

PERANCANGAN APLIKASI DETEKSI TUBERKULOSIS BERBASIS PENGOLAHAN CITRA X-RAY DENGAN METODE YOLOv8

1st Allika Fadia Haya

*Shool of Biomedical Engineering
Telkom University*

Bandung, Indonesia

allikafadia@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Hilman Fauzi T.S.P

*Shool of Biomedical Engineering
Telkom University*

Bandung, Indonesia

hilmanfauzisp@telkomuniversity.ac.id

3rd Thomhert S. Siadari

*Shool of Biomedical Engineering
Telkom University*

Bandung,

Indonesia

thomhert@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Tuberkulosis (TBC) merupakan salah satu penyakit menular utama yang menjadi masalah kesehatan global, termasuk di Indonesia. Deteksi dini sangat penting untuk mencegah penyebaran penyakit TBC, namun proses deteksi secara konvensional. Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi berbasis kecerdasan buatan untuk membantu mempercepat dan mempermudah proses deteksi penyakit TBC melalui citra *x-ray* paru. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi model kecerdasan buatan berbasis pengolahan citra *x-ray* paru menggunakan metode YOLOv8 untuk mendeteksi TBC, dengan menggunakan dataset citra *x-ray* yang telah diproses dan dianotasi, serta mengukur performa sistem dalam mendeteksi TBC pada citra *x-ray* paru. Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa tahapan, yakni pengumpulan dataset citra *x-ray*, *preprocessing*, penggunaan CLAHE untuk deteksi bercak pada paru-paru, integrasi model ke dalam aplikasi, dan evaluasi performa sistem. Selama proses pelatihan, beberapa parameter penting diuji, seperti *learning rate*, *IoU threshold*, *confidence threshold*, dan *optimizer*, untuk mengoptimalkan keyakinan dalam deteksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan AdamW sebagai *optimizer* dengan *IoU* 0.5 dan *confidence threshold* 0.25 menghasilkan performa terbaik, dengan *mAP* mencapai 88%, presisi 81.5%, *recall* 84.6%, dan *F1-score* 83%. Penggunaan CLAHE pada dataset *x-ray* meningkatkan kemampuan deteksi objek, terutama bercak yang terkait dengan TBC.

Selain itu, aplikasi yang telah dibuat menggunakan model ini berhasil mendeteksi TBC secara langsung dan memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mendiagnosis TBC tanpa membutuhkan tenaga medis yang berpengalaman. Secara keseluruhan, model yang dibangun dapat diandalkan untuk membantu deteksi dini TBC berbasis citra *x-ray*, dengan potensi untuk digunakan pada layanan Kesehatan.

Kata Kunci—Deteksi TBC, YOLOv8, citra *x-ray*, deteksi bercak, aplikasi medis

I. PENDAHULUAN

Tuberkulosis (TBC) adalah penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang menyerang paru-paru [1]. Bakteri *Mycobacterium tuberculosis* dapat menular ke manusia melalui percikan dahak (droplet) saat penderita sedang batuk atau bersin [2]. Penyakit ini dapat menyerang siapa saja dan semua bagian tubuh, bukan hanya di paru-paru saja. TBC merupakan salah satu penyakit yang masih menjadi masalah kesehatan di dunia, terutama di Indonesia.

Menurut data dari Kementerian Kesehatan, Indonesia mencatat lebih dari 724.309 kasus TBC yang baru ditemukan pada tahun 2022, dan jumlahnya terus meningkat menjadi 792.404 kasus pada tahun 2023 [3]. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan kasus TBC tertinggi di dunia. Upaya untuk mendeteksi TBC secara dini sangatlah penting untuk mengurangi angka penularan. Tetapi masyarakat masih menormalisasikan tanda-tanda gejala penyakit TBC, seperti batuk berbulan-bulan, sesak nafas, dan nyeri dada. Gejala penyakit tersebut bukan merupakan batuk atau sakit biasa, tetapi ialah gejala penyakit TBC.

