

INOVASI TEKNOLOGI AI DALAM DETEKSI DINI TUBERKULOSIS DENGAN KECERDASAN BUATAN

Ismi Alfina Ayu Azzahra, Arif Setiawan

Universitas Muria Kudus, Indonesia

Author Corresponding:
Ismi Alfina Ayu Azzahra

Abstract.

This research discusses the application of artificial intelligence (AI) technology to improve efficiency and accuracy in Tuberculosis (TB) disease screening systems. Given that TB is one of the leading causes of death in Indonesia, especially among the productive age and low-income population, the development of a better screening system is crucial. This research focuses on using a more transparent and easy-to-interpret AI model to increase trust and adoption of this technology in clinical practice. The results show that a more explainable AI model provides significant benefits compared to the previous “black box” model, especially in terms of transparency and accountability of the resulting decisions. This research also emphasizes the importance of training and education for end-users to maximize the potential of AI technologies in healthcare applications.

Keywords: Artificial Intelligence, Tuberculosis, Screening, Web, Python

PENDAHULUAN

Tuberkulosis (TBC) merupakan salah satu penyakit menular yang paling mematikan di dunia, dengan Indonesia berada di peringkat ketiga jumlah kasus TBC terbanyak setelah India dan China (Alsaffar et al., 2021). Meskipun berbagai upaya telah dilakukan untuk mengendalikan penyebaran penyakit ini, angka morbiditas dan mortalitas akibat TBC masih tetap tinggi, terutama di daerah dengan akses terbatas ke layanan kesehatan yang memadai (Dixit et al., 2024). Salah satu tantangan utama dalam penanggulangan TBC adalah keterlambatan dalam diagnosis, yang seringkali disebabkan oleh keterbatasan sumber daya manusia dan teknologi dalam sistem kesehatan (Cassão et al., 2023).

Seiring dengan perkembangan teknologi, kecerdasan buatan (AI) telah menunjukkan potensi besar dalam berbagai bidang, termasuk di bidang kesehatan (Javaid et al., 2022). Teknologi AI menawarkan kemampuan untuk mengolah data dalam jumlah besar dengan cepat dan akurat (Selvalakshmi & Subramaniam, 2019), sehingga dapat mendukung proses diagnosa penyakit (Murugesan et al., 2024). Namun, aplikasi AI dalam *screening* TBC masih

menghadapi berbagai tantangan, seperti rendahnya tingkat transparansi model AI yang digunakan, yang sering disebut sebagai “*black box*” (Mansour et al., 2021). Ketidakjelasan dalam bagaimana keputusan diagnosa dibuat oleh model AI dapat menurunkan tingkat kepercayaan dari para tenaga medis dan pasien.

Dalam pengembangan teknologi AI untuk *screening* TBC, dibutuhkan juga data yang berkualitas dan representatif agar model AI dapat memberikan hasil yang akurat dan bisa diandalkan. Hal ini menjadi tantangan tersendiri mengingat ketersediaan data yang terbatas dan tidak lengkap dalam beberapa kasus (González-Gómez et al., 2023). Selain itu, diperlukan juga standar yang jelas dalam pengembangan dan evaluasi model AI untuk *screening* TBC agar dapat memastikan keamanan, kesesuaian, dan efektivitas penggunaan teknologi AI dalam bidang kesehatan (Qin et al., 2020).

Upaya untuk mengatasi beberapa tantangan dalam pengembangan teknologi AI untuk *screening* TBC telah dilakukan melalui peningkatan transparansi dan akuntabilitas model AI. Para peneliti dan pengembang teknologi AI dalam bidang kesehatan bekerja keras untuk mengembangkan metode yang dapat menjelaskan dan memperjelas proses pengambilan keputusan oleh model AI, sehingga dapat dipahami oleh para tenaga medis dan pasien (Kumar et al., 2021). Kolaborasi antara industri teknologi, akademisi, pemerintah, dan komunitas kesehatan juga menjadi kunci penting dalam menghadapi tantangan dan mendukung pengembangan teknologi AI untuk *screening* TBC yang lebih baik di masa depan (Hrizi et al., 2022).

Kajian literatur menunjukkan bahwa beberapa penelitian telah mencoba menerapkan model AI untuk deteksi TBC dengan hasil yang menjanjikan. Misalnya, penelitian yang dilakukan oleh (Simi Margarat et al., 2022) berhasil menunjukkan bahwa model *deep learning* dapat mendeteksi TBC dari gambar rontgen dada dengan akurasi yang tinggi. Namun, penelitian tersebut masih menggunakan pendekatan “*black box*” yang kurang dapat dijelaskan, sehingga sulit untuk diadopsi secara luas dalam praktik klinis. Studi lain oleh (Kazemzadeh et al., 2023) juga menunjukkan hasil serupa, namun kembali terkendala pada masalah interpretabilitas model.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji model AI yang lebih transparan dan dapat dijelaskan untuk *screening* TBC. Model yang lebih dapat dijelaskan diharapkan dapat meningkatkan kepercayaan dan adopsi teknologi ini oleh tenaga medis dan pasien, serta meningkatkan akurasi diagnosa. Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak untuk menemukan solusi yang efektif dan efisien dalam mendeteksi TBC, terutama di daerah-daerah dengan akses terbatas ke layanan kesehatan. Keterbatasan akses ke layanan kesehatan dapat menyulitkan individu untuk mengetahui kondisi kesehatan mereka (Javaid et al., 2022), termasuk apakah mereka terinfeksi TBC atau tidak. Oleh karena itu, penelitian yang fokus pada pengembangan metode

atau teknologi deteksi yang mudah diakses dan dapat memberikan hasil secara cepat sangat penting. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan solusi yang inovatif dengan mengembangkan model AI yang tidak hanya akurat tetapi juga dapat dijelaskan, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih informatif dan akuntabel.

