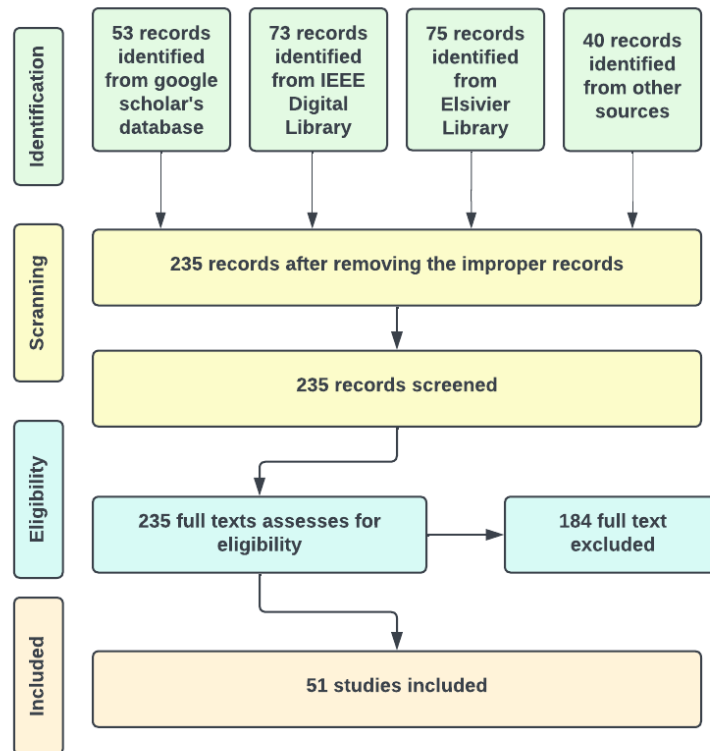
Citra sinar-X *thorax* akan diproses menggunakan metode *deep learning*, sebuah metode pengembangan dari *machine learning* yang kuat dan sangat cocok untuk mengolah data tidak terstruktur seperti *image* [8]. *Deep learning* mempunyai kemampuan untuk dapat melakukan *feature engineering* secara otomatis [7]. Seiring dengan meningkatnya penelitian yang menggunakan *deep learning* untuk menganalisis citra sinar-X paru-paru, penting untuk meninjau literatur yang ada secara sistematis untuk mengidentifikasi tren dan kesenjangan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review (SLR)* untuk mengumpulkan, mengevaluasi, dan mengembangkan studi-studi yang relevan mengenai penggunaan *deep learning* dalam klasifikasi citra sinar-X paru-paru. SLR adalah metode yang terstruktur dan transparan untuk meninjau literatur, yang memungkinkan identifikasi dan analisis yang komprehensif terhadap penelitian yang telah dilakukan [9][10].

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Systematic Literature Review (SLR)*. *Literature review* dilaksanakan dengan mengambil paper yang tersedia pada *database google scholar* dengan berfokus pada pencarian terkait dengan klasifikasi citra sinar-X penyakit paru yang menggunakan metode *Convolutional Neural Network*. Proses pencarian kata kunci dengan menggunakan kata kunci “Penyakit Paru CNN” pada sumber *database*. Selain *paper* yang diperoleh dari pencarian *database*, terdapat *paper* yang diambil dari sumber lainnya yaitu dari *elicit*.

Dalam proses seleksi literatur yang akan digunakan, penulis menggunakan diagram PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) agar dapat memberikan gambaran yang jelas dan terstruktur terkait literatur yang diseleksi. Pertama-tama, penulis melakukan identifikasi terhadap semua studi potensial yang relevan dengan topik penelitian melalui *google scholar database*, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Digital Library*, *Elsevier*, *Library* dan sumber pencari jurnal lainnya (*elicit*). Terdapat 241 artikel yang ditemukan yang relevan dengan “*deep learning*”, “*X-ray paru*” atau “*lung x-ray*” dan

“klasifikasi” atau “*classification*” dengan jumlah masing-masing literatur yang ditemukan yaitu 53 artikel dari *google scholar*, 73 artikel dari *IEEE*, 75 artikel dari *Elsevier* dan 40 artikel dari *elicit*. Kemudian, penulis menyeleksi 241 artikel menjadi 235 artikel yaitu artikel yang mempunyai format pdf dan merupakan artikel yang dapat diakses. Setelah itu, dilakukan uji kelayakan dari 235 artikel yaitu melakukan peninjauan teks penuh dengan memastikan bahwa metode yang digunakan adalah *deep learning* dan subjek yang digunakan adalah citra sinar-X. Sehingga sebanyak 184 artikel dikeluarkan dan menghasilkan 51 artikel yang relevan dan memenuhi kriteria inklusi. Proses secara umum dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Proses Seleksi Literatur Dengan Diagram PRISMA

Proses yang dilakukan terhadap 241 artikel tersebut adalah sebagai berikut:

- Proses *identification*, 241 artikel akan diseleksi terlebih dahulu untuk melihat apakah duplikasi ataupun bukan merupakan artikel yang dapat diakses.
- Proses *Screening*, 235 artikel tersisa setelah 6 artikel dihapus karena bukan merupakan artikel.
- Proses *Eligibility*, 184 artikel dari 235 artikel telah dihapus (*exclude*) karena tidak sesuai dengan judul dan abstrak yang akan diteliti (subjek bukan merupakan citra sinar-X paru, metode yang digunakan bukanlah metode *deep learning* dan tujuan penelitian bukanlah klasifikasi)
- Proses *Included*, 51 *paper* telah dihasilkan yang membahas secara detail terkait klasifikasi penyakit paru menggunakan citra sinar-X dengan metode *deep learning*.

Peneliti kemudian menetapkan dan hanya berfokus pada pertanyaan sebagai berikut.

1. **Pertanyaan 1:** Apa saja jenis *dataset* yang digunakan dalam penelitian yang diteliti?
Deskripsi: jenis *dataset* akan terbagi menjadi dua yaitu *dataset* primer yang diambil dari rumah sakit secara langsung dan *dataset* sekunder yang diambil melalui platform terbuka seperti *Kaggle* dan *Mendeley dataset*.
2. **Pertanyaan 2:** Apa saja kombinasi label atau kelas yang digunakan dalam penelitian yang diteliti?
Deskripsi: Kombinasi label atau kelas adalah jumlah penyakit yang akan diklasifikasi dengan sistem yang telah dibuat
3. **Pertanyaan 3:** Apa saja jenis metode *deep learning* yang digunakan dalam penelitian yang diteliti?
Deskripsi: Untuk mengetahui jenis metode *deep learning* yang digunakan dalam mengembangkan sistem: *single scratch approach* (menggunakan satu metode *deep learning* baru atau *proposed*), *transfer learning* (menggunakan metode *deep learning* yang telah dikembangkan oleh orang lain) dan *ensemble learning* (menggunakan dua atau lebih metode gabungan *deep learning*).
4. **Pertanyaan 4:** Arsitektur *deep learning* apa yang menghasilkan akurasi terbaik dalam penelitian yang diteliti?
Deskripsi: Untuk mengetahui arsitektur terbaik yang sesuai dengan kompleksitas data gambar sinar-X melalui parameter akurasi

Tabel 1. Daftar *paper* yang diteliti (*eligible*)

