



Implementasi Kecerdasan Buatan dalam Diagnostik Laboratorium Klinik: Peluang dan Tantangan

Muhammad Fachrul Hidayat^{a*}

^aJurusan Teknologi Laboratprium Medis (Poltekkes Kemenkes Makassar, Indonesia)

*Corresponding author: fachrul@poltekkes-mks.ac.id, 085298607704

Abstract

Background: The rapid development of artificial intelligence (AI) has significantly influenced clinical laboratory services, particularly in improving diagnostic accuracy, efficiency, and workflow automation. **Objective:** This literatur review aims to analyze opportunities and challenges in implementing AI in clinical laboratory diagnostics. **Methods:** A literature review was conducted by searching articles from ScienceDirect, Medline/PubMed, Google Scholar, and national journal portals. The selection process applied predefined inclusion criteria, including articles published within the last five years (2021–2025), availability of full-text access, and relevance to AI implementation, ethical aspects, challenges, and impacts on clinical laboratory operations. **Results:** A total of 20 articles met the inclusion criteria and were analyzed in this review. The study results show that AI demonstrates strong potential in image analysis, laboratory automation, predictive diagnostics, and decision support systems. However, challenges such as algorithmic bias, data validity, ethical concerns, and regulatory uncertainty remain critical barriers. **Conclusion:** AI can substantially enhance clinical laboratory performance if implemented cautiously through validated systems, ethical frameworks, and competent human oversight.

Keywords: artificial intelligence; clinical laboratory; diagnostics; ethics

Abstrak

Latar Belakang: Perkembangan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) telah memberikan dampak signifikan terhadap layanan laboratorium klinik, terutama dalam peningkatan akurasi diagnostik, efisiensi, dan otomatisasi alur kerja. **Tujuan:** Artikel ini bertujuan untuk mengkaji peluang dan tantangan implementasi AI dalam diagnostik laboratorium klinik. **Metode:** Pencarian artikel dilakukan dengan menggunakan database ScienceDirect, Medline/Pubmed, Google Scholar, dan portal jurnal nasional. Artikel diseleksi dengan menggunakan kriteria inklusi yakni artikel dibatasi sejak lima tahun terakhir (2021-2025), dapat diakses full teks, dan membahas penerapan AI, aspek etika, tantangan serta dampaknya terhadap operasional laboratorium klinik. **Hasil:** Didapatkan 20 artikel yang memenuhi kriteria dalam studi review ini. Hasil studi menunjukkan bahwa AI berpotensi besar dalam analisis citra, otomatisasi laboratorium, prediksi klinis, dan sistem pendukung keputusan. Namun demikian, tantangan berupa bias algoritmik, validitas data, isu etika, dan ketidakpastian regulasi masih menjadi hambatan utama. **Simpulan:** Implementasi AI di laboratorium klinik perlu dilakukan secara hati-hati dengan validasi yang ketat, kerangka etika yang jelas, serta penguatan peran tenaga profesional.

Kata kunci: etika; diagnostik; kecerdasan buatan; laboratorium klinik

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan mendasar dalam praktik pelayanan kesehatan, termasuk pada laboratorium klinik. Laboratorium tidak lagi hanya berfungsi sebagai penyedia hasil pemeriksaan, tetapi juga sebagai pusat data diagnostik yang berperan penting dalam pengambilan keputusan klinis. Dalam konteks ini, kecerdasan buatan (AI) muncul sebagai solusi inovatif untuk mengelola kompleksitas data laboratorium yang semakin besar dan beragam (None & Singh, 2024).

Penerapan AI di laboratorium klinik mencakup berbagai aspek, mulai dari analisis citra patologi, interpretasi hasil kimia klinik, hingga otomatisasi operasional. Teknologi ini memungkinkan identifikasi pola yang sulit dikenali secara manual dan mengurangi variasi interpretasi antar tenaga laboratorium (Jackson *et al.*, 2021). Dengan demikian, AI berpotensi meningkatkan konsistensi dan akurasi diagnostik

Namun demikian, implementasi AI bukan tanpa tantangan. Isu etika, bias algoritmik, keamanan data, serta keterbatasan regulasi menjadi perhatian serius dalam penerapan teknologi ini di bidang kesehatan (Pennestri & Banfi, 2022). Oleh karena itu, kajian komprehensif mengenai peluang dan tantangan AI di laboratorium klinik diperlukan agar pemanfaatannya dapat berjalan optimal dan bertanggung jawab.