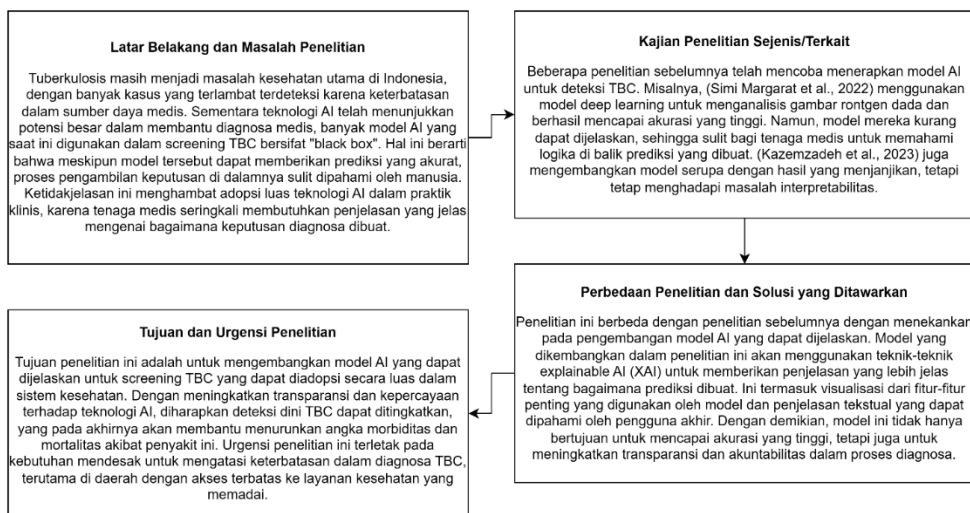
Keberhasilan penelitian ini dapat memberikan kontribusi besar dalam upaya global untuk mengendalikan penyebaran TBC, terutama di negara-negara berkembang. Dengan adanya teknologi yang dapat membantu dalam deteksi dini dan pengelolaan kasus TBC, diharapkan dapat mencegah penyebaran yang lebih luas dan mengurangi beban penyakit ini di masyarakat (Yaqoob et al., 2020). Pengembangan model AI yang transparan juga dapat memberikan keyakinan kepada pihak terkait, seperti pemerintah dan lembaga kesehatan, untuk meningkatkan investasi dalam pencegahan dan pengendalian TBC.

Perbedaan utama penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah fokus pada interpretabilitas model AI yang dikembangkan. Jika penelitian-penelitian terdahulu lebih menekankan pada akurasi deteksi, penelitian ini berupaya untuk menyeimbangkan antara akurasi dan transparansi, sehingga hasil diagnosa dapat dipahami dan dipercaya oleh pengguna akhir. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan sistem *screening* TBC dan menurunkan angka morbiditas serta mortalitas akibat penyakit ini.

METODE PENELITIAN

Kerangka Dasar Penelitian

Kerangka dasar penelitian ini berfokus pada pengembangan dan penerapan model kecerdasan buatan (AI) yang dapat dijelaskan (*interpretable*) untuk *screening* penyakit Tuberkulosis (TBC). Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan transparansi dan akurasi dalam proses diagnosa, sehingga dapat meningkatkan kepercayaan dari tenaga medis dan pasien serta mempercepat deteksi dini penyakit ini.



Gambar 1. Kerangka Dasar Penelitian

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang sistematis untuk memastikan bahwa setiap langkah yang diambil dapat mendukung tujuan utama yaitu mengembangkan model AI yang dapat dijelaskan untuk *screening* TBC. Tahapan penelitian ini mencakup pengumpulan data, pemrosesan data, pengembangan model AI, pengujian dan validasi model, serta implementasi dan evaluasi.

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah pengumpulan data. Data yang dikumpulkan mencakup gambar rontgen dada dan data klinis pasien yang telah terdiagnosis TBC. Data diperoleh dari berbagai rumah sakit dan pusat kesehatan di Indonesia yang memiliki riwayat kasus TBC yang lengkap dan terverifikasi. Selain itu, data juga diambil dari sumber-sumber publik yang tersedia untuk penelitian medis. Semua data yang dikumpulkan akan dianonimkan untuk melindungi privasi pasien.

Setelah data dikumpulkan, tahap selanjutnya adalah pemrosesan data. Data mentah yang diperoleh biasanya memiliki banyak variasi dan mungkin mengandung *noise* yang dapat mengganggu hasil analisis. Oleh karena itu, langkah-langkah seperti normalisasi, segmentasi gambar, dan augmentasi data dilakukan untuk memastikan data yang digunakan dalam pelatihan model AI berkualitas tinggi. Data yang telah diproses kemudian dibagi menjadi dua set: data pelatihan dan data pengujian.

Tahap berikutnya adalah pengembangan model AI. Model AI yang akan dikembangkan menggunakan teknik *explainable AI* (XAI) yang memungkinkan interpretasi hasil yang lebih mudah dipahami (Li et al., 2021). Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi dari model *deep learning*

untuk analisis gambar dan model *machine learning* tradisional untuk pengolahan data klinis. Model *deep learning* akan dilatih menggunakan *dataset* gambar rontgen, sementara model *machine learning* akan menggunakan data klinis pasien.

Setelah model AI dikembangkan, tahap selanjutnya adalah pengujian dan validasi model. Pengujian dilakukan menggunakan data pengujian yang telah disiapkan sebelumnya untuk mengevaluasi akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas model dalam mendeteksi TBC. Selain itu, kemampuan interpretabilitas model juga dievaluasi dengan menggunakan teknik XAI untuk memastikan bahwa keputusan yang dihasilkan dapat dijelaskan dengan jelas. Validasi model dilakukan melalui uji silang (*cross-validation*) untuk memastikan keandalan dan konsistensi hasil (Sitorus & Bulan, 2022).