Papers ID	Publisher	Referensi
S01	Universitas Kaputama	[11] <i>Optimasi Algoritma CNN Menggunakan Metode Transfer Learning Untuk Klasifikasi Citra X-ray Paru-Paru</i>
S02	Universitas Baten Jaya	[12] <i>Efektivitas Transfer Learning Dalam Pendeteksian Penyakit Pneumonia Melalui Citra X-Ray Paru</i>
S03	Universitas Kristen Petra	[13] <i>Aplikasi Pendukung Diagnosis COVID-19 Yang Menganalisis Hasil X-Ray Paru-Paru Dengan Model EfficientNet</i>
S04	Universitas Kristen Maranatha	[14] <i>Perbandingan Kemampuan Klasifikasi Citra X-ray Paru-paru menggunakan Transfer Learning ResNet-50 dan VGG-16 VGG-16 Transfer Learning</i>
S05	Universitas Muhammadiyah Surabaya	[15] <i>Convolutional Neural Network (CNN) sebagai Metode Pendeteksi Penderita covid-19 pada x-ray</i>
S06	Universitas Tarumanagara	[16] <i>Sistem Pengenalan Covid-19 Berdasarkan Foto X-ray Paru dengan Metode EfficientNet-B0</i>
S07	UM Jember	[17] <i>Diagnosis COVID-19 Berdasarkan Citra X-ray Paru-Paru Menggunakan Metode Convolutional Neural Network</i>
S08	Universitas Negeri Semarang	[18] <i>Implementasi HE, AHE, dan CLAHE Pada Metode Convolutional Neural Network untuk Identifikasi Citra X-Ray Paru-Paru Normal atau Terinfeksi Covid19</i>
S09	Universitas Mulawarman	[19] <i>Deteksi Citra X-Ray Paru-Paru Terinfeksi COVID-19 dengan Algoritma CNN Berbasis Aplikasi Web</i>
S10	Lppm Ubsi Kampus Tasikmalaya	[20] <i>Diagnosa Tuberculosis Paru Berbasis Citra X-ray</i>
S11	Institut Shanti Bhuana	[21] <i>Klasifikasi File Gambar Hasil X-Ray Paru -Paru Dengan Arsitektur Convolution Neural Network (CNN)</i>

S12	Universitas Mohammad Husni Thamrin	[22] <i>Algoritma Deep Learning untuk Pengklasifikasian Penyakit Radang Paru-Paru pada Citra Chest X-Ray dengan Convolutional Neural Network</i>
S13	Tecno Scientifica	[23] <i>Chest X-Ray Classification of Lung Diseases Using Deep Learning</i>
S14	IOP	[24] <i>Classification of pulmonary lesions based on CNN and chest X-ray images</i>
S15	IOP	[25] <i>Automatic Classification and Accuracy by Deep Learning Using CNN Methods in Lung Chest X- Ray Images</i>
S16	Warse	[26] <i>Multiple Lung Diseases Classification from Chest X-Ray Images using Deep Multiple Lung Diseases Classification from Chest X- Ray</i>
S17	MDPI	[27] <i>Hybrid CLAHE-CNN Deep Neural Networks for Classifying Lung Diseases from X-ray Acquisitions</i>
S18	Manipal University	[28] <i>Automated Pneumonia Detection using deep features in chest X-ray images</i>
S19	Asosiasi Perguruan Tinggi Rekam Medis Dan Informasi Kesehatan Indonesia	[29] <i>Klasifikasi Penyakit Tuberculosis (TB) Organ Paru Manusia Berdasarkan Citra Rontgen Thorax Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN)</i>
S20	Sekolah Tinggi Manajemen Informatika Dan Komputer Budi Darma	[30] <i>Penerapan Metode Mobile-Net Untuk Klasifikasi Citra Penyakit Kanker</i>
S21	Universitas Gadjah Mada	[7] <i>Klasifikasi Pneumonia pada Citra X-rays Paru-paru dengan Convolutional Neural Network</i>
S22	Wiley	[31] <i>An Efficient Deep Learning Approach to Pneumonia Classification in Healthcare</i>
S23	Elsevier	[32] <i>Lung Cancer Detection from X-Ray Images using Hybrid Deep Learning Technique</i>
S24	Elsevier	[33] <i>A deep learning architecture for multi-class lung diseases classification using chest X-ray (CXR) images</i>
S25	Elsevier	[34] <i>Smart access development for classifying lung disease with chest x-ray images using deep learning</i>
S26	Elsevier	[35] <i>Hybrid deep learning for detecting lung diseases from X-ray images</i>
S27	Elsevier	[36] <i>An explainable artificial intelligence model for multiple lung diseases classification from chest X-ray images using fine-tuned transfer learning</i>
S28	Elsevier	[37] <i>A comparative analysis of machine learning algorithms for detecting COVID-19 using lung X-ray images</i>
S29	Elsevier	[38] <i>An explainable transfer learning framework for multi-classification of lung diseases in chest X-rays</i>
S30	Elsevier	[39] <i>Contribution to pulmonary diseases diagnostic from X-ray images using innovative deep learning models</i>
S31	Elsevier	[40] <i>Hybrid Inception Architecture with Residual Connection: Fine-tuned Inception-ResNet Deep Learning Model for Lung Inflammation Diagnosis from Chest Radiographs</i>
S32	Elsevier	[41] <i>Deep learning models for tuberculosis detection and infected region visualization in chest X-ray images</i>

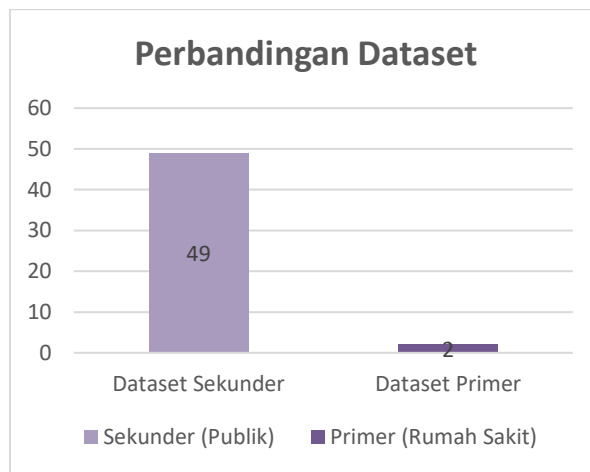
S33	Elsevier	[42] <i>A Hybrid Deep Learning CNN model for COVID-19 detection from chest X-rays</i>
S34	IEEE	[43] <i>DL-CRC: Deep Learning-Based Chest Radiograph Classification for COVID-19 Detection: A Novel Approach</i>
S35	IEEE	[44] <i>Deep Convolutional Approaches for the Analysis of COVID-19 Using Chest X-Ray Images From Portable Devices</i>
S36	IEEE	[45] <i>Prediction of COVID-19 Using Genetic Deep Learning Convolutional Neural Network (GDCNN)</i>
S37	IEEE	[46] <i>An Automated Chest X-Ray Image Analysis for Covid-19 and Pneumonia Diagnosis Using Deep Ensemble Strategy</i>
S38	IEEE	[47] <i>Convolution Neural Network With Coordinate Attention for the Automatic Detection of Pulmonary Tuberculosis Images on Chest X-Rays</i>
S39	IEEE	[48] <i>PneuNetV1: A Deep Neural Network for Classification of Pneumothorax Using CXR Images</i>
S40	Elsevier	[49] <i>Deep-chest: Multi-classification deep learning model for diagnosing COVID-19, pneumonia, and lung cancer chest diseases</i>
S41	Elsevier	[50] <i>A Deep Learning based model for the Detection of Pneumonia from Chest X-Ray Images using VGG-16 and Neural Networks</i>
S42	Elsevier	[51] <i>Deep learning framework for rapid and accurate respiratory COVID-19 prediction using chest X-ray images</i>
S43	Elsevier	[52] <i>COV-SNET: A deep learning model for X-ray-based COVID-19 classification</i>
S44	Elsevier	[53] <i>Transfer learning with fine-tuned deep CNN ResNet50 model for classifying COVID-19 from chest X-ray images</i>
S45	Elsevier	[54] <i>A deep convolution neural network for automated COVID-19 disease detection using chest X-ray images</i>
S46	Elsevier	[55] <i>Automated image classification of chest X-rays of COVID-19 using deep transfer learning</i>
S47	Elsevier	[56] <i>Efficient-VGG16: A Novel Ensemble Method for the Classification of COVID-19 X-ray Images in Contrast to Machine and Transfer Learning</i>
S48	Elsevier	[57] <i>COVID-19 pulmonary consolidations detection in chest X-ray using progressive resizing and transfer learning techniques</i>
S49	Elsevier	[58] <i>Diagnosis of COVID-19 from X-rays using combined CNN-RNN architecture with transfer learning</i>
S50	Elsevier	[59] <i>VGG-COVIDNet: A Novel model for COVID detection from X-Ray and CT Scan image</i>
S51	Elsevier	[60] <i>Covid-19's Rapid diagnosis Open platform based on X-Ray Imaging and Deep Learning</i>

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setiap *research question* atau pertanyaan akan menghasilkan kesimpulan dari 51 *paper* yang telah diteliti. 51 *paper* yang diteliti dapat dilihat pada tabel 1.