Pemeriksaan TBC dilakukan dengan pemeriksaan fisik, seperti batuk yang berlangsung selama 3 minggu atau lebih dan nyeri di bagian dada, dan batuk berdarah atau dahak. Agar pemeriksaan fisik tersebut dapat menguatkan diagnosa TBC ini akan ditinjau lebih dalam dengan melakukan pemeriksaan *x-ray*. Pemeriksaan melalui *x-ray* paru merupakan salah satu alat skrining dan triase yang direkomendasikan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) untuk mendeteksi TBC. Namun, proses analisis citra *x-ray* ini memerlukan waktu dan keahlian dokter yang berpengalaman untuk mendiagnosis penderita TBC. Maka, dapat menyebabkan keterlambatan dalam mendiagnosis TBC, yang berpotensi dapat memperburuk kondisi pasien dan risiko penularan penyakit dengan cepat [1]. Ahli Epidemiologi dari Universitas Griffith Australia, Dicky Budiman, menyatakan, "Akses terbatas pada layanan kesehatan yang berkualitas, khususnya di daerah terpencil, kepulauan, lalu tingkat kemiskinan yang tinggi dikombinasikan dengan kurangnya jumlah peralatan kesehatan, termasuk tenaga kesehatan yang profesional yang bisa menangani cepat. Kombinasi semua itu menyebabkan keterlambatan diagnosis dan terapi TBC" [4]. Dengan adanya pernyataan tersebut, dapat disimpulkan bahwa permasalahan pada diagnosa penyakit TBC di Indonesia saat ini masih dilakukan secara konvensional oleh tenaga kesehatan di daerah terpencil, dan keterbatasan akses layanan kesehatan di daerah terpencil. Hal ini dapat menyebabkan hasil analisis *x-ray* paru yang tidak konsisten dan perbedaan diagnosis antar dokter, yang menjadi salah satu tantangan dalam mendeteksi penyakit TBC. Oleh

karena itu, dibutuhkan teknologi pengolahan citra berbasis kecerdasan buatan (AI) untuk menganalisis *x-ray* paru dengan lebih efisien guna membantu tenaga medis maupun dokter dalam memberikan diagnosis yang lebih jelas [5].

Berbagai teknologi, seperti aplikasi berbasis *Deep Learning* (DL), kini banyak digunakan untuk menganalisis citra *x-ray* paru dalam berbagai penelitian. Dalam penelitian ini, penulis membuat aplikasi Android untuk mendeteksi penyakit TBC dengan pengolahan citra *x-ray* paru menggunakan metode *Convolutional Neural Networks* (CNN) dengan arsitektur YOLOv8, yang dapat mendeteksi objek bercak pada TBC maupun yang non penyakit, serta mengklasifikasikan citra *x-ray* paru. CNN unggul dalam mengekstraksi fitur citra, sementara YOLOv8 dipilih karena kemampuannya dalam deteksi objek, segmentasi, pelacakan, dan klasifikasi.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat aplikasi Android dalam mendeteksi bercak citra *x-ray* paru, yang dapat memudahkan tenaga medis maupun dokter dalam diagnosa awal pada bercak citra *x-ray* secara digital. Dengan demikian, aplikasi ini dapat menghemat waktu dalam mendeteksi TBC dan sangat bermanfaat untuk layanan kesehatan di daerah terpencil yang kekurangan tenaga medis berpengalaman, yang pada akhirnya dapat membantu menekan penyebaran penyakit TBC di Indonesia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Paru-paru

Paru-paru merupakan alat pernapasan manusia yang berfungsi sebagai tempat menukar oksigen yang berasal dari udara dengan karbondioksida dari darah yang dilakukan oleh alveolus. Darah akan menyerap oksigen dari alveolus yang dibawa ke jantung untuk dipompa ke seluruh tubuh, setelah itu akan menghasilkan karbondioksida yang dikembalikan ke paru-paru untuk dikeluarkan dari tubuh melalui pernapasan. Pada gambar 1 terdapat ilustrasi paru-paru normal tanpa ada infeksi atau penyakit[6].