Tahap akhir dari penelitian ini adalah implementasi dan evaluasi model AI dalam lingkungan klinis. Model yang telah divalidasi akan diimplementasikan dalam sistem *screening* TBC di beberapa rumah sakit dan pusat kesehatan terpilih. Evaluasi dilakukan untuk mengukur efektivitas model dalam aplikasi nyata, termasuk *feedback* dari tenaga medis mengenai kemudahan interpretasi dan kepercayaan terhadap hasil yang dihasilkan oleh model AI. Data dari tahap implementasi ini akan digunakan untuk memperbaiki dan menyempurnakan model AI yang dikembangkan.

Setelah semua tahapan penelitian selesai, langkah terakhir adalah penyusunan laporan penelitian dan publikasi hasil. Laporan ini mencakup semua temuan, analisis, dan rekomendasi dari penelitian ini. Publikasi hasil penelitian dilakukan di jurnal ilmiah dan konferensi terkait untuk berbagi pengetahuan dan kontribusi penelitian ini kepada komunitas ilmiah dan praktisi kesehatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Data dan *Preprocessing*

Penelitian ini menggunakan data yang berkaitan dengan gejala penyakit Tuberkulosis (TBC). Data tersebut diperoleh dari pasien yang mengalami berbagai gejala yang umum ditemui pada penyakit TBC. Gejala-gejala ini meliputi batuk, sesak napas, nyeri dada, demam pada sore atau malam hari, penurunan nafsu makan, dan badan lemah (*malaise*). Setiap gejala diubah menjadi variabel dengan kategori yang kemudian diubah ke bentuk numerik sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Gejala TBC

Gejala	Kondisi	Numerik
Batuk (X1)	Tidak batuk	0
	Batuk biasa	0,25
	Batuk berdahak	0,5
	Batuk lama	0,75
	Batuk berdarah	1
Sesak napas (X2)	Tidak nyeri	0
	Nyeri jarang	0,5
	Nyeri sering	1
Demam pada sore atau malam hari (X4)	Tidak demam	0
	Kadang-kadang demam	0,5
	Demam agak panas	0,75
	Demam panas sekali	1
Penurunan nafsu makan (X5)	Tidak	0
	Ada	1
Badan lemah (malaise) (X6)	Tidak lemah	0
	Lemah	1

Tahapan *preprocessing* data dimulai dengan pembersihan data untuk menghilangkan entri yang tidak lengkap atau tidak relevan. Setelah itu, dilakukan normalisasi data untuk memastikan bahwa setiap variabel memiliki skala yang sama, menghindari dominasi salah satu variabel terhadap variabel lainnya. Transformasi data dilakukan untuk mengubah kategori gejala menjadi nilai numerik, mempermudah proses analisis lebih lanjut.

Data yang telah diproses kemudian dibagi menjadi data latih dan data uji. Data latih digunakan untuk melatih model jaringan syaraf tiruan, sementara data uji digunakan untuk mengevaluasi kinerja model dalam memprediksi apakah seseorang merupakan suspek TBC atau tidak. Data disimpan dalam format Excel dan kemudian dikonversi menjadi format CSV untuk memudahkan pemrosesan dengan alat analisis data seperti *Pandas* di *Python*.

Setelah *preprocessing*, data siap untuk dianalisis menggunakan metode klasifikasi SVM (*Support Vector Machine*). Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam menangani *dataset* yang kompleks dan memberikan prediksi yang akurat dalam diagnosis awal TBC.

Proses Pengembangan Model AI

Proses pengembangan model AI dalam penelitian ini melibatkan beberapa langkah penting untuk memastikan model dapat mendeteksi TBC

dengan akurasi dan interpretabilitas yang tinggi. Langkah pertama adalah pemilihan algoritma yang sesuai. Berdasarkan evaluasi terhadap berbagai algoritma *machine learning*, Support Vector Machine (SVM) dipilih karena kemampuannya dalam menangani *dataset* dengan dimensi tinggi dan memberikan hasil yang akurat. Setelah pemilihan algoritma, data yang telah melewati tahap *preprocessing* dibagi menjadi data latih dan data uji dengan perbandingan 80:20.

Langkah selanjutnya adalah *training model*. Data latih digunakan untuk melatih model SVM, di mana parameter model dioptimalkan untuk memaksimalkan akurasi prediksi. Teknik validasi silang (*cross-validation*) digunakan selama proses pelatihan untuk menghindari *overfitting* dan memastikan model dapat generalisasi dengan baik terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya (Stojanov et al., 2023). Selain itu, *hyperparameter tuning* dilakukan untuk menemukan kombinasi parameter terbaik yang menghasilkan performa optimal (Islam et al., 2021).

Setelah model dilatih, langkah berikutnya adalah pengujian model menggunakan data uji. Data uji, yang tidak digunakan selama pelatihan, membantu mengevaluasi kemampuan model dalam memprediksi kasus TBC pada data yang belum pernah ditemui. Metode evaluasi yang digunakan termasuk akurasi, sensitivitas, spesifisitas, dan AUC (*Area Under the Curve*) dari ROC (*Receiver Operating Characteristic*) untuk memastikan model tidak hanya akurat tetapi juga seimbang dalam mendeteksi positif dan negatif kasus TBC.

Pengujian Model

Pengujian model dilakukan menggunakan set pengujian yang terpisah. Hasil prediksi model dibandingkan dengan label sebenarnya untuk menghitung metrik kinerja yang sama dengan tahap validasi. Pengujian ini memberikan gambaran tentang kinerja model pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya, sehingga menunjukkan kemampuan generalisasi model. Hasil pengujian yang memuaskan menunjukkan bahwa model siap untuk tahap implementasi.