Selain mendorong peningkatan kualitas diagnostik, pemanfaatan AI di laboratorium klinik juga dipandang sebagai respons terhadap tantangan sistem kesehatan modern, seperti meningkatnya beban pemeriksaan, keterbatasan sumber daya manusia, dan tuntutan efisiensi pelayanan. Dengan kemampuan memproses data dalam jumlah besar secara cepat dan konsisten, AI menawarkan pendekatan baru dalam pengelolaan informasi laboratorium yang lebih terintegrasi dan berbasis bukti. Hal ini menjadi semakin relevan di negara berkembang, termasuk Indonesia, di mana disparitas akses layanan dan variasi kualitas laboratorium masih menjadi isu yang perlu diatasi (Hou *et al.*, 2024).

Di sisi lain, adopsi AI dalam laboratorium klinik menuntut kesiapan sistem yang tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga mencakup aspek organisasi, sumber daya manusia, dan kebijakan. Secara khusus dari aspek keperawatan, tinjauan literatur ini krusial mengingat hasil diagnostik laboratorium merupakan data penunjang vital dalam merumuskan diagnosis keperawatan dan intervensi yang presisi. Perawat, sebagai kolaborator utama yang menindaklanjuti hasil tes, harus memahami batas validitas interpretasi AI untuk mencegah kesalahan dalam pengambilan keputusan klinis (*clinical decision making*) dan pemberian obat. Tanpa pemahaman yang komprehensif mengenai implikasi klinis, etika, dan regulasi, penggunaan AI berisiko menimbulkan masalah baru, seperti ketergantungan berlebihan pada sistem otomatis atau penurunan peran penilaian profesional. Oleh karena itu, kajian ilmiah yang mendialogkan potensi dan keterbatasan AI secara seimbang menjadi penting sebagai landasan pengembangan dan implementasi teknologi ini secara aman, etis, dan berkelanjutan, demi menjamin keselamatan pasien (*patient safety*) dalam pelayanan Kesehatan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur naratif (*narrative literature review*). Sebanyak 20 artikel terpilih digunakan sebagai literatur utama dalam tinjauan ini. Artikel-artikel tersebut terdiri dari jurnal nasional dan internasional yang relevan (seperti PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, dan portal jurnal nasional) dengan penerapan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dalam diagnostik laboratorium klinik. Dan Untuk memfokuskan pencarian literatur agar relevan dengan tujuan penelitian, digunakan kerangka PICOT (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Time*) sebagai berikut:

Tabel 1. Kerangka Pemilihan Artikel

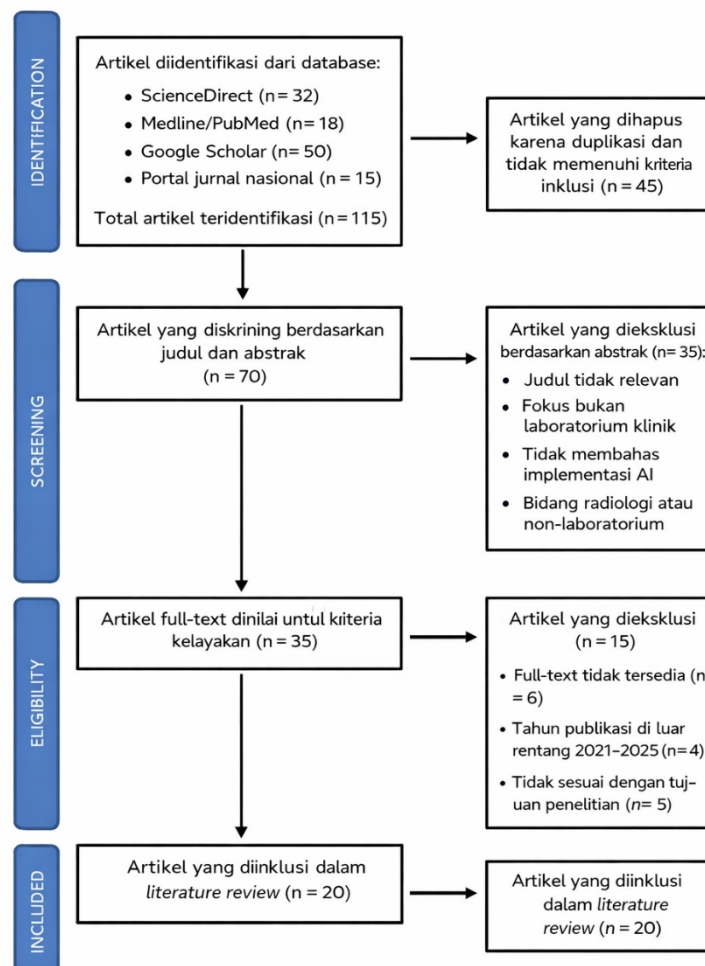
Komponen	Keterangan
P (<i>Population</i>)	Laboratorium klinik, layanan patologi, mikrobiologi, dan data pasien diagnostik.
I (<i>Intervention</i>)	Implementasi Kecerdasan Buatan (<i>Artificial Intelligence</i>), <i>Machine Learning</i> , dan otomatisasi sistem.
C (<i>Compararison</i>)	Metode diagnostik konvensional, analisis manual oleh manusia, atau manajemen laboratorium standar (tanpa AI).
O (<i>Outcome</i>)	Peningkatan akurasi diagnostik, efisiensi operasional, analisis etika, bias algoritmik, dan tantangan regulasi.
T (<i>Time</i>)	Artikel yang dipublikasikan dalam rentang waktu 5 tahun terakhir (2021–2025).

Untuk menjaga fokus dan relevansi tinjauan literatur, dilakukan seleksi artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Berikut adalah rincian kriteria yang digunakan dalam penyaringan artikel:

1. Kriteria Inklusi:
 - a. Artikel dipublikasikan antara tahun 2021 hingga 2025.
 - b. Tersedia dalam teks lengkap (*full-text*).
 - c. Membahas implementasi AI secara spesifik pada laboratorium klinik (patologi, kimia klinik, mikrobiologi).
 - d. Mencakup pembahasan mengenai peluang (akurasi, efisiensi) atau tantangan (etika, bias).
2. Kriteria Eksklusi:
 - a. Artikel yang diterbitkan sebelum tahun 2021.
 - b. Artikel yang hanya membahas AI pada radiologi atau bidang medis lain tanpa menyinggung laboratorium klinik.
 - c. Artikel yang hanya tersedia dalam bentuk abstrak atau tidak memiliki akses ke teks lengkap (*unavailable full-text*).

HASIL

Proses penelusuran, penyaringan, dan pemilihan artikel dilakukan secara sistematis dan dirangkum dalam diagram alur PRISMA sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1 PRISMA Flow Diagram Proses Seleksi Artikel Literatur

Didapatkan 20 artikel yang memenuhi kriteria dalam studi review ini. Hasil studi literasi yang dilakukan menunjukkan bahwa AI telah diterapkan pada berbagai bidang laboratorium klinik, termasuk patologi, mikrobiologi, dan kimia klinik. AI mampu meningkatkan efisiensi pemeriksaan melalui otomatisasi validasi hasil dan analisis citra diagnostik. Selain itu, penerapan AI dalam mikrobiologi klinik mempercepat identifikasi patogen dan mendukung pengambilan keputusan terapi antimikroba secara lebih tepat. Di sisi operasional, AI juga berkontribusi dalam optimalisasi penggunaan sumber daya laboratorium.

Selain peningkatan efisiensi dan kecepatan pemeriksaan, hasil telaah literatur juga menunjukkan bahwa pemanfaatan AI berkontribusi pada peningkatan konsistensi dan kualitas hasil diagnostik. Sistem berbasis AI mampu mengurangi variasi interpretasi antar-pemeriksa dengan menyediakan analisis yang lebih terstandar, khususnya pada pemeriksaan berbasis citra dan data kompleks. Hal ini berdampak positif terhadap keandalan hasil laboratorium sebagai dasar pengambilan keputusan klinis, terutama pada kasus dengan tingkat kompleksitas tinggi.