A. Pertanyaan 1: Apa saja jenis *dataset* yang digunakan dalam penelitian yang diteliti?

Untuk mengetahui perbandingan *dataset* primer dan sekunder yang digunakan dalam penelitian, maka peneliti membagi jenis *dataset* sumber ke dalam dua kelompok yaitu primer dan sekunder. *Dataset* primer adalah data yang diperoleh secara langsung dan bekerja sama dengan pihak rumah sakit untuk memperoleh citra sinar-X penyakit paru. Sedangkan, *dataset* sekunder adalah data yang diunduh dari sumber terbuka. Peneliti menemukan bahwa terdapat perbandingan yang besar antara penggunaan *dataset* primer dan sekunder. Dari 51 *paper* yang telah diteliti, hanya terdapat 2 *paper* S12 (RSU Sari Mutiara Lubuk Pakam) dan S38 (Shenzhen Hospital) yang menggunakan data primer yang bersumber dari rumah sakit secara langsung. Sisanya sebanyak 49 *paper* (menggunakan data sekunder yang bersumber dari platform *data open source* yang didominasi oleh *Kaggle* sebanyak 30 artikel, kemudian diikuti oleh *Github* sebanyak 9 artikel dan sisanya adalah layanan penyedia data kesehatan atau data khusus penyakit paru seperti *Mendeley Dataset*, *CovidX*, *NIH*, *ChestXray-14*, *RSNA*, *SIRM*, dan *ChestXpert* yang dapat dilihat pada gambar 2. Sedangkan perbandingan untuk kombinasi sumber data dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 2. Perbandingan Penggunaan Dataset

Tabel 2. Sumber data yang digunakan pada *paper*

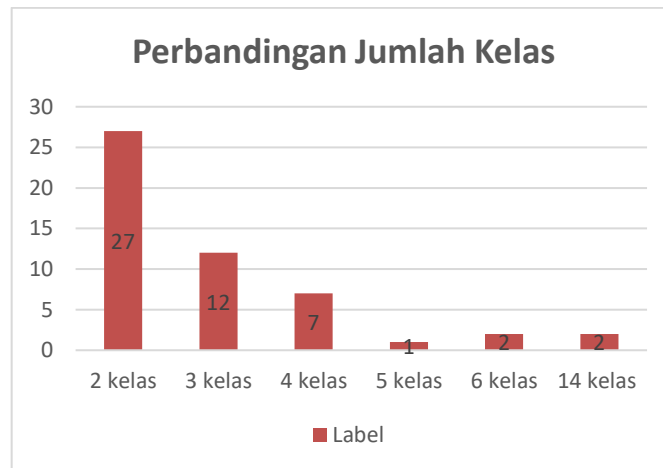
Jumlah sumber	Papers ID
1 sumber	S01, S02, S03, S04, S06, S07, S8, S9, S10, S11, S12, S13, S14, S15, S16, S27, S18, S19, S20, S21, S22, S23, S26, S27, S28, S29, S31, S32, S34, S35, S37, S38, S39, S42, S43, S44, S47, S48, S51
2 sumber	S25, S41, S45, S46
3 sumber	S24, S30, S36
4 sumber	S05, S40, S50
6 sumber	S49
7 sumber	S33

Dapat dilihat bahwa *dataset* sekunder merupakan sumber data terbanyak yang digunakan, 30 artikel menggunakan *dataset* sekunder dari *Kaggle*, diikuti oleh 9 artikel menggunakan *dataset* yang bersumber dari *Github*. *Kaggle* dan *Github* adalah platform *open source* untuk mengakses data citra sinar-X secara gratis. Sedangkan *dataset* primer diperoleh dari RSU Sari Mutiara Lubuk Pakam dan Shenzhen Hospital. Perbedaan yang sangat jauh ini terjadi karena *dataset* sekunder adalah *dataset* yang sangat mudah untuk diakses melalui internet tanpa membutuhkan persetujuan apapun. Sedangkan *dataset* primer membutuhkan banyak persetujuan terlebih dahulu seperti persetujuan rumah sakit dan persetujuan etik untuk melakukan penelitian. Namun, terdapat

sebuah hal penting yang harus diperhatikan melalui sumber data citra sinar-X paru ini. Hampir seluruh penelitian yang sumber datanya berasal dari *kaggle* menggunakan campuran data antara paru anak-anak dan dewasa yang menggabungkan pelatihan data secara bersamaan ataupun campuran data sinar-X paru dengan kontras yang berbeda-beda. Hal ini memicu terjadinya masalah *feature bias* dimana model hanya akan mempelajari dari ukuran paru anak (kecil) dan dewasa (besar) ataupun kontras-nya saja sehingga mengesampingkan fitur utama dari sinar-X paru yaitu spot. Hal ini tentunya menjadi sebuah permasalahan yang jarang diperhatikan ketika melatih sebuah *machine learning*, padahal sangat memengaruhi hasil sistem ketika diuji ke *data primer* rumah sakit.

B. Pertanyaan 2: Apa saja kombinasi label atau kelas yang digunakan dalam penelitian yang diteliti?

Untuk mengetahui berapa banyak kombinasi label atau kelas, peneliti membagi label atau kelas ke dalam 5 kelompok yaitu 2 kelas, 3 kelas, 4 kelas, 5 kelas dan 6 kelas. Peneliti menemukan bahwa 2 kelas merupakan kelas yang paling banyak digunakan dalam penelitian. Namun, tidak ada penelitian yang menggunakan 5 kelas. Untuk perbandingan jumlah kelas masing-masing dapat dilihat pada gambar 3 dan untuk kombinasi label dalam penelitian dapat dilihat pada tabel 3.



Gambar 3. Perbandingan jumlah kelas atau label

Tabel 3. Kombinasi Kelas pada *paper*

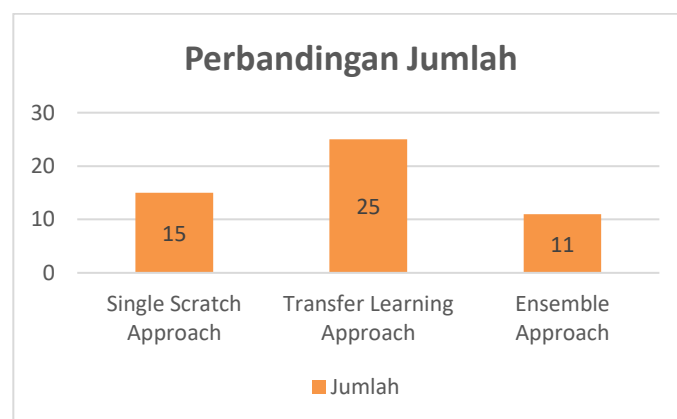
Jumlah Kelas	<i>Papers ID</i>
Normal-Pneumonia	S01, S02, S14, S18, S21, S22
Normal-Tuberkulosis	S05, S10, S19, S32, S38
Normal-Covid19	S04, S08, S09, S11, S33, S36, S44, S46, S47, S50, S51
Normal-Radang paru-paru	S12
Normal-Kanker paru-paru	S20
Non nodul-Nodul	S15
Pneumothorax-Non Pneumothorax	S39
Viral Pneumonia-Bacteria Pneumonia	S31
Normal-Covid19-Pneumonia	S03, S06, S07, S25, S34, S37, S41, S43, S48, S49
Covid-19, Pneumonia, Tuberkulosis	S27

Normal-Tuberkulosis-Covid19 Pneumonia	S13
Normal-Pathological, Covid-19	S35
Normal-Pneumonia-LungOpacity- Covid19	S17, S28, S30, S42
Normal-Pneumonia-Covid-19-Lung Cancer	S40
Normal-Covid-19-Pneumonia Viral- Pneumonia Bacteria	S45
Normal, Pneumonia, Tuberkulosis, Covid-19, PLN	S29
Normal, Pneumonia, Tuberkulosis, Pneumothorax, Kanker Paru-paru, COPD	S16
Normal, Pneumonia, Tuberkulosis, Covid-19, Lung Cancer, Lung Opacity	S24
Atelectasis, infiltration, consolidation, edema, emphysema, pneumothorax, fibrosis, pneumonia, effusion, cardiomegaly, nodule, pleural thickening, mass, along hernia	S23, S26

Dapat dilihat bahwa kombinasi terbanyak yang digunakan yaitu 2 kelas dengan total 27 penelitian, 2 kelas ini didominasi oleh kelas normal-covid-19. Hal ini disebabkan karena pada sumber data sekunder *Kaggle*, *CovidX* dan *ChestXpert* menyediakan dataset khusus citra sinar-X covid-19 dengan jumlah yang sangat banyak dari berbagai sumber sebagai dampak dari kasus pandemi Covid-19. Begitupun dengan kombinasi dengan penyakit pneumonia, setelah ditelusuri lebih jauh pada *kaggle*, pneumonia merupakan penyakit dengan jumlah *dataset* terbanyak serta terbagi menjadi pneumonia viral dan pneumonia bacteria. Selain itu, terdapat sebuah pusat data citra sinar-X yang ternyata mampu menyediakan data penyakit sinar-X hingga 14 macam penyakit dari ChestXray-14.