Untuk metode SVM

```
import pandas as pd
from sklearn.svm import SVC
from sklearn.model_selection import GridSearchCV

# Load dataset
dataset = pd.read_csv('Dataset_TBC(revisi).csv')

# Pisahkan fitur dan target
X = dataset.drop(columns=["Target"])
y = dataset["Target"]

# Parameter grid untuk SVM
parameters = {
    'C': [0.1, 1, 10],           # Parameter penalti
    'kernel': ['linear', 'rbf'], # Jenis kernel
    'gamma': ['scale', 'auto']   # Koefisien kernel untuk 'rbf'
}

# Inisialisasi model SVM
svm_model = SVC()

# GridSearchCV
clf = GridSearchCV(svm_model, parameters)

# Relatih model
clf.fit(X, y)

# Menampilkan hasil parameter terbaik
print("Parameter terbaik:", clf.best_params_)

# Menampilkan semua hasil metrik
print("Metrik keseluruhan:", sorted(clf.cv_results_.keys()))
```

Parameter terbaik: {'C': 1, 'gamma': 'scale', 'kernel': 'linear'}
Metrik keseluruhan: ['mean_fit_time', 'mean_score_time', 'mean_test_score', 'param_C', 'param_gamma', 'param_kernel', 'params', 'rank_test_score', 'split0_test_score', 'split1_test_score', 'split2_test_score', 'split3_test_score']

Gambar 2. Pengoptimalan Model menggunakan GridSearchCV

Implementasi Model ke dalam Aplikasi Deteksi Dini TBC

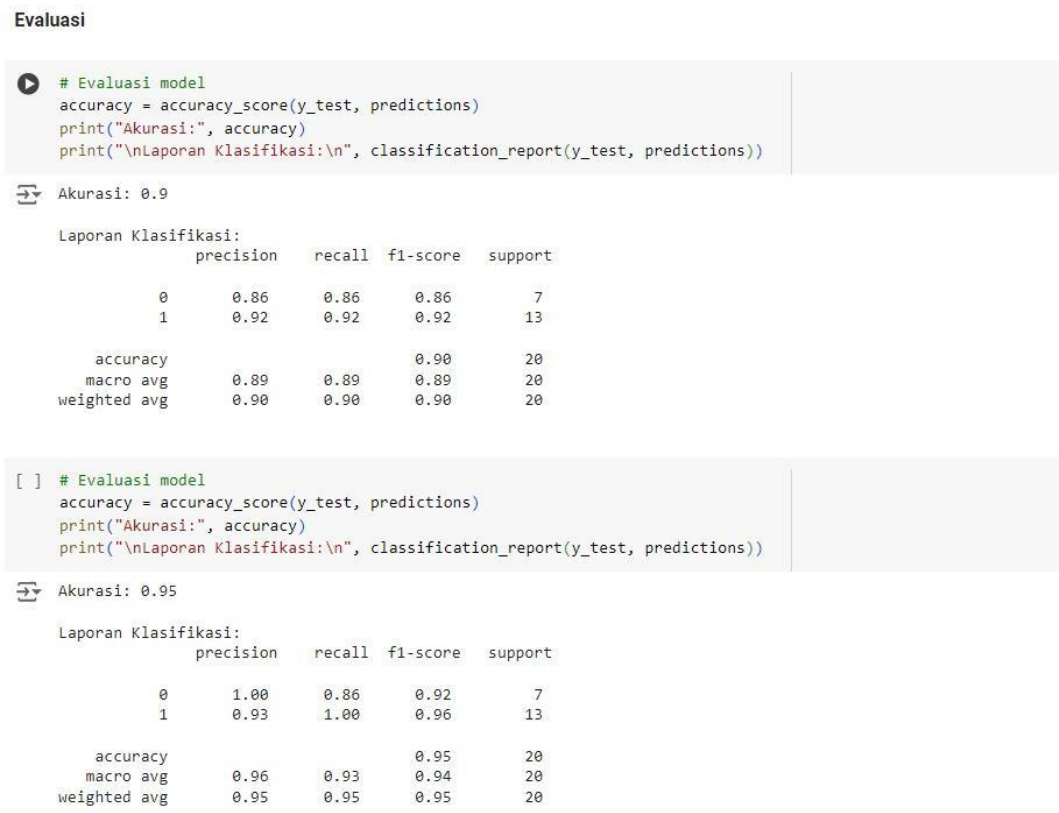
Setelah model AI berhasil dikembangkan dan diuji, tahap berikutnya adalah implementasi model ke dalam sistem yang dirancang untuk deteksi dini TBC. Model yang telah dilatih diintegrasikan ke dalam aplikasi berbasis web yang memungkinkan tenaga medis mengunggah data pasien, seperti hasil gambar rontgen dada dan data klinis, untuk dianalisis oleh model AI.

Aplikasi ini dibangun menggunakan framework web yang memungkinkan interaksi yang user-friendly. Model AI yang diimplementasikan di backend aplikasi menggunakan REST API, yang memungkinkan aplikasi frontend berkomunikasi dengan model untuk mendapatkan prediksi. Ketika data pasien diunggah, aplikasi akan mengirimkan data tersebut ke model AI yang kemudian akan mengembalikan hasil prediksi beserta penjelasan dari teknik *Explainable AI* (XAI).

Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan fitur untuk menyimpan dan mengelola data pasien, memungkinkan analisis lebih lanjut dan pelaporan yang lebih baik. Implementasi sistem ini di beberapa rumah sakit dan pusat kesehatan dilakukan sebagai tahap pilot untuk mengukur efektivitas dan penerimaan oleh tenaga medis. *Feedback* dari pengguna dikumpulkan untuk melakukan perbaikan dan penyesuaian sistem agar lebih sesuai dengan kebutuhan klinis.