Lebih lanjut, studi-studi yang dianalisis menunjukkan bahwa integrasi AI dalam sistem laboratorium klinik mendukung pengelolaan data yang lebih terstruktur dan berkelanjutan. AI memungkinkan pemantauan kinerja alat, deteksi dini kesalahan proses, serta analisis tren hasil pemeriksaan secara real time. Temuan ini menunjukkan bahwa peran AI tidak hanya terbatas pada aspek diagnostik, tetapi juga meluas pada peningkatan mutu dan manajemen operasional laboratorium secara keseluruhan. Guna memberikan gambaran komprehensif mengenai bukti ilmiah yang diperoleh, ringkasan artikel terpilih dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Ringkasan Penelitian terkait Implementasi Kecerdasan Buatan dalam Diagnostik Laboratorium Klinik

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
1	None & Singh (2024)	<i>A Review on the Integration of Artificial Intelligence for Clinical and Laboratory Diagnosis</i>	Kualitatif	AI meningkatkan akurasi dan efisiensi diagnostik laboratorium, khususnya pada analisis data klinik berskala besar, namun masih memerlukan validasi klinis berkelanjutan.
2	Pennestri & Banfi (2022)	<i>Artificial Intelligence in Laboratory Medicine: Fundamental Ethical Issues and Normative Key-Points</i>	Kualitatif	Implementasi AI di laboratorium klinik menimbulkan isu etika utama seperti transparansi algoritme, tanggung jawab profesional, dan perlindungan data pasien.
3	Jackson <i>et al.</i> (2021)	<i>The Ethics of Artificial Intelligence in Pathology and Laboratory Medicine: Principles and Practice</i>	Kualitatif	AI meningkatkan konsistensi interpretasi diagnostik pada patologi digital, namun tetap memerlukan supervisi tenaga ahli untuk menjamin keselamatan pasien.
4	Hanna <i>et al.</i> (2025)	<i>Ethical and Bias Considerations in Artificial Intelligence/Machine Learning</i>	Kualitatif	Bias data dapat memengaruhi hasil diagnostik apabila data tidak representatif, sehingga evaluasi etika dan kualitas data menjadi krusial.
5	García-Gómez <i>et al.</i> (2023)	<i>Functional Requirements to Mitigate the Risk of Harm to Patients from Artificial Intelligence in Healthcare</i>	Kualitatif	Penggunaan AI memerlukan persyaratan fungsional yang ketat untuk meminimalkan risiko klinis dan mencegah dampak merugikan bagi pasien.
6	Ain <i>et al.</i> (2024)	<i>Machine Learning Approach to Laboratory Operations: Automation, Data Interpretation, and Validation Challenges</i>	Kualitatif	Otomatisasi di laboratorium berbasis <i>machine learning</i> dapat meningkatkan efisiensi operasional, tetapi menghadapi tantangan dalam validasi hasil lintas sistem.
7	Kurniawan & Siswanto (2024)	Perancangan Sistem Otomatisasi Laboratorium Berbasis Artificial Intelligence untuk Optimalisasi Penggunaan Sumber Daya	Kualitatif	Sistem AI mampu mengoptimalkan penggunaan sumber daya laboratorium dan mengurangi kesalahan manual dalam proses pemeriksaan.
8	Hou <i>et al.</i> (2024)	<i>Artificial Intelligence in the Clinical Laboratory</i>	Kualitatif	AI mendukung pengambilan keputusan laboratorium melalui