C. Pertanyaan 3: Apa saja jenis arsitektur *Deep Learning* yang digunakan dalam penelitian yang diteliti?

Untuk mengetahui jenis metode yang digunakan, maka penulis membagi metode ke dalam 3 kelompok yang terdiri dari “*single scratch approach*”, “*transfer learning approach*”, dan “*ensemble approach*”. Peneliti menemukan bahwa *transfer learning* menjadi pilihan terbanyak yang digunakan dalam penelitian ini. Untuk perbandingan jenis metode dapat dilihat pada gambar 4 dan untuk penjabaran metode yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.



Gambar 4. Perbandingan jenis metode

Tabel 4. *Single Scratch Approach*

Arsitektur	Papers ID
<i>CNN Scratch</i>	S07, S08, S10, S11, S12, S15, S21, S22
<i>MDCXR4-Net (Proposed)</i>	S30
<i>GDNCNN (Proposed)</i>	S36
<i>PneuNetV1 (Proposed)</i>	S39
<i>DL-CRC (Proposed)</i>	S34
<i>XAI Model (Proposed)</i>	S42
<i>COV-SNET (Proposed)</i>	S43
<i>VGG-COVIDnet (Proposed)</i>	S50

Tabel 5. *Transfer Learning Approach*

Arsitektur	Papers ID
<i>ResNet-18</i>	S13
<i>ResNet-50</i>	S44
<i>ResNet50V2</i>	S2
<i>ResNet152V2</i>	S1, S9
<i>EfficientNetB-0</i>	S6
<i>EfficientNetB-1</i>	S3
<i>EfficientNetB-4</i>	S29
<i>VGG-16</i>	S4, S51
<i>VGG-16 (Modified)</i>	S38
<i>VGG-19</i>	S17, S28
<i>VGG-19 (Modified)</i>	S48
<i>MobileNet</i>	S5, S19, S20
<i>MobileNetV2 (Modified)</i>	S46
<i>Xception</i>	S16
<i>AlexNet</i>	S25
<i>VDSNet</i>	S26
<i>DenseNet-161</i>	S35
<i>DensNetCov-19 (Modified)</i>	S27
<i>InceptionRestNetV2</i>	S31
<i>Min-V3 (Modified)</i>	S45

Tabel 6. *Ensemble Approach*

Arsitektur	Papers ID
<i>CNN + PCA</i>	S14
<i>CNN + KNN</i>	S18
<i>OCNN-SVM</i>	S23

VGG16 + NN	S41
EfficientB0 + VGG16	S47
VGG19 + CNN	S24, S40
VGG19 + SVM	S33
VGG+RNN	S49
Xception + Unet	S32
DensNet201 + EfficientNetB0 + VGG-16	S37

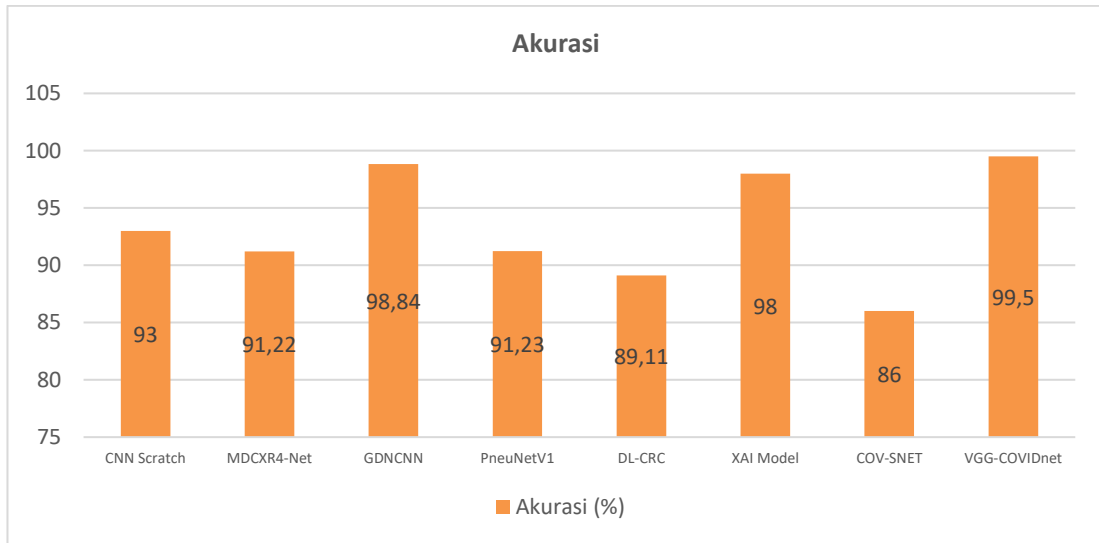
Dapat dilihat pada tabel 4 bahwa terdapat 15 artikel yang menggunakan satu pendekatan metode *deep learning*. 7 dari 15 artikel mengembangkan masing-masing metode baru untuk melakukan klasifikasi penyakit paru. Artikel S43 dan S50 mengembangkan sebuah metode baru khusus untuk melakukan klasifikasi pada penyakit paru Covid-19 yang dinamakan COV-SNET dan VGG-CovidNet. Selain itu, artikel S39 juga menciptakan model khusus untuk pneumonia yaitu PneuNetV1.

Pada tabel 5 membuktikan bahwa metode *transfer learning* adalah metode yang paling populer dalam mengembangkan sebuah model pembelajaran mesin. Sebanyak 25 artikel menggunakan metode *transfer learning* yang didominasi oleh metode VGG-16 dan VGG-19, sebanyak 6 artikel menggunakan bahkan memodifikasi metode VGG. VGG menjadi arsitektur yang cukup populer karena mampu menangkap fitur secara detail melalui banyaknya lapisan yang tersedia walaupun dengan waktu yang cukup lama. Selanjutnya, arsitektur ResNet, EfficientNet dan MobileNet juga menjadi arsitektur yang populer juga yang ditandai banyaknya artikel yang menggunakan arsitektur ini. Hal ini didasari bahwa ketiga arsitektur tersebut sangat mengedepankan efisiensi dan ukuran penggunaan, bahkan arsitektur seperti MobileNet juga dirancang khusus agar dapat diimplementasikan pada perangkat *mobile*.