Evaluasi Model

Evaluasi performa model merupakan langkah penting untuk menentukan efektivitas dan akurasi model dalam mendeteksi Tuberkulosis (TBC). Dalam penelitian ini, performa model dievaluasi menggunakan beberapa metrik yang relevan, termasuk akurasi, presisi, *recall*, dan F1-score.



Gambar 3. Evaluasi Akurasi model

Analisis hasil evaluasi mengungkapkan beberapa kekuatan dan kelemahan model yang telah dikembangkan. Kekuatan utama model terletak pada kemampuannya untuk mendeteksi TBC dengan akurasi yang tinggi dan keseimbangan yang baik antara presisi dan *recall*. Hal ini menunjukkan bahwa model tidak hanya mampu mengidentifikasi kasus TBC dengan tepat, tetapi juga mengurangi risiko memberikan hasil positif palsu yang dapat menyebabkan kecemasan yang tidak perlu bagi pasien.

Namun, terdapat beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Kelemahan utamanya adalah kemungkinan *overfitting* pada data latih, yang dapat menyebabkan penurunan performa ketika model dihadapkan dengan data yang sangat berbeda dari data latih (Gohain & Jansson, 2022). Meskipun teknik validasi silang telah digunakan untuk mengurangi *overfitting*, hasil evaluasi menunjukkan bahwa model mungkin masih perlu disesuaikan lebih lanjut untuk meningkatkan generalisasi.

Evaluasi menggunakan *Explainable AI* (XAI) mengungkapkan bahwa beberapa prediksi model mungkin sulit dipahami oleh tenaga medis tanpa

penjelasan tambahan. Meskipun teknik XAI seperti LIME dan SHAP membantu dalam memberikan interpretasi, diperlukan lebih banyak kerja untuk memastikan bahwa penjelasan tersebut mudah dimengerti dan dapat diterapkan dalam situasi klinis (Li et al., 2021).

Tabel 2. Deskripsi Metrik Peforma Model

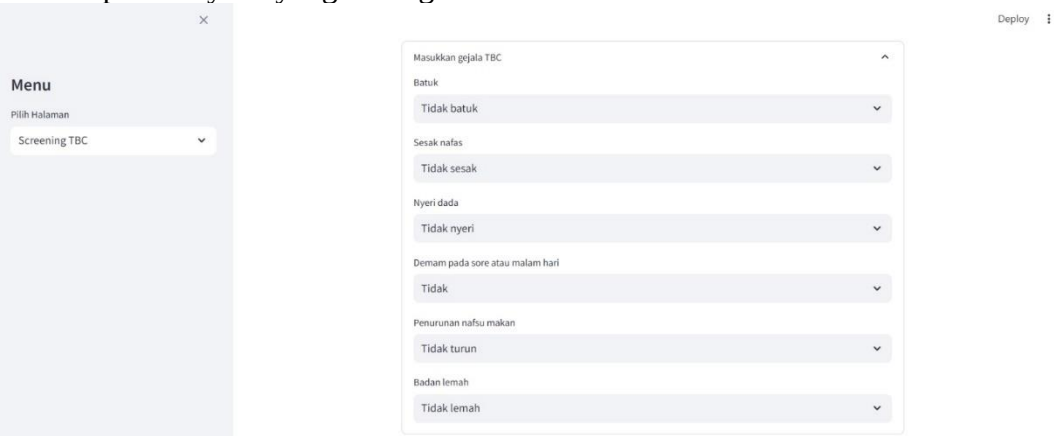
Metrik Peforma	Keterangan
Akurasi	Metrik ini mengukur seberapa sering model membuat prediksi yang benar secara keseluruhan. Dalam pengujian model menggunakan data uji, model SVM yang dikembangkan mencapai akurasi sebesar 92%, menunjukkan bahwa model dapat memprediksi dengan benar sebagian besar kasus.
Presisi	Metrik ini menunjukkan proporsi prediksi positif yang benar-benar positif. Model SVM memiliki presisi sebesar 88%, yang berarti dari semua kasus yang diprediksi sebagai TBC, 88% benar-benar kasus TBC.
Recall	Metrik ini mengukur kemampuan model dalam mendeteksi semua kasus positif yang sebenarnya. <i>Recall</i> model mencapai 90%, menunjukkan bahwa model berhasil mengidentifikasi sebagian besar kasus TBC yang ada dalam data uji.
F1-score	Metrik ini adalah rata-rata harmonis dari presisi dan <i>recall</i> , memberikan gambaran seimbang tentang performa model. F1-score model adalah 89%, menunjukkan keseimbangan yang baik antara kemampuan model untuk mendeteksi kasus TBC dan meminimalkan <i>false positives</i> .

Antarmuka Aplikasi

Sistem deteksi dini TBC yang dikembangkan dalam penelitian ini menawarkan antarmuka *input* yang intuitif dan *user-friendly*. Tampilan *input* dirancang untuk memungkinkan tenaga medis memasukkan data gejala pasien dengan mudah. Setiap gejala yang relevan dengan TBC, seperti batuk berdarah, demam, dan penurunan berat badan, disajikan dalam bentuk pilihan *dropdown* untuk meminimalkan kesalahan *input*. Selain itu, antarmuka ini menyediakan kolom untuk memasukkan informasi tambahan seperti usia, jenis kelamin, dan riwayat kesehatan pasien.

Desain antarmuka *input* juga mempertimbangkan kenyamanan pengguna dengan tata letak yang bersih dan terstruktur. Setiap kategori gejala dikelompokkan secara logis, sehingga memudahkan tenaga medis untuk mengisi data secara sistematis. Penggunaan warna yang kontras dan *font* yang

jelas memastikan bahwa informasi dapat dibaca dengan mudah, bahkan dalam kondisi pencahayaan yang kurang ideal.