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
9	Undru <i>et al.</i> (2022)	<i>Integrating Artificial Intelligence for Clinical and Laboratory Diagnosis</i>	Kualitatif	analisis data kompleks, namun implementasinya masih dipengaruhi kesiapan infrastruktur dan SDM. Inovasi teknologi di bidang kesehatan mengalami percepatan dan kian terintegrasi dengan kehidupan sehari-hari serta praktik medis, sebagaimana terlihat pada penggunaan pelacak kesehatan pintar dan algoritma diagnostik.
10	Avianta <i>et al.</i> (2025)	Analisis Implementasi <i>Artificial Intelligence</i> dalam Dunia Kesehatan Indonesia	Kualitatif	AI berpotensi meningkatkan efisiensi diagnosis dan manajemen data kesehatan di Indonesia, namun masih terbatas oleh regulasi, infrastruktur, dan literasi teknologi.
11	D'Urso <i>et al.</i> (2025)	<i>Use of Artificial Intelligence Chatbots in Interpretation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine Reports</i>	Kuantitatif	Chatbot AI membantu interpretasi laporan kimia klinik secara standar, tetapi belum dapat menggantikan penilaian klinis profesional.
12	(Graf <i>et al.</i> , 2025)	<i>Potential roles for artificial intelligence in clinical microbiology from improved diagnostic accuracy to solving the staffing crisis.</i>	Kuantitatif	AI mempercepat identifikasi patogen dan mendukung ketepatan terapi, sekaligus berpotensi mengatasi kekurangan tenaga laboratorium.
13	Presetya & Edward (2025)	Diagnosis Penyakit Menggunakan <i>Artificial Intelligence</i> (AI): Konsep, Bukti Ilmiah, dan Implikasi Klinis	Kualitatif	AI menunjukkan kapasitas untuk menganalisis data klinis yang kompleks secara otomatis, mendukung deteksi penyakit dan pengambilan keputusan klinis di layanan diagnostik medis
14	Idris <i>et al.</i> (2025)	Pemanfaatan Kecerdasan Buatan sebagai Alat Bantu Diagnosis di Bidang Kesehatan	Kualitatif	AI membantu mengolah data medis besar dengan efisiensi tinggi untuk berbagai jenis diagnosis kronis, termasuk pencitraan dan data kesehatan besar lainnya.
15	Xie <i>et al.</i> (2024)	Integration of Artificial Intelligence in Clinical Laboratory Medicine: Advancements and Challenges	Kualitatif	Integrasi AI mengubah laboratorium klinik dengan meningkatkan akurasi diagnosis dan otomatisasi <i>workflow</i> secara signifikan, namun diperlukan regulasi dan infrastruktur yang matang untuk implementasi luas.
16	Ashraf <i>et al.</i> (2025)	<i>Revolutionizing Clinical Laboratories: The Impact of Artificial Intelligence in Diagnostics and Patient Care</i>	Kualitatif	AI secara fundamental meningkatkan presisi diagnostik dan efektivitas operasional di patologi, mikrobiologi, dan biokimia dengan potensi mempercepat deteksi dini serta personalisasi perawatan pasien.

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
17	Cardozo <i>et al.</i> (2022)	<i>Use of AI in the Search for New Information Through Routine Laboratory Tests</i>	Kualitatif	Pemodelan menggunakan <i>machine learning</i> pada data rutin laboratorium berhasil menemukan informasi diagnostik baru dan membantu prediksi penyakit yang tersembunyi dalam pola data kompleks.
18	Ambar <i>et al.</i> (2024)	Transformasi Patologi Klinik melalui Kecerdasan Buatan	Kualitatif	AI menunjukkan kemampuan tinggi dalam meningkatkan akurasi diagnostik patologi digital serta optimasi <i>workflow</i> klinik, meskipun regulasi dan etika masih menjadi hambatan penting.
19	Husna (2025)	Pemanfaatan Kecerdasan Buatan dalam Meningkatkan Efisiensi Diagnostik Medis	Kualitatif	AI dapat mempercepat proses diagnosis, mengurangi beban kerja dokter, serta meningkatkan akurasi dan kualitas layanan kesehatan. Meskipun demikian, tantangan seperti integritas sistem, privasi data, dan aspek etika perlu diperhatikan.
20	Nasser <i>et al.</i> (2025)	<i>Artificial Intelligence (AI) Applications in Clinical Laboratories</i>	Kualitatif	Implementasi AI pada siklus laboratorium dari preanalitik hingga postanalitik meningkatkan efisiensi dan akurasi, meskipun ada tantangan integrasi dengan sistem LIS/HIS dan kebutuhan validasi klinis lebih kuat.