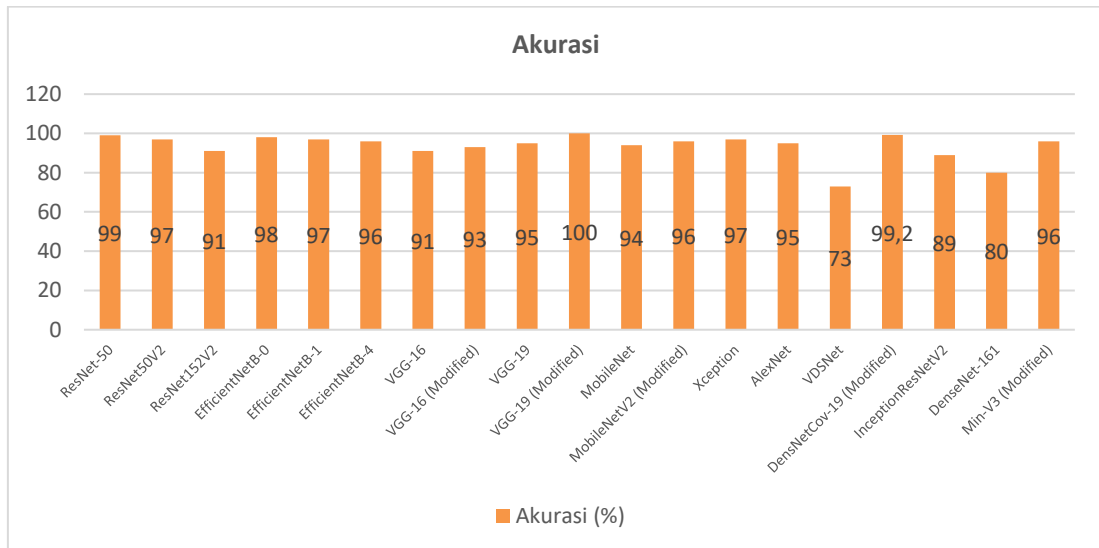
Pada tabel 6 menunjukkan bahwa pada saat ini, metode *hybrid* atau *ensemble* telah mulai diimplementasikan untuk pembelajaran mesin, bahkan hingga 3 metode sekaligus. Metode VGG-16 dan VGG-19 kembali menjadi metode terbanyak yang digunakan untuk dipadukan dengan metode lain. Selain itu, metode *ensemble* yang digunakan juga memadukan antara penggunaan *deep learning (modern)* dan *machine learning* tradisional, seperti CNN + KNN, VGG16 + NN, VGG19 + SVM. Metode penggabungan ini memadukan antara *deep learning* untuk melakukan ekstraksi fitur dan kemudian *machine learning* tradisional berperan sebagai *classifier*.

D. Pertanyaan 4: Arsitektur apa yang menghasilkan akurasi terbaik dalam penelitian yang diteliti?

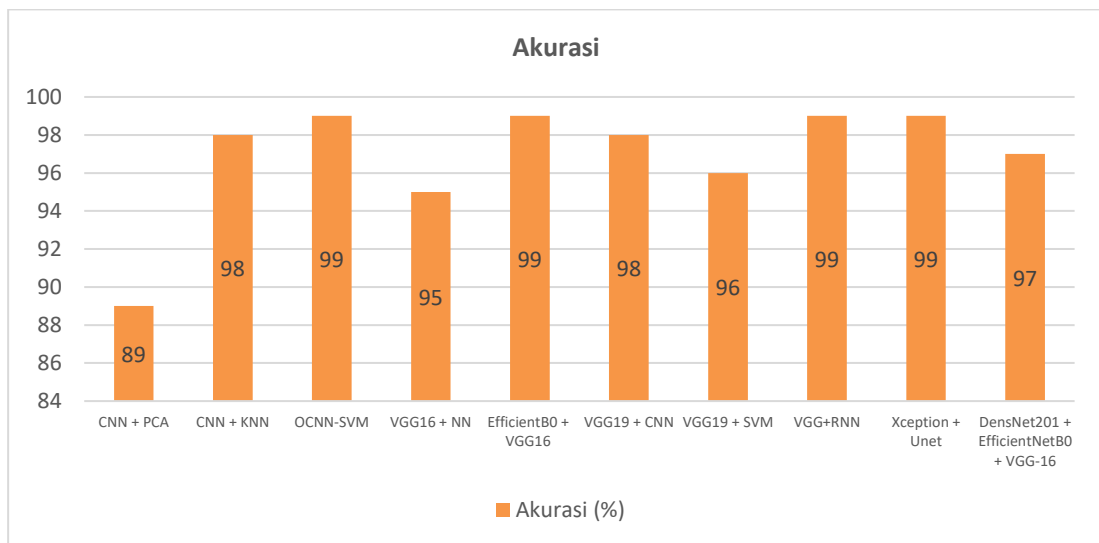
Untuk menjawab pertanyaan ini, maka peneliti akan membagi arsitektur yang digunakan dalam penelitian sesuai dengan jenis pendekatan yang digunakan. Perbandingan akurasi rata-rata masing-masing arsitektur dapat dilihat pada gambar 5,6 dan 7.



Gambar 5. Perbandingan akurasi Arsitektur *Single Approach*



Gambar 6. Perbandingan akurasi Arsitektur *Transfer Learning Approach*



Gambar 7. Perbandingan akurasi Arsitektur *Ensemble Approach*

Tabel 7. Akurasi Arsitektur *Single Scratch Approach*

Arsitektur	Papers ID	Akurasi
CNN Scratch	S07	92%,
	S08	96%
	S10	92%
	S11	100%
	S12	92%
	S15	87%
	S21	89%
	S22	93%
Akurasi Rata-rata CNN Scratch		93%
MDCXR4-Net	S30	91%
DL-CRC	S34	89%
GDNCNN	S36	99%
PneuNetV1	S39	91%
XAI Model	S42	98%
COV-SNET	S43	86%
VGG-COVIDnet	S50	99%

Tabel 8. Akurasi arsitektur *Transfer Learning*

Arsitektur	Papers ID	Akurasi
<i>ResNet-18</i>	S13	97%
<i>ResNet-50</i>	S44	99%
<i>ResNet50V2</i>	S2	97%
<i>ResNet152V2</i>	S1, S9	91%
<i>EfficientNetB-0</i>	S6	98%
<i>EfficientNetB-1</i>	S3	97%
<i>EfficientNetB-4</i>	S29	96%
<i>VGG-16</i>	S4, S51	91%
<i>VGG-16 (Modified)</i>	S38	93%
<i>VGG-19</i>	S17, S28	95%
<i>VGG-19 (Modified)</i>	S48	100%
<i>MobileNet</i>	S5, S19, S20	94%
<i>MobileNetV2 (Modified)</i>	S46	96%
<i>Xception</i>	S16	97%
<i>AlexNet</i>	S25	95%
<i>VDSNet</i>	S26	73%
<i>DenseNet-161</i>	S35	80%
<i>DensNetCov-19 (Modified)</i>	S27	99%
<i>InceptionRestNetV2</i>	S31	89%
<i>Min-V3 (Modified)</i>	S45	96%

Tabel 9. Akurasi arsitektur *Ensemble Approach*

Arsitektur	Papers ID	Akurasi
CNN + PCA	S14	89%
CNN + KNN	S18	98%
OCNN-SVM	S23	99%

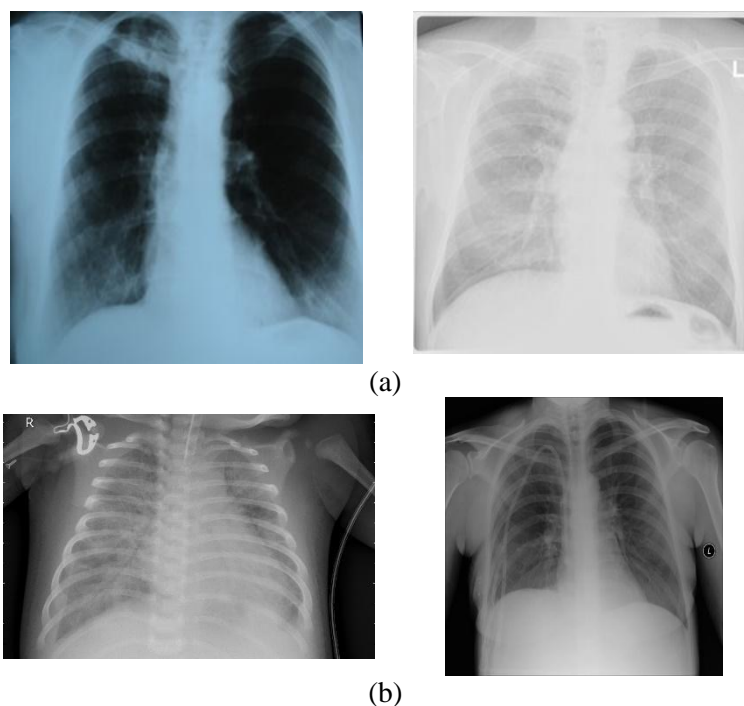
VGG16 + NN	S41	95%
EfficientB0 + VGG16	S47	99%
VGG19 + CNN	S24, S40	98%
VGG19 + SVM	S33	96%
VGG+RNN	S49	99%
Xception + Unet	S32	99%
DensNet201 + EfficientNetB0 + VGG-16	S37	97%

Pada tabel 7,8, dan 9, dapat dilihat perbandingan akurasi antara ketiga perbedaan pendekatan metode yang digunakan. Pada pendekatan *single scratch* menunjukkan bahwa pada saat ini telah banyak peneliti yang berusaha untuk mengembangkan metode baru dengan fundamental *deep learning*, bahkan terdapat dua *proposed model* yang mampu menyentuh akurasi 99% yaitu GDNCNN (S36) dan VGG-COVIDnet (S50), serta satu *Scratch CNN* yang berhasil menyentuh akurasi 100% yaitu artikel S11. Namun, terdapat juga beberapa *proposed model* yang memiliki akurasi dibawah 90% (*Excellent*) yaitu *proposed model* DL-CRC (S34) dengan akurasi 89% dan *proposed model* COV-SNET (S43) dengan akurasi 86%.