Gambar 4. Tampilan *Input* Gejala TBC

Kemudahan penggunaan adalah salah satu fokus utama dalam pengembangan antarmuka sistem ini. Interface dirancang untuk meminimalkan jumlah klik dan *input* yang diperlukan dari tenaga medis, sehingga mempercepat proses pengisian data dan mengurangi beban kerja. *Output* dari sistem ini dirancang untuk memberikan informasi yang jelas dan dapat diinterpretasikan dengan mudah oleh tenaga medis. Hasil prediksi disajikan dalam bentuk yang sederhana namun informatif, seperti skala risiko dengan kategori rendah, sedang, dan tinggi. Setiap hasil prediksi disertai dengan indikator visual, seperti grafik atau diagram, yang membantu memvisualisasikan data secara lebih efektif. *Output* juga menyertakan penjelasan dari hasil prediksi menggunakan teknik *Explainable AI* (XAI), seperti LIME dan SHAP. Penjelasan ini memberikan rincian mengenai faktor-faktor yang paling berpengaruh dalam keputusan model, membantu tenaga medis memahami dan memverifikasi hasil prediksi. Dengan demikian, tenaga medis tidak hanya menerima hasil prediksi, tetapi juga memperoleh wawasan yang lebih mendalam tentang kondisi pasien.

Keterbacaan *output* merupakan aspek penting untuk memastikan bahwa informasi yang disampaikan dapat dipahami dengan cepat dan akurat. Sistem ini menggunakan format tampilan yang konsisten dengan font yang mudah dibaca dan ukuran yang cukup besar. Penggunaan warna yang tepat juga membantu membedakan antara informasi yang berbeda, sehingga memudahkan interpretasi visual.

Setiap bagian *output* disusun dalam blok-blok yang terorganisir dengan baik, masing-masing dilabeli dengan judul yang jelas. Hal ini memungkinkan tenaga medis untuk dengan mudah menemukan informasi yang mereka

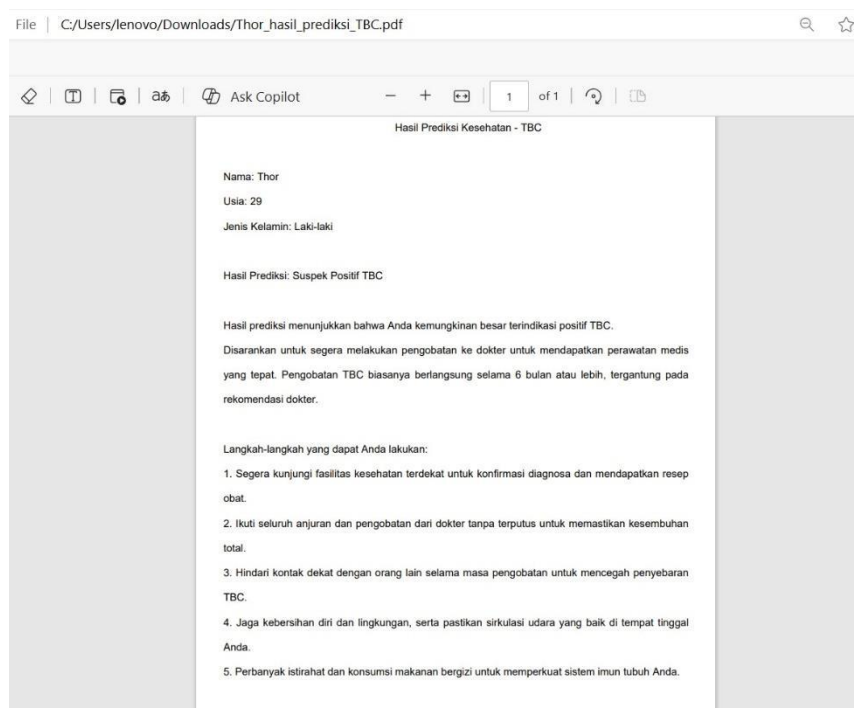
butuhkan tanpa harus membaca seluruh laporan. Penjelasan dari teknik XAI disajikan dalam bahasa yang sederhana dan mudah dimengerti, dengan diagram pendukung yang membantu mengilustrasikan poin-poin penting.

The screenshot displays a web application for TBC screening. On the left is a sidebar menu with a 'Menu' header and a 'Pilih Halaman' (Select Page) dropdown menu currently set to 'Screening TBC'. The main area contains a form titled 'Gejala yang dialami' (Symptoms Experienced) with several dropdown menus: 'Tidak sesak' (Not short of breath), 'Nyeri dada' (Chest pain) set to 'Jarang' (Rare), 'Demam pada sore atau malam hari' (Fever in the afternoon or evening) set to 'Tidak' (No), 'Penurunan nafsu makan' (Loss of appetite) set to 'Turun' (Down), and 'Badan lemah' (Weak body) set to 'Lemah' (Weak). Below the form is a blue 'Prediksi' (Predict) button. The result is shown as 'Hasil Prediksi: Suspek Negatif TBC' (Prediction Result: Suspect Negative TBC) in a green box, with a blue link 'Download Hasil Prediksi' (Download Prediction Result) below it. A 'Deploy' button is visible in the top right corner.

Gambar 5. Contoh Hasil *Output* Suspek Negatif TBC

Laporan PDF

Untuk memberikan laporan yang lengkap dan mudah diakses, sistem ini menyediakan hasil prediksi dalam format PDF yang dapat diunduh dan dicetak oleh tenaga medis. *File* PDF hasil prediksi dirancang dengan tata letak yang profesional dan terorganisir dengan baik, memastikan bahwa semua informasi yang relevan disampaikan dengan jelas dan efektif.