PEMBAHASAN

1. Peluang Implementasi Kecerdasan Buatan (AI) di Laboratorium Klinik

a. Peningkatan Akurasi Diagnostik

Penerapan kecerdasan buatan di laboratorium klinik membuka peluang signifikan dalam meningkatkan akurasi diagnostik, khususnya melalui kemampuan analisis data dan citra medis yang kompleks. Pada bidang patologi dan laboratorium klinik, algoritme AI mampu mengenali pola morfologi sel, kelainan jaringan, serta variasi biomarker dengan tingkat konsistensi yang lebih stabil dibandingkan penilaian manual (Jackson *et al.*, 2021). Kemampuan ini menjadikan AI sangat relevan dalam mendukung diagnosis berbasis citra dan data numerik yang selama ini rentan terhadap subjektivitas pemeriksa.

Keunggulan tersebut menjadi penting karena variasi antar-pemeriksa merupakan salah satu tantangan klasik dalam diagnostik laboratorium. Dengan dukungan AI, variasi subjektif dapat ditekan sehingga hasil pemeriksaan menjadi lebih *reproducible* dan terstandar. Kondisi ini berkontribusi pada peningkatan sensitivitas dan spesifisitas pemeriksaan, terutama pada diagnosis penyakit kompleks seperti kanker, gangguan hematologi, dan penyakit metabolik (None & Singh, 2024; Xie *et al.*, 2024). Selain itu,

AI juga mampu memanfaatkan data laboratorium rutin untuk mengidentifikasi informasi diagnostik tersembunyi yang sebelumnya sulit dikenali melalui pendekatan konvensional (Cardozo *et al.*, 2022).

b. Efisiensi dan Otomatisasi Proses Laboratorium

Laboratorium klinik modern menghadapi tekanan untuk menghasilkan layanan yang cepat, akurat, dan berkelanjutan di tengah keterbatasan sumber daya. AI berperan penting dalam mengotomatiskan berbagai tahapan pemeriksaan, mulai dari proses preanalitik, analitik, hingga postanalitik, termasuk identifikasi sampel, kontrol mutu, dan validasi hasil (Kurniawan & Siswanto, 2024).

Otomatisasi berbasis AI terbukti mampu menurunkan risiko kesalahan manusia, mempercepat waktu penyelesaian pemeriksaan, serta meningkatkan kapasitas layanan tanpa harus menambah jumlah tenaga laboratorium secara signifikan. Dengan demikian, AI menjadi solusi strategis dalam menjawab tantangan beban kerja tinggi dan tuntutan efisiensi operasional di laboratorium klinik (Ain *et al.*, 2024; Graf *et al.*, 2025). Dengan demikian, AI menjadi solusi strategis dalam meningkatkan efisiensi operasional sekaligus menjaga mutu pelayanan laboratorium klinik.

c. Prediksi Klinis dan Analitik Berbasis Data

Selain berperan dalam analisis diagnostik, AI juga memberikan nilai tambah melalui kemampuan prediktif berbasis data laboratorium. Integrasi hasil pemeriksaan laboratorium dengan data klinis memungkinkan pengembangan model *machine learning* yang mampu memprediksi risiko penyakit dan luaran klinis pasien secara lebih dini (Undru *et al.*, 2022).

Di bidang mikrobiologi klinik, AI mampu mempercepat identifikasi patogen dan memprediksi pola resistensi antimikroba secara lebih efisien dibandingkan metode konvensional. Pendekatan ini mendukung pengambilan keputusan terapi yang lebih tepat dan berpotensi menekan angka resistensi antibiotik (Erin G. *et al.*, 2024)

d. Dukungan terhadap Pengambilan Keputusan Klinis

Peran AI di laboratorium klinik tidak terbatas pada aspek teknis, tetapi juga meluas pada dukungan pengambilan keputusan klinis. Sistem berbasis AI, termasuk chatbot, dapat membantu menyajikan interpretasi standar terhadap hasil pemeriksaan kimia klinik dan laporan laboratorium lainnya (D'Urso *et al.*, 2025).

Pendekatan ini membantu meningkatkan pemahaman tenaga kesehatan terhadap hasil laboratorium serta mengurangi potensi kesalahan interpretasi, terutama di fasilitas kesehatan dengan keterbatasan tenaga analis atau spesialis. Meskipun demikian, AI tetap diposisikan sebagai alat bantu, bukan pengganti penilaian klinis profesional.