Pada pendekatan arsitektur *transfer learning* sebagai pendekatan yang mendominasi dalam penelitian ini, dapat dilihat bahwa dari 25 artikel, hanya 3 artikel yang memperoleh akurasi dibawah 90%. Bahkan, arsitektur *transfer learning* yang telah ada kemudian di modifikasi kembali dan mampu menghasilkan hasil yang lebih baik, seperti VGG-16 *modified* dari S38 dengan akurasi 93%, MobileNetV2 *modified* dari S46 dengan akurasi 96%, Min-V3 *modified* dari S45 dengan akurasi 96%, DensNetCov-19 dari S27 dengan akurasi 99% dan bahkan VGG-19 *modified* dari S48 mampu mencapai akurasi 100%. Namun, terdapat juga beberapa arsitektur *transfer learning* yang memberikan hasil yang masih dibawah akurasi 90% (*excellent*) yaitu InceptionResNetV2 dari S31 dengan akurasi 89%, DenseNet-161 dari S35 dengan akurasi 80%, dan bahkan VDSNet dari S26 yang memberikan akurasi kurang memuaskan yaitu 73%.

Pada pendekatan *ensemble approach* mampu menghasilkan akurasi yang sangat memuaskan, bahkan hampir semua akurasi sistem $\geq 95\%$, Hanya satu *ensemble approach* yang memiliki akurasi $<90\%$ yaitu CNN + PCA dari S14 dengan akurasi 89%. Namun, hal ini tetap membuktikan bahwa *ensemble learning* mampu menghasilkan hasil sistem yang stabil dan akurasi yang konsisten dengan mengombinasikan antara dua atau lebih arsitektur *deep learning* yang ada.

Dalam review 51 artikel yang membahas penggunaan *deep learning* untuk klasifikasi citra sinar-X penyakit paru, peneliti berhasil menemukan beberapa temuan dan informasi. Hanya 2 dari 51 artikel yang menggunakan data primer, sedangkan sisanya mengandalkan data sekunder dari sumber publik. Hal ini menunjukkan adanya gap yang signifikan dimana penelitian lebih banyak bergantung pada data publik tanpa adanya panduan langsung dari tenaga medis, sehingga mengurangi validitas dan akurasi hasil penelitian. Salah satu hal krusial dan menonjol adalah penggunaan data dari Kaggle. 30 artikel menggunakan *kaggle* sebagai sumber data. Setelah penelitian lebih mendalam terhadap data *kaggle* tersebut, semua peneliti langsung menggunakan data yang tersedia tanpa menyadari perbedaan ukuran paru-paru yang bervariasi antara anak-anak dan dewasa dan perbedaan kontras pada citra sinar-X, sehingga menimbulkan masalah bias fitur. Bias fitur memungkinkan model mempelajari fitur yang salah. Perbedaan ukuran dan kontras citra sinar-X akan mempengaruhi hasil *testing* sistem terhadap data asli. Perbedaan fitur dari sumber *kaggle* dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8 (a) Gambar Sumber *Kaggle* Tuberkulosis dengan kontras yang berbeda; (b) Gambar Sumber *Kaggle* dengan ukuran volume paru yang berbeda-beda

Tren metode yang digunakan dalam 51 artikel menunjukkan bahwa metode *transfer learning* semakin mendominasi. 25 artikel dari 51 memanfaatkan metode tersebut, diikuti oleh pendekatan *single scratch* yang menunjukkan peningkatan minat untuk mengusulkan model baru. Begitu pula dengan pendekatan *ensemble* yang menggabungkan beberapa arsitektur juga mulai banyak digunakan dalam penelitian. *Transfer learning* dan *ensemble approach* mampu mencapai akurasi yang lebih dari 90% secara konsisten hampir diberbagai studi, walaupun pada *transfer learning*, kesalahan pemilihan arsitektur karena ketidaksesuaian arsitektur terhadap kompleksitas data sangat memengaruhi. Namun, *ensemble approach* mampu membuktikan tingkat efektivitas penggunaan gabungan arsitektur, karena dengan gabungan arsitektur dapat saling menutupi kekurangan arsitektur yang lainnya. Oleh karena itu, masa depan penelitian klasifikasi penyakit paru-paru dapat berfokus pada pengembangan *dataset* yang lebih valid melalui pengambilan data secara langsung dari rumah sakit, disertai pengembangan metode *ensemble* dengan memadukan kombinasi-kombinasi arsitektur yang telah ada. Masih ada potensi besar untuk meningkatkan akurasi karena artikel-artikel yang menggunakan *ensemble approach* telah membuktikan konsistensi akurasi yang dihasilkan dari metode *ensemble*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Melalui penelitian yang telah dilakukan pada 51 artikel terkait dengan penggunaan arsitektur *deep learning* dalam klasifikasi penyakit paru melalui citra sinar-X, dapat disimpulkan bahwa *deep learning* memiliki potensi besar dalam meningkatkan akurasi klasifikasi penyakit paru-paru. Namun, ketergantungan yang tinggi pada data sekunder menghadirkan tantangan dalam hal validitas. Selain itu, perubahan cukup besar terjadi dimana pada awalnya, penekanan lebih pada mengadopsi pendekatan baru dan menguji metode *computer vision* untuk analisis sinar X-ray, kemudian pada saat ini, fokus dari penelitian yang ada telah bergeser menuju peningkatan akurasi dan efisiensi model, ditandai dengan banyaknya pengembangan metode yang adaptif dan kolaboratif (*ensemble*).

Penelitian selanjutnya perlu untuk berfokus pada masalah utama dari hampir seluruh penelitian yang menggunakan citra sinar-X yaitu masalah bias yang akan sangat memengaruhi hasil dari validasi sistem, terlebih tujuan sistem tersebut akan berhubungan dengan kesehatan yang merupakan hal krusial. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya juga harus berfokus pada transparansi dari sistem yang dibuat dengan mempertimbangkan kolaborasi secara langsung dengan tenaga medis dan rumah sakit. Penelitian selanjutnya perlu mengeksplorasi penggunaan model *ensemble* yang menggabungkan berbagai arsitektur *deep learning* untuk meningkatkan akurasi dan robustitas dalam klasifikasi penyakit paru berdasarkan citra sinar-X yang telah terbukti performanya dari hasil *review* literatur ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Dwi, P. Novianti, K. Yoga, D. Jendra, and M. S. Wibawa, "DIAGNOSIS PENYAKIT PARU PADA PEROKOK PASIF MENGGUNAKAN METODE CERTAINTY FACTOR," *Inser. Inf. Syst. Emerg. Technol. J.*, vol. 2, no. 1, 2021.
- [2] Sumiati, R. D. M. Badriyah, and A. Ariyani, "Sistem Pakar Untuk Diagnosa Penyakit Paru - Paru Menggunakan Metode Certainty Factor Di Puskesmas Citangkil," *ProTekInfo*, vol. 4, pp. 34–42, 2017.
- [3] D. R. Sari, "Implementasi Teknologi Informasi di Bidang Kesehatan," *umitra (Aritikel Mahasiswa)*, vol. 4, no. 8, pp. 1–2, 2021.
- [4] E. C. pearce, "ebook_Anatomi_dan_Fisiologi_untuk_Param.pdf." PT GRAMEDIA, 2016.
- [5] F. A. Natasya, "TATALAKSANA PNEUMONIA," *Med. Utama*, vol. 03, no. 02, 2022.
- [6] W. Hartono, "Segmentasi Paru-Paru Pada Citra X-Ray Thorax Menggunakan K-Means," *Sains Dan Teknol.*, 2017.
- [7] I. M. Dendi Maysanjaya, "Klasifikasi Pneumonia pada Citra X-rays Paru-paru dengan Convolutional Neural Network," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf. |*, vol. 9, no. 2, p. 190, 2020, [Online]. Available: <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/2807288>
- [8] Z. Jiang, M. Wang, and K. Liu, "Comparisons of Convolutional Neural Network and Other Machine Learning Methods in Landslide Susceptibility Assessment : A Case Study in Pingwu," *mdpi*, vol. 15, 2023.
- [9] D. Pati, L. Ap, L. N. Lorusso, and M. S. Arch, "How to Write a Systematic Review of the Literature," *Heal. Environ. Res. Des.*, vol. XX(X), pp. 1–16, 2017, doi: 10.1177/1937586717747384.
- [10] D. Priharsari, "SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW DI BIDANG SISTEM INFORMASI DAN SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW IN INFORMATION SYSTEMS AND COMPUTER ENGINEERING : A GUIDELINE," *JTIK*, vol. 9, no. 2, pp. 263–268, 2022, doi: 10.25126/jtik.202293884.
- [11] M. Ramadhan, D. I. Mulyana, and M. B. Yel, "OPTIMASI ALGORITMA CNN MENGGUNAKAN METODE TRANSFER LEARNING UNTUK KLASIFIKASI CITRA X-RAY PARU-PARU," *J. Tek. Inform. Kaputama*, vol. 6, no. 2, pp. 670–679, 2022.
- [12] A. S. Wiratama, M. Rifqi, S. Maesaroh, and U. Mercubuana, "EFEKTIVITAS TRANSFER LEARNING DALAM PENDETEKSIAN PENYAKIT PNEUMONIA MELALUI CITRA X-RAY PARU," *J. Ilm. Sains dan Teknol. Univ. Baten Jaya*, vol. 7, pp. 43–52, 2023.
- [13] A. K. Pangkasidhi, H. N. Palit, and A. N. Tjondrowiguno, "Aplikasi Pendukung Diagnosis COVID-19 Yang Menganalisis Hasil X-Ray Paru-Paru Dengan Model EfficientNet," *Univ. Kristen Petra*, no. 031.