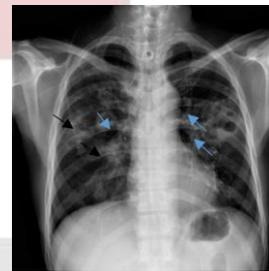
Gambar 1. Paru-paru

B. Penyakit Paru-paru

Penyakit paru-paru dapat menyerang berbagai bagian dalam sistem pernapasan manusia, seperti alveolus, pleura, trakea, bronkiolus, dan organ lainnya yang berperan dalam proses respirasi. Ketika paru-paru terinfeksi oleh bakteri atau virus, berbagai penyakit dapat muncul, di antaranya tuberkulosis (TBC), pneumonia, flu, dan penyakit paru-paru lainnya.

Penyakit-penyakit ini dapat mempengaruhi fungsi pernapasan dan menurunkan kualitas hidup, sehingga penting untuk mengenali gejala dan melakukan deteksi dini untuk penanganan yang lebih efektif [8].

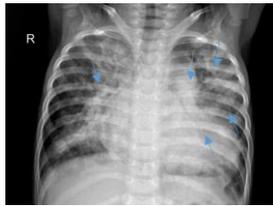
- Penyakit Tuberkulosis atau TBC merupakan penyakit infeksi kronis yang umumnya menyerang paru-paru. TBC dibagi menjadi dua jenis, yaitu TB aktif dan TB laten. TB laten merupakan penyakit paru-paru yang tidak menunjukkan gejala dan tidak menular. [7], sedangkan TB aktif mudah menular melalui droplet (percikan dahak) secara langsung saat penderita bersin, batuk, dan membuang ludah yang disebabkan oleh bakteri *mycobacterium tuberculosis* [9] [2]. Bakteri ini menyebabkan infeksi pada paru-paru yang dapat dilihat pada gambar 2. dengan bercak putih pada paru-paru, menunjukkan kekeruhan pada paru kanan dan kiri. Selain itu, ada tanda khas dapat



Gambar 2. Citra *X-ray* Tuberkulosis pada Paru

terlihat yang menunjukkan adanya infeksi, salah satunya adalah lesi paru menular (infiltrasi), yang biasanya tampak sebagai area gelap yang menyebar, terutama di bagian atas paru-paru, pada gambar 2 terdapat panah hitam. Lalu adanya kavitas yaitu pembentukan rongga yang lebih besar pada jaringan paru, pada gambar 2 terdapat panah hitam. Pada TBC yang sudah lama atau kronis, proses penyembuhan dapat menyebabkan penyusutan paru (fibrosis), yang mengarah pada pembentukan jaringan parut.[10].

- Pneumonia adalah peradangan pada paru-paru yang disebabkan oleh infeksi mikroorganisme, seperti bakteri, virus, atau jamur. Gejalanya bisa bervariasi dari ringan hingga berat, dengan batuk berdahak, demam, dan sesak napas sebagai tanda-tanda utama. Infeksi ini mengakibatkan penumpukan cairan dan nanah, yang dikenal sebagai konsolidasi paru pada citra *x-ray*. Konsolidasi ini muncul sebagai area putih atau lebih padat pada gambar *x-ray*, pada gambar 3 terdapat panah biru. Dalam kasus pneumonia yang lebih parah, efusi pleura dapat terjadi, di mana cairan terkumpul di ruang pleura antara paru-paru dan dinding dada, yang terlihat sebagai area gelap di sepanjang tepi paru [13], yang dapat dilihat pada gambar 3. Hal ini menyebabkan penderita mengalami kesulitan bernapas, karena alveoli tidak dapat berfungsi dengan baik dalam pertukaran oksigen.