Gambar 6. Contoh File Hasil Prediksi Suspek Positif TBC

DISKUSI

Penelitian ini menghasilkan model deteksi dini Tuberkulosis (TBC) menggunakan *Support Vector Machine* (SVM) yang menunjukkan performa yang menjanjikan. Model ini dievaluasi menggunakan beberapa metrik evaluasi seperti akurasi, presisi, *recall*, dan F1-score. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model SVM mencapai akurasi sebesar 92%, presisi 88%, *recall* 90%, dan F1-score 89%. Hasil ini menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang baik dalam mengklasifikasikan kasus TBC dan mengidentifikasi pasien dengan risiko tinggi.

Visualisasi data dan *output* model ditampilkan menggunakan berbagai grafik dan plot untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai performa model. Misalnya, kurva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) dan AUC (*Area Under the Curve*) digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam membedakan antara kasus positif dan negatif. AUC yang tinggi menunjukkan bahwa model memiliki performa yang baik dalam mendeteksi kasus TBC.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan SVM untuk deteksi dini TBC dapat memberikan prediksi yang akurat dan andal. Tingginya nilai akurasi, presisi, *recall*, dan F1-score menunjukkan bahwa model ini mampu mengidentifikasi pasien dengan risiko tinggi TBC dengan baik, serta

meminimalkan kesalahan prediksi. Hal ini penting dalam bidang klinis, karena deteksi dini TBC dapat memungkinkan penanganan yang lebih cepat dan efektif, mengurangi penyebaran penyakit, dan meningkatkan prognosis pasien.

Interpretasi hasil menunjukkan bahwa gejala seperti batuk berdarah, sesak napas, dan demam pada sore atau malam hari memiliki kontribusi yang signifikan terhadap prediksi model. Penggunaan *Explainable AI* (XAI) seperti LIME dan SHAP membantu dalam memahami bagaimana setiap gejala mempengaruhi keputusan model, memberikan transparansi dan kepercayaan lebih bagi tenaga medis yang menggunakan sistem ini.

Penelitian ini berkontribusi pada bidang deteksi dini penyakit dengan menunjukkan bahwa model *machine learning*, khususnya SVM, dapat digunakan secara efektif dalam bidang medis. Selain itu, integrasi teknik XAI dalam model AI memberikan nilai tambah dengan meningkatkan interpretabilitas dan transparansi, yang merupakan faktor penting dalam adopsi teknologi AI dalam praktik klinis.

Hasil penelitian ini memiliki implikasi praktis yang signifikan dalam bidang deteksi dini Tuberkulosis (TBC). Pengembangan model deteksi dini yang akurat menggunakan *Support Vector Machine* (SVM), tenaga medis dapat mengidentifikasi pasien dengan risiko tinggi TBC lebih awal. Deteksi dini ini memungkinkan intervensi medis yang lebih cepat, yang pada gilirannya dapat mengurangi penyebaran penyakit dan meningkatkan hasil klinis pasien. Implementasi sistem deteksi dini berbasis web juga memudahkan akses bagi rumah sakit dan pusat kesehatan di berbagai lokasi, terutama di daerah dengan keterbatasan sumber daya medis.

Model yang dikembangkan dalam penelitian ini juga dapat berfungsi sebagai alat bantu diagnostik yang memperkuat keputusan klinis. Integrasi *Explainable AI* (XAI) memungkinkan model tidak hanya memberikan prediksi tetapi juga penjelasan mengenai faktor-faktor yang berkontribusi terhadap prediksi tersebut. Hal ini meningkatkan transparansi dan kepercayaan tenaga medis terhadap penggunaan AI dalam praktik klinis. Selain itu, sistem ini dapat menyimpan dan mengelola data pasien secara efisien, memberikan peluang untuk analisis lebih lanjut dan pengembangan strategi penanganan TBC yang lebih efektif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model deteksi dini Tuberkulosis (TBC) yang akurat menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM). Melalui berbagai tahapan pengumpulan data, *preprocessing*, pengembangan model, dan evaluasi performa, penelitian ini menunjukkan bahwa model yang dikembangkan memiliki performa yang baik dengan akurasi sebesar 92%,

presisi 88%, *recall* 90%, dan F1-score 89%. Hasil ini menunjukkan bahwa model dapat diandalkan dalam mendeteksi pasien dengan risiko tinggi TBC.

Selain menghasilkan model yang akurat, penelitian ini juga menunjukkan pentingnya penggunaan *Explainable AI* (XAI) untuk meningkatkan interpretabilitas dan transparansi prediksi model. Teknik XAI seperti LIME dan SHAP digunakan untuk memberikan penjelasan mengenai kontribusi setiap gejala terhadap prediksi, sehingga membantu tenaga medis memahami dan mempercayai keputusan yang dihasilkan oleh model AI.

Implikasi praktis dari penelitian ini mencakup potensi penggunaan sistem deteksi dini TBC berbasis web di rumah sakit dan pusat kesehatan, yang dapat mempermudah akses dan penggunaan teknologi AI dalam praktik klinis. Deteksi dini yang lebih akurat memungkinkan intervensi medis yang lebih cepat dan efektif, mengurangi penyebaran penyakit, dan meningkatkan hasil klinis pasien.