- [14] T. Berliani *et al.*, “Perbandingan Kemampuan Klasifikasi Citra X-ray Paru-paru menggunakan Transfer Learning ResNet-50 dan VGG-16 VGG-16 Transfer Learning,” *Univ. Kristen Maranatha*, vol. 5, no. 2, pp. 123–135, 2023.
- [15] M. N. Achmadiah, J. M. Hasan, M. C. Hasani, and N. Setyawan, “Convolutional Neural Network (CNN) sebagai Metode Pendeteksi Penderita covid-19 pada x-ray,” *Univ. Muhammadiyah Surabaya*, vol. 5, no. 02, pp. 20–23, 2022.
- [16] J. Stanley, C. Lubis, and T. Handayani, “Sistem Pengenalan Covid-19 Berdasarkan Foto X-ray Paru dengan Metode EfficientNet-B0,” *Univ. Tarumanagara*, vol. 10, no. 2, 2022.
- [17] G. T. Indrawan, A. Nilogiri, H. Azizah, and A. Faruq, “Diagnosis COVID-19 Berdasarkan Citra X-ray Paru-Paru Menggunakan Metode Convolutional Neural Network Diagnose Of COVID-19 Based On X-ray Image Of The Lungs Using Convolutional Neural Network,” *UM Jember*, vol. 3, no. 4, pp. 340–349, 2022.
- [18] N. Hilmi and A. Saputra, “Implementasi HE, AHE, dan CLAHE Pada Metode Convolutional Neural Network untuk Identifikasi Citra X-Ray Paru-Paru Normal atau Terinfeksi Covid19,” *Univ. Negeri Semarang*, vol. 10, no. 128, pp. 1–9, 2023.
- [19] S. Bin, H. Amir, S. Nur, A. Fitriani, and A. M. Anwar, “Deteksi Citra X-Ray Paru-Paru Terinfeksi COVID-19 dengan Algoritma CNN Berbasis Aplikasi Web,” *Univ. Mulawarman*, vol. 17, no. 1, 2022.
- [20] S. Bahri, R. Wajhillah, and M. F. Adiwisasta, “Diagnosa Tuberculosis Paru Berbasis Citra X-ray,” *Lppm Ubsi Kampus Tasikmalaya*, vol. 6, no. September, pp. 181–186, 2021.
- [21] I. Bakti, M. Firdaus, T. Informasi, and T. Industri, “Klasifikasi File Gambar Hasil X-Ray Paru -Paru Dengan Arsitektur Convolution Neural Network (CNN),” *Inst. Shanti Bhwana*, vol. 3, no. 1, pp. 26–34, 2023.
- [22] P. Rahmadewi, J. Yanti, K. Harahap, and E. Indra, “Algoritma Deep Learning untuk Pengklasifikasian Penyakit Radang Paru-Paru pada Citra Chest X-Ray dengan Convolutional Neural Network,” *Univ. Mohammad Husni Thamrin*, vol. 9, no. 1, pp. 14–23, 2023.
- [23] Y. F. Cheah, “Chest X-Ray Classification of Lung Diseases Using Deep Learning,” *Tecno Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 12–18, 2021.
- [24] J. M. Pakela *et al.*, “Classification of pulmonary lesions based on CNN and chest X-ray images Classification of pulmonary lesions based on CNN and chest X-ray images,” *IOP*, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1952/2/022025.
- [25] M. Wei, Y. Zhao, Z. Qian, B. Yang, J. Xi, and J. Wei, “Pneumonia caused by Mycobacterium tuberculosis,” *Elsevier*, no. January, 2020.
- [26] K. Zhao, C. Feng, G. Han, and S. Yan, “Automatic Classification and Accuracy by Deep Learning Using CNN Methods in Lung Chest X- Ray Images Automatic Classification and Accuracy by Deep Learning Using CNN Methods in Lung Chest X-Ray Images,” *IOP*, vol. 1055, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1055/1/012099.
- [27] F. Yimer, A. W. Tessema, and G. L. Simegn, “Multiple Lung Diseases Classification from Chest X-Ray Images using Deep Multiple Lung Diseases Classification from Chest X-Ray,” *MDPI*, no. October, 2021, doi: 10.30534/ijtcse/2021/021052021.
- [28] F. Hussein, A. Mughaid, S. Alzu, S. M. El-salhi, and B. Abuhaija, “Hybrid CLAHE-CNN Deep Neural Networks for Classifying Lung Diseases from X-ray Acquisitions,” pp. 1–18, 2022.
- [29] T. Ouledroun, A. Ellahyani, and M. El Ansari, “Automated Pneumonia Detection using deep features in chest X-ray images,” *2023 3rd Int. Conf. Intell. Commun. Comput. Tech. ICCT 2023*, pp. 1–6, 2023, doi: 10.1109/ICCT56969.2023.10076157.
- [30] U. Khultsum, F. Sarasati, and G. Taufik, “Penerapan Metode Mobile-Net Untuk Klasifikasi Citra Penyakit Kanker,” vol. 9, no. 5, pp. 1366–1374, 2022, doi: 10.30865/jurikom.v9i5.4918.
- [31] O. Stephen, M. Sain, U. J. Maduh, and D. U. Jeong, “An Efficient Deep Learning Approach to Pneumonia Classification in Healthcare,” *J. Healthc. Eng.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/4180949.