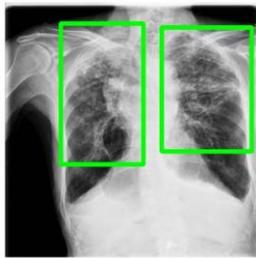
Gambar 3. Citra X-ray Pneumonia pada Paru

C. Artificial Intelligence (AI)

Artificial Intelligence (AI) atau yang biasa disebut dengan kecerdasan buatan merupakan suatu program dalam bidang komputer yang dapat meniru manusia. AI sangat berguna dan membantu manusia dalam kehidupan sehari-hari, seperti kesehatan, industri, keamanan, dan sebagainya. Sistem AI ini dapat menganalisis dalam membuat keputusan dengan menggunakan data yang sudah tersedia pada sistem[18].

D. Deteksi Objek

Deteksi objek atau *object detection* untuk mendeteksi suatu objek melalui gambar atau video. Digunakan untuk deteksi objek pada citra dibandingkan dengan objek referensi, apakah objek tersebut sesuai dengan yang ingin dideteksi atau tidak [20] [21], yang terlihat pada gambar 4 merupakan deteksi objek pada bercak TBC di paru-paru.



Gambar 4. Deteksi objek pada bercak paru-paru

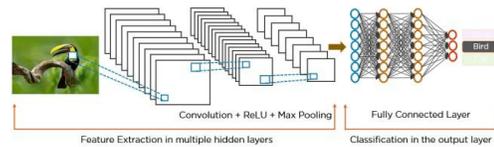
E. CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization)

Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) adalah teknik pengolahan citra yang bertujuan untuk meningkatkan kontras gambar secara lokal. Sifat adaptif pada CLAHE, yang dapat membuat gambar dengan pencahayaan yang tidak merata dengan mempertahankan kualitas visual gambar untuk meningkatkan kontras pada area terang dan gelap tanpa mengorbankan detail penting dalam gambar dengan menghindari *over-enhancement* [22]. Clip limit juga termasuk bagian penting yang digunakan untuk membatasi peningkatan kontras dalam setiap tile, yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut, yang memiliki satuan pixel:

$$\beta = \frac{M}{1 + \frac{u}{400}(S-1)} \cdot \cos \frac{\pi}{2}(a + \beta) \quad (1)$$

F. Convolutional Neural Network

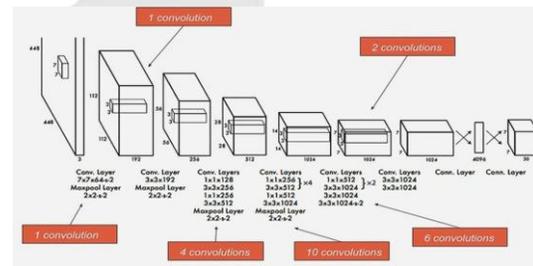
Convolutional Neural Network atau CNN untuk menganalisis gambar berbasis citra. Citra ialah gambar atau duplikasi dari objek tertentu. Arsitektur pada CNN, memiliki arsitektur pada suatu lapisan (*layer*) seperti, *input layer*, *feature extraction layer* yang salah satunya terdiri dari *hidden layer*, dan klasifikasi atau *output layer*[26], yang dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi Arsitektur CNN

G. YOLO (You Only Look Once)

YOLO merupakan salah satu jaringan saraf yang dapat mendeteksi objek dalam waktu *real-time*. YOLO melakukan pendekatan deteksi objek berbasis grid sel menggunakan jaringan saraf konvolusi tunggal, yang dapat dilihat pada gambar 6. Dengan ini, memungkinkan YOLO untuk mendeteksi objek langsung pada citra dengan kecepatan tinggi [27].



Gambar 6. Ilustrasi Arsitektur YOLO

H. Performansi sistem

- *Confusion matrix* yang dapat dilihat pada gambar 7, yang terdiri dari *True Positive* (TP), *True Negative* (TN), *False Positive* (FP), dan *False Negative* (FN).

| | | Actual | |
|-----------|----------|----------|----------|
| | | Positive | Negative |
| Predicted | Positive | TN | FN |
| | Negative | FP | TP |

Gambar 7. Confuion Matrix

- Akurasi merupakan ukuran ketepatan suatu sistem yang telah dirancang dalam mengenali masukan[39].

$$\text{Akurasi} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\% \quad (2)$$

- Presisi merupakan perbandingan nilai jumlah kelas positif yang dihasilkan secara total dari prediksi kelas positif [39].

$$Presisi = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\% \quad (3)$$

- *Recall* merupakan nilai untuk mengetahui seberapa baik suatu sistem dalam mengidentifikasi kelas positif dengan benar [39].