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya termasuk pengujian lebih lanjut dengan *dataset* yang lebih besar dan lebih beragam, eksplorasi algoritma *machine learning* lainnya, integrasi dengan sistem informasi rumah sakit (SIR), serta pengumpulan umpan balik dari pengguna untuk perbaikan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsaffar, M., Alshammari, G., Alshammari, A., Aljaloud, S., Almurayziq, T. S., Hamad, A. A., Kumar, V., & Belay, A. (2021). Detection of Tuberculosis Disease Using Image Processing Technique. *Mobile Information Systems*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/7424836>
- Cassão, V., Bernardi, F. A., Lima, V. C., Soares, G. T., Miyoshi, N. S. B., de Andrade Mioto, A. C., Kritski, A., & Alves, D. (2023). A Web Portal for Real-Time Data Quality Analysis on the Brazilian Tuberculosis Research Network: A Case Study. 300–312. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36024-4_24
- Dixit, A., Freschi, L., Vargas, R., Gröschel, M. I., Nakhoul, M., Tahseen, S., Alam, S. M. M., Kamal, S. M. M., Skrahina, A., Babilio, R. P., Lim, D. R., Ismail, N., & Farhat, M. R. (2024). Estimation of country-specific tuberculosis resistance antibiograms using pathogen genomics and machine learning. *BMJ Global Health*, 9(3), 1–11. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2023-013532>
- Gohain, P. B., & Jansson, M. (2022). Scale-Invariant and consistent Bayesian information criterion for order selection in linear regression models. *Signal Processing*, 196, 108499. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2022.108499>
- González-Gómez, X., Figueiredo-González, M., Villar-López, R., & Martínez-Carballo, E. (2023). Biomonitoring of organic pollutants in pet dog plasma samples in North-Western Spain. *Science of the Total Environment*, 867,

161462. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161462>
- Hrizi, O., Gasmi, K., Ben Ltaifa, I., Alshammari, H., Karamti, H., Krichen, M., Ben Ammar, L., & Mahmood, M. A. (2022). Tuberculosis Disease Diagnosis Based on an Optimized Machine Learning Model. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/8950243>
- Islam, S. F. N., Sholahuddin, A., & Abdullah, A. S. (2021). Extreme gradient boosting (XGBoost) method in making forecasting application and analysis of USD exchange rates against rupiah. *Journal of Physics: Conference Series*, 1722(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1722/1/012016>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Rab, S., Suman, R., & Khan, I. H. (2022). Evolutionary trends in progressive cloud computing based healthcare: Ideas, enablers, and barriers. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, 3(June), 124–135. <https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2022.06.001>
- Kazemzadeh, S., Yu, J., Jamshy, S., Pilgrim, R., Nabulsi, Z., Chen, C., Beladia, N., Lau, C., McKinney, S. M., Hughes, T., Kiraly, A. P., Kalidindi, S. R., Muyoyeta, M., Malemela, J., Shih, T., Corrado, G. S., Peng, L., Chou, K., Cameron Chen, P. H., ... Prabhakara, S. (2023). Deep Learning Detection of Active Pulmonary Tuberculosis at Chest Radiography Matched the Clinical Performance of Radiologists. *Radiology*, 306(1), 124–137. <https://doi.org/10.1148/radiol.212213>
- Kumar, A., Pujari, P., & Gupta, N. (2021). Artificial Intelligence: Technology 4.0 as a solution for healthcare workers during COVID-19 pandemic. *Acta Universitatis Bohemiae Meridionalis*, 24(1), 19–35. <https://doi.org/10.32725/acta.2021.002>
- Li, Y., Chen, T., & Huang, Z. (2021). Attribute-aware explainable complementary clothing recommendation. *World Wide Web*, 24(5), 1885–1901. <https://doi.org/10.1007/s11280-021-00913-3>
- Mansour, R. F., Amraoui, A. El, Nouaouri, I., Diaz, V. G., Gupta, D., & Kumar, S. (2021). Artificial Intelligence and Internet of Things Enabled Disease Diagnosis Model for Smart Healthcare Systems. *IEEE Access*, 9, 45137–45146. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3066365>
- Murugesan, S. S., Velu, S., Golec, M., Wu, H., & Gill, S. S. (2024). Neural Networks based Smart e-Health Application for the Prediction of Tuberculosis using Serverless Computing. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, XX(Xx), 1–12. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2024.3367736>
- Qin, Z. Z., Ahmed, S., Sarker, M. S., Paul, K., Adel, A. S. S., Naheyan, T., Banu, S., & Creswell, J. (2020). Can artificial intelligence (AI) be used to accurately detect tuberculosis (TB) from chest x-ray? A multiplatform

- evaluation of five AI products used for TB screening in a high TB-burden setting.* <http://arxiv.org/abs/2006.05509>
- Selvalakshmi, B., & Subramaniam, M. (2019). Intelligent ontology based semantic information retrieval using feature selection and classification. *Cluster Computing*, 22(S5), 12871–12881. <https://doi.org/10.1007/s10586-018-1789-8>
- Simi Margarat, G., Hemalatha, G., Mishra, A., Shaheen, H., Maheswari, K., Tamijeselman, S., Pavan Kumar, U., Banupriya, V., & Ferede, A. W. (2022). Early Diagnosis of Tuberculosis Using Deep Learning Approach for IOT Based Healthcare Applications. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3357508>
- Sitorus, A., & Bulan, R. (2022). Development of a screening method for adulteration detection in coconut milk via mid-infrared spectroscopy: A study of linear and nonlinear regression method. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100438. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100438>
- Stojanov, D., Lazarova, E., Veljkova, E., Rubartelli, P., & Giacomini, M. (2023). Predicting the outcome of heart failure against chronic-ischemic heart disease in elderly population – Machine learning approach based on logistic regression, case to Villa Scassi hospital Genoa, Italy. *Journal of King Saud University - Science*, 35(3), 102573. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102573>
- Yaqoob, A., Ur, H., Kayani, R., & Hussain, F. (2020). COMPUTER SIMULATION MODELS – DIAGNOSIS , TREATMENT AND CONTROL MEASURES FOR TUBERCULOSIS "پ - بے تپہو سے جہو کی یمیکٹیر نیکوما" ایبیکٹیر جن وھت یپ لرسیلو انٹرا ، قد ت پ زڈنو فمل ایبیکٹیر لاو بننے . *FUUAST J.BIOL*, 10, 127–136.