- [32] V. Sreeprada and K. Vedavathi, “^ ĐŝĜŶĐĜ ŝđĜĐ† ^ ĐŝĜŶĐĜ ŝđĜĐ† Lung Cancer Detection from X-Ray Images using Hybrid Deep Lung Cancer Detection from X-Ray Images using Hybrid Deep Learning Technique Learning Technique,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 230, no. 2023, pp. 467–474, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2023.12.102.
- [33] G. Mufarah, M. Alshmrani, Q. Ni, R. Jiang, H. Pervaiz, and N. M. Elshennawy, “ORIGINAL ARTICLE A deep learning architecture for multi-class lung diseases classification using chest X-ray (CXR) images,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 64, pp. 923–935, 2023, doi: 10.1016/j.aej.2022.10.053.
- [34] P. Abirami, K. M. Darshan, S. P. A. Kirubha, S. Latha, and P. Muthu, “Materials Today : Proceedings Smart access development for classifying lung disease with chest x-ray images using deep learning,” *Mater. Today Proc.*, vol. 47, pp. 76–79, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.03.650.
- [35] S. Bharati, P. Podder, and M. R. H. Mondal, “Informatics in Medicine Unlocked Hybrid deep learning for detecting lung diseases from X-ray images,” *Informatics Med. Unlocked*, vol. 20, p. 100391, 2020, doi: 10.1016/j.imu.2020.100391.
- [36] E. Mahamud, N. Fahad, S. M. Zain, K. Ong, and M. Goh, “An explainable artificial intelligence model for multiple lung diseases classification from chest X-ray images using fine-tuned transfer learning,” *Decis. Anal. J.*, vol. 12, no. May, p. 100499, 2024, doi: 10.1016/j.dajour.2024.100499.
- [37] S. Hamal, B. Kumar, R. Baldock, W. Sayers, T. Narayan, and R. M. Gibson, “A comparative analysis of machine learning algorithms for detecting COVID-19 using lung X-ray images,” *Decis. Anal. J.*, vol. 11, no. February, p. 100460, 2024, doi: 10.1016/j.dajour.2024.100460.
- [38] A. Nikul, R. Murugan, G. Srivastava, and P. Kumar, “An explainable transfer learning framework for multi-classification of lung diseases in chest X-rays,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 98, no. December 2023, pp. 328–343, 2024, doi: 10.1016/j.aej.2024.04.072.
- [39] A. Bennour, N. Ben, O. Ibrahim, F. Ghabban, W. Wong, and S. Algburi, “Heliyon Contribution to pulmonary diseases diagnostic from X-ray images using innovative deep learning models,” *Heliyon*, vol. 10, no. 9, p. e30308, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e30308.
- [40] M. Thilakarathne, M. Ahmed, and M. Thilakarathne, “ScienceDirect Conference on Hybrid Hybrid Inception Inception Architecture Architecture with with Residual Residual Connection : Connection : Deep Learning Model Fine-tuned Inception-ResNet Deep Learning Model for for Lung Lung Inflammation Diagnosis from Chest Radiographs Inflammation Diagnosis from Chest Radiographs,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 235, pp. 1841–1850, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.04.175.
- [41] V. Sharma, S. K. Gupta, and K. K. Shukla, “Deep learning models for tuberculosis detection and infected region visualization in chest X-ray images,” *Intell. Med.*, vol. 4, no. 2, pp. 104–113, 2024, doi: 10.1016/j.imed.2023.06.001.
- [42] M. Abdullah, F. Abrha, B. Kedir, and T. T. Tagesse, “Heliyon A Hybrid Deep Learning CNN model for COVID-19 detection from chest X-rays,” *Heliyon*, vol. 10, no. 5, p. e26938, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26938.
- [43] S. Sakib, T. Tazrin, and M. M. Fouda, “DL-CRC : Deep Learning-Based Chest Radiograph Classification for COVID-19 Detection : A Novel Approach,” vol. 8, no. July, pp. 171575–171589, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3025010.
- [44] J. D. E. Moura *et al.*, “Deep Convolutional Approaches for the Analysis of COVID-19 Using Chest X-Ray Images From Portable Devices,” vol. 8, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3033762.
- [45] R. G. Babukarthik, V. A. K. Adiga, and G. Sambasivam, “Prediction of COVID-19 Using Genetic Deep Learning Convolutional Neural Network (GDCNN),” vol. 8, pp. 177647–177666, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3025164.
- [46] A. Hussain, S. U. L. Amin, H. Lee, A. Khan, N. F. Khan, and S. Seo, “An Automated Chest X-Ray Image Analysis for Covid-19 and Pneumonia Diagnosis Using Deep

- Ensemble Strategy,” *IEEE Access*, vol. 11, no. August, pp. 97207–97220, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3312533.
- [47] T. Xu and Z. Yuan, “Convolution Neural Network With Coordinate Attention for the Automatic Detection of Pulmonary Tuberculosis Images on Chest X-Rays,” *IEEE Access*, vol. 10, no. August, pp. 86710–86717, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3199419.
- [48] M. K. Gourisaria and V. Singh, “PneuNetV1 : A Deep Neural Network for Classification of Pneumothorax Using CXR Images,” *IEEE Access*, vol. 11, no. May, pp. 65028–65042, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3289842.
- [49] D. M. Ibrahim, N. M. Elshennawy, and A. M. Sarhan, “Deep-chest : Multi-classification deep learning model for diagnosing COVID-19 , pneumonia , and lung cancer chest diseases,” *Comput. Biol. Med.*, vol. 132, p. 104348, 2021, doi: 10.1016/j.combiomed.2021.104348.
- [50] S. Sharma and K. Guleria, “ScienceDirect ScienceDirect A Deep Learning based model for the Detection of Pneumonia from A Deep Learning based model for the Detection of Pneumonia from Chest X-Ray Images using VGG-16 and Neural Networks Chest X-Ray Images using VGG-16 and Neural Networks,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 218, pp. 357–366, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.01.018.
- [51] C. C. Ukwuoma *et al.*, “Deep learning framework for rapid and accurate respiratory COVID-19 prediction using chest X-ray images,” *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 35, no. 7, p. 101596, 2023, doi: 10.1016/j.jksuci.2023.101596.
- [52] R. Hertel and R. Benlamri, “Informatics in Medicine Unlocked COV-SNET : A deep learning model for X-ray-based,” *Informatics Med. Unlocked*, vol. 24, no. April, p. 100620, 2021, doi: 10.1016/j.imu.2021.100620.
- [53] B. Hossain, S. M. H. Sazzad, M. Islam, and N. Akhtar, “Informatics in Medicine Unlocked Transfer learning with fine-tuned deep CNN ResNet50 model for classifying COVID-19 from chest X-ray images,” *Informatics Med. Unlocked*, vol. 30, no. March, p. 100916, 2022, doi: 10.1016/j.imu.2022.100916.
- [54] R. Thangaraj, P. Pandiyan, J. Ramakrishnan, R. Nallakumar, and S. Eswaran, “Healthcare Analytics A deep convolution neural network for automated COVID-19 disease detection using chest X-ray images,” *Healthc. Anal.*, vol. 4, no. November, p. 100278, 2023, doi: 10.1016/j.health.2023.100278.
- [55] S. Dilshad *et al.*, “Results in Physics Automated image classification of chest X-rays of COVID-19 using deep transfer learning,” *Results Phys.*, vol. 28, no. December 2020, p. 104529, 2021, doi: 10.1016/j.rinp.2021.104529.
- [56] S. Kumar and H. Kumar, “ScienceDirect ScienceDirect Efficient-VGG16 : A Novel Ensemble Method for the A Novel X-ray Ensemble Method for the to Classification of COVID-19 Images in Contrast Classification of COVID-19 X-ray Images in Contrast to Machine and Transfer Learning Machine and Transfer Learning,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 235, no. 2023, pp. 1289–1299, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.04.122.
- [57] A. Bhatt, A. Ganatra, and K. Kotecha, “Heliyon COVID-19 pulmonary consolidations detection in chest X-ray using progressive resizing and transfer learning techniques,” *Heliyon*, vol. 7, no. June, p. e07211, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07211.
- [58] M. Islam, Z. Islam, A. Asraf, and M. S. Al-rakhami, “BenchCouncil Transactions on Benchmarks , Standards and Evaluations Diagnosis of COVID-19 from X-rays using combined CNN-RNN architecture with transfer learning,” *BenchCouncil Trans. Benchmarks, Stand. Eval.*, vol. 2, no. 4, p. 100088, 2023, doi: 10.1016/j.tbench.2023.100088.
- [59] L. Goyal, A. Dhull, A. Singh, S. Kukreja, and K. Kant, “ScienceDirect ScienceDirect VGG-COVIDNet : A Novel model for COVID detection from X- Ray and model CT Scan VGG-COVIDNet: A Novel for images COVID detection from X- Ray and CT Scan images,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 218, no. 2022, pp. 1926–1935, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.01.169.
- [60] M. Tabaa, H. Fahmani, M. El, and H. Bensag, “ScienceDirect ScienceDirect

ScienceDirect Covid-19 ' s Rapid diagnosis Open platform based on X-Ray Imaging and Open Deep platform Learning based on X-Ray Imaging Covid-19 ' s Rapid diagnosis,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 177, pp. 618–623, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.10.088.