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \quad (4)$$

- F1-Score merupakan nilai keseimbangan atau rata-rata antara presisi dan recall [39].

$$F1-Score = 2 \times \frac{recall \times presisi}{recall + presisi} \times 100\% \quad (5)$$

- IoU adalah rasio perpotongan area kedua kotak terhadap area gabungannya [37].

$$IoU = \frac{\text{area of overlap}}{\text{area of union}} \quad (6)$$

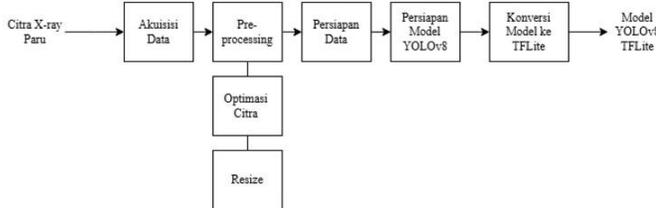
- mAP digunakan untuk mengukur akurasi model deteksi objek dengan menghitung rata-rata presisi untuk nilai *recall* pada setiap kelasnya yang menghasilkan nilai akhir [37].

$$mAP = \frac{1}{n} \sum_{i=1} AP_i \quad (7)$$

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Desain Sistem

Desain sistem merupakan alur langkah kerja pada sebuah penelitian atau membuat sebuah sistem agar sistem bekerja pada alurnya. Gambaran dari desain sistem dengan bentuk blok diagram, dilihat pada gambar 7.



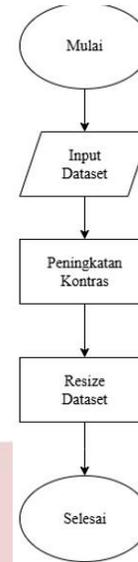
Gambar 8. Diagram Blok Desain Sistem

B. Akuisis Data

Akuisisi data dalam penelitian ini melibatkan pengumpulan dataset citra *x-ray* terdiri dari tiga kelas, yaitu TBC, Pneumonia, dan Non Penyakit (tidak keduanya). Setiap kelas terdiri dari 800 gambar.

C. Preprocessing

Preprocessing merupakan tahapan awal atau proses untuk memproses dataset, terlihat pada gambar 8. Dengan menggunakan LAB Color pada metode CLAHE dengan parameter clip limit = 2.0 dan tile grid size = (8, 8). Dilakukan proses *resize* dengan ukuran dataset 640x640 piksel.



Gambar 9. Flowchart Preprocessing Model.

D. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi dan mengukur tingkat performa, kekurangan, dan kelebihan sistem dari sebuah model YOLOv8 dan aplikasi yang dirancang dalam mendeteksi bercak TBC.

- Pengujian model YOLOv8 melakukan beberapa performansi sistem untuk mengklasifikasikan dataset citra *x-ray* paru. Berikut beberapa performansi, yaitu *confusion matrix*, akurasi, presisi, *recall*, F1-Score, IoU, dan mAP. Pada parameter pengujiannya, yaitu *optimizer*, *confidence threshold*, dan *learning rate*.
- Pengujian aplikasi pada penelitian ini, mencakup seperti pengujian kualitatif, waktu komputasi, dan jarak kamera terhadap citra *x-ray*. Tujuan dilakukannya yaitu, untuk memastikan bahwa aplikasi yang dibuat telah memiliki keakuratan dalam mendeteksi bercak.

IV. HASIL DAN ANALISIS

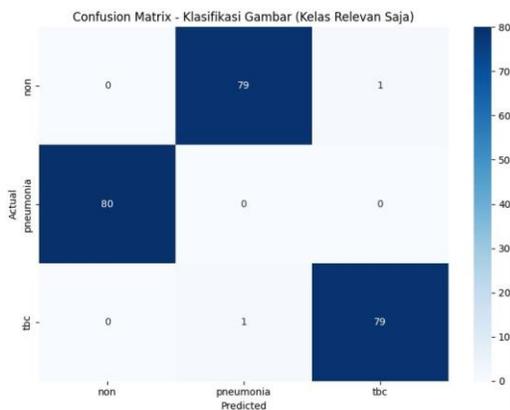
Berdasarkan hasil uji konfigurasi terhadap model, dapat dianalisis bahwa nilai-nilai parameter yang memberikan performa maksimal dalam proses deteksi objek pada citra *x-ray*, dapat dilihat pada tabel 1. Hasil evaluasi performa model

Tabel 1
HASIL PARAMETER MAKSIMAL

| NO | Parameter | Parameter Maksimal |
|----|----------------------|---------------------------|
| 1. | <i>Optimizer</i> | AdamW |
| 2. | IoU | 0.5 |
| 3. | <i>Confidence</i> | 0.25 |
| 4. | <i>Learning Rate</i> | lr0=0.001 final lr=0.0001 |

menunjukkan bahwa kombinasi parameter terbaik diperoleh nilai metrik evaluasi yang cukup maksimal dengan mAP sebesar 88%, presisi sebesar 81.5%, *recall* sebesar 84.6%, dan F1-score sebesar 83%.

Langkah selanjutnya adalah melakukan uji deteksi menggunakan dataset test. Dataset test ini dipilih karena berisi data yang belum pernah dilihat oleh model sebelumnya, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih objektif tentang kemampuan model dalam mendeteksi objek pada citra *x-ray* yang baru dan tidak terlibat dalam proses pelatihan. Hasil



Gambar 10. *Confusion Matrix* Uji Deteksi

uji deteksi dapat dilihat pada *confusion matrix* yang dapat dilihat pada gambar 10, bahwa model hanya menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mengklasifikasikan kelas TBC, namun kesulitan secara menyeluruh dalam mengenali kelas non dan pneumonia. Pada kelas non, sebanyak 79 gambar diklasifikasikan secara salah sebagai pneumonia, dan 1 gambar sebagai TBC, tanpa ada satupun yang dikenali sebagai kelas non secara benar. Hal ini, juga terjadi pada kelas pneumonia, di mana seluruh 80 gambar justru diklasifikasikan sebagai non. Sebaliknya, pada kelas TBC, model menunjukkan performa yang sangat tinggi dengan 79 gambar berhasil diklasifikasikan secara benar, dan hanya satu gambar yang salah diklasifikasikan sebagai pneumonia.

Metrik evaluasi uji deteksi pada nilai akurasi, presisi, *recall*, F1-Score dan mAP masing-masing memiliki nilai sebesar 32.92%. Disebabkan adanya ketidakseimbangan karena citra kelas TBC memiliki kualitas visual yang lebih baik dibandingkan kelas lainnya, baik dari segi resolusi maupun kontras. Selain tingkat keakuratan model, efisiensi aplikasi juga telah diuji melalui waktu komputasi dan pengaruh jarak kamera terhadap citra *x-ray*, yang menunjukkan bahwa aplikasi dapat memberikan hasil deteksi dalam waktu rata-rata 42 detik, yang cukup efisien untuk penggunaan dalam *real-time*. Pada pengujian jarak kamera, aplikasi dapat mendeteksi objek dengan baik pada rentang 25 cm hingga 40 cm, sedangkan pada jarak lebih dari itu performa mulai menurun secara signifikan.

Selanjutnya, uji kualitatif oleh dokter spesialis paru menunjukkan bahwa aplikasi mampu mendeteksi area abnormal pada citra *x-ray* secara umum. Namun, dalam klasifikasi jenis penyakit masih belum akurat dan tidak sepenuhnya sesuai dengan diagnosis dokter. Oleh karena itu, meskipun aplikasi ini menunjukkan potensi sebagai alat bantu diagnosis awal,

tetap diperlukan evaluasi lanjutan dan validasi klinis untuk memastikan hasil deteksi sebelum digunakan sebagai alat diagnosis.

Secara keseluruhan, model deteksi berbasis YOLOv8 ini sudah menunjukkan hasil yang cukup baik, terutama dalam mendeteksi kelas TBC. Namun, model masih mengalami kesulitan dalam mengenali kelas pneumonia dan non, yang disebabkan oleh perbedaan kualitas citra pada dataset. Selain itu, dari pengujian waktu komputasi dan jarak kamera, aplikasi juga terbukti mampu memberikan hasil deteksi dengan cukup cepat dan akurat dalam jarak tertentu. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa meskipun aplikasi ini sudah bekerja dengan cukup baik, tetapi masih perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut, khususnya pada perbaikan dataset dan validasi medis, agar hasil deteksi yang dihasilkan dapat lebih akurat dan mendukung diagnosis awal pada layanan kesehatan.

V. SIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada sistem deteksi bercak pada citra *x-ray* menggunakan metode YOLOv8, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Model YOLOv8 mampu mendeteksi penyakit TBC dengan cukup baik. Meskipun model masih kesulitan dalam mendeteksi dua kelas lainnya, yaitu pneumonia, dan non. Hal ini terjadi karena ketidakseimbangan kualitas citra dalam dataset. Meskipun seluruh data telah melalui proses preprocessing menggunakan CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) dan augmentasi dengan YOLOv8, perbedaan kualitas citra ini masih mempengaruhi akurasi deteksi pada kedua kelas tersebut.
- Aplikasi yang dibangun menggunakan model YOLOv8 berhasil mengimplementasikan deteksi TBC dengan hasil visualisasi bounding box yang sesuai dengan area bercak citra *x-ray*. Pengujian kualitatif oleh dokter spesialis paru menunjukkan bahwa meskipun aplikasi dapat memberikan petunjuk yang tepat mengenai area bercak, klasifikasi jenis penyakit masih belum sesuai dengan diagnosis dokter. Oleh karena itu, meskipun aplikasi dapat digunakan sebagai alat bantu diagnosis awal, masih diperlukan validasi medis lanjutan melalui pemeriksaan lanjutan.
- Performatan sistem menunjukkan hasil yang baik dalam mendeteksi TBC pada citra *x-ray* dengan mAP 88%, presisi 81.5%, *recall* 84.6%, dan F1-score 83% pada dataset train dan val. Namun, pada dataset test, akurasi, presisi, *recall*, dan F1-score turun menjadi 32.92%, menunjukkan kesulitan deteksi pada pneumonia dan non, akibat ketidakseimbangan kualitas citra. Aplikasi mampu mendeteksi dalam waktu rata-rata 42 detik, cukup efisien untuk deteksi secara langsung. Pengujian jarak kamera menunjukkan aplikasi maksimal pada rentang 25 cm hingga 40 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. A. H. Dedi Suharman, "Sistem Diagnosa Penyakit TBC Berdasarkan Gambar X-ray Dengan Dense Convolutional Network (DENSENET)," *Prosiding Senakama*, vol. 1, 2022.

- [2] Y. K. Banhae and M. Agustina, "Analisa Faktor Pengetahuan Dan Sikap Dengan Perilaku Pencegahan TB Paru Pada Kontak Serumah Selama Era New Normal COVID 19," *Jurnal Penelitian Perawat Profesional*, vol. 5, pp. 43-50, 2023.
- [3] Sehat Negeriku, "Kasus TBC Tinggi Karena Perbaikan Sistem Deteksi dan Pelaporan," *Sehat Negeriku*, 29 Januari 2024. [Online]. Available: <https://sehatnegeriku.kemkes.go.id/baca/rilis-media/20240129/2644877/kasus-tbc-tinggi-karena-perbaikan-sistem-deteksi-dan-pelaporan/>. [Accessed 10 Oktober 2024].
- [4] Ghita Intan, "Menkes: 400 Ribu Pengidap TBC Tidak Terdeteksi dan Berpotensi Menularkan," *VOA Indonesia*, 2023.
- [5] D. R. A. Muhamad Soleh, Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network Untuk Klasifikasi Citra X-ray Paru-paru Dalam Sistem Aplikasi Pendeteksi Tuberkulosis, Tangerang: Institut Teknologi Indonesia, 2024.
- [6] Y"Lungs," *Cleveland Clinic*, 15 Agustus 2022. [Online]. Available: <https://my.clevelandclinic.org/health/body/8960-lungs>. [Accessed 23 Oktober 2024].
- [7] M.-M. Cheng, Y. Liu and W. Y. Yu-Huan , "Rethinking Computer-aided Tuberculosis Diagnosis," *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 2643-2652, 2020.
- [8] M. A. BRILLIANTO, *Klasifikasi Tuberkulosis Dan Pneumonia Pada Gambar X-ray Anak Menggunakan Metode Ekstraksi Statistika Orde Satu*, Bandung: Universitas Telkom, S1 Teknik Telekomunikasi, 2022.
- [9] L. H. Aulia Rasyid, "Klasifikasi Penyakit Tuberculosis (TB) Organ Paru Manusia Berdasarkan Citra Rontgen Thorax Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN)," *Jurnal Manajemen Informasi Kesehatan Indonesia*, vol. 11, 2023.
- [10] B. A. A. Ubaidi, "The Radiological Diagnosis of Pulmonary Tuberculosis (TB) in Primary Care," *ClinMed*, 2018.
- [11] . J. E. Luján-García, M. A. Moreno-Ibarra, Y. Villuendas-R and C. Yáñez-Márquez , "Fast COVID-19 and Pneumonia Classification Using Chest X-ray Images," *Mathematics*, vol. 8, p. 1423, 2020.
- [12] L. M. Sobron Yamin, "Implementasi Artificial Intelligence Pada System Manufaktur Terpadu," *Jurusan Teknologi Industri, Fakultas Teknik*, 2021.
- [13] R. A. Muhammad Faatih, *Deteksi Objek Pada Citra Radiologi Untuk Mendeteksi Penyakit TBC (Tuberculosis) Menggunakan Metode YOLOv5*, Institut Teknologi Sumatera, 2023.
- [14] S. M. W. Ningrum , R. M. Yusup and A. F. Anugrah, "Pendeteksi Objek Menggunakan OpenCV Dan Metode YOLOv4-TINY Untuk Membantu Tunanetra," *Journal of Computer Science and Information Technology (JCSIT)*, vol. 1, pp. 59-68, 2024.
- [15] R. Lionnie and M. Alaydrus, "Studi Efek Ekualisasi Histogram dan CLAHE dalam Mendeteksi Fitur Wajah Manusia," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 15, no. Ekualisasi Histogram, p. 91, 2024.
- [16] D. P. Derry Alamsyah, "Implementasi Convolutional Neural Networks (CNN) Untuk Klasifikasi Ekspresi Citra Wajah Pada FER-2013 Dataset," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 4, pp. 350-355, 2020.
- [17] M. A. Setiawan, D. N. Alfarizi, D. Aditya and R. A. Pangestu, "Penggunaan Metode YOLO Pada Deteksi Objek: Sebuah Tinjauan Literatur Sistematis," *Jurnal AI dan SPK : Jurnal Artificial Intelligent dan Sistem Penunjang Keputusan*, vol. 1, pp. 54-63, 2023.
- [18] Vineeth S.Subramanyam, "Data Folks Indonesia," *Medium*, 7 Januari 2021. [Online]. Available: <https://medium.com/analytics-vidhya/iou-intersection-over-union-705a39e7acef>. [Accessed 12 Desember 2024].
- [19] A. A. SUAIB, *Identifikasi COVID-19 Berdasarkan Citra X- ray Paru-paru Menggunakan Metode Local Binary Pattern Dan Random Forest*, Bandung: Universitas Telkom, S1 Teknik Telekomunikasi, 2022.