2. Tantangan Implementasi Kecerdasan Buatan (AI) di Laboratorium Klinik

a. Bias Algoritmik dan Kualitas Data

Salah satu tantangan utama dalam penerapan AI di laboratorium klinik adalah risiko bias algoritmik yang berasal dari kualitas dan representativitas data pelatihan. Dataset yang tidak mencerminkan variasi populasi dapat menghasilkan prediksi yang tidak akurat dan berpotensi menyesatkan (Hanna *et al.*, 2025).

Dalam konteks laboratorium klinik, bias ini dapat berdampak langsung pada keselamatan pasien apabila hasil diagnostik digunakan sebagai dasar pengambilan

keputusan klinis. Oleh karena itu, pemilihan data yang berkualitas serta evaluasi berkelanjutan terhadap performa algoritme menjadi kebutuhan mendesak.

b. Regulasi, Keamanan Data, dan Aspek Etika

Implementasi AI dalam layanan kesehatan harus didukung oleh kerangka regulasi dan etika yang jelas. Namun, hingga saat ini, standar regulasi terkait penggunaan AI di laboratorium klinik masih berkembang dan belum sepenuhnya seragam (Pennestrì & Banfi, 2022).

Isu etika seperti transparansi algoritme, perlindungan data pasien, serta kejelasan tanggung jawab hukum menjadi perhatian utama. García-Gómez *et al.* (2023) menegaskan bahwa tanpa persyaratan fungsional dan mekanisme mitigasi risiko yang memadai, penggunaan AI berpotensi menimbulkan dampak merugikan bagi pasien dan institusi kesehatan.

c. Validasi Sistem dan *Reproducibility*

Sebelum diimplementasikan secara luas, sistem AI harus melalui proses validasi yang ketat. Tantangan muncul karena performa AI sering kali bergantung pada konteks lokal, termasuk jenis instrumen, reagen, dan karakteristik populasi pasien (Ain *et al.*, 2024).

Perbedaan kondisi ini dapat menyebabkan hasil AI sulit direproduksi antar laboratorium. Oleh karena itu, validasi lokal dan pengujian berkala menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa sistem AI memenuhi standar mutu dan keselamatan yang ditetapkan.

d. Kesiapan Sumber Daya Manusia dan Adaptasi Teknologi

Penerapan AI juga menuntut kesiapan sumber daya manusia di laboratorium klinik. Kekhawatiran akan tergantikannya peran manusia oleh teknologi dapat memunculkan resistensi terhadap adopsi AI. Padahal, keberhasilan implementasi AI sangat bergantung pada kemampuan tenaga profesional dalam memahami, menginterpretasikan, dan mengawasi hasil yang dihasilkan sistem (None & Singh, 2024).

Oleh karena itu, peningkatan kompetensi melalui pelatihan berkelanjutan dan pendekatan *human centered* AI menjadi kunci agar teknologi ini dapat diintegrasikan secara optimal tanpa mengurangi peran esensial tenaga laboratorium.

SIMPULAN

Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa kecerdasan buatan (AI) memiliki peran transformatif dalam layanan laboratorium klinik. Secara teknis, implementasi AI terbukti mampu meningkatkan akurasi diagnostik, mempercepat *turnaround time* (TAT), serta mengoptimalkan efisiensi alur kerja melalui otomatisasi pra-analitik hingga pasca-analitik. Meskipun demikian, literatur juga menyoroti tantangan kritis yang belum sepenuhnya teratasi, meliputi risiko bias algoritmik, validitas data yang bergantung pada populasi latih, serta isu etika terkait transparansi keputusan medis. Oleh karena itu, AI saat ini diposisikan sebagai sistem pendukung keputusan (*clinical decision support system*), bukan sebagai pengganti peran profesional tenaga ahli laboratorium.

Sebagai upaya tindak lanjut dari kajian ini, diperlukan sinergi yang kuat antara pemangku kebijakan, praktisi laboratorium, dan pengembang teknologi sebagai acuan dalam

pengembangan sistem laboratorium masa depan. Secara spesifik, prioritas utama meliputi penyusunan pedoman nasional dan standar etika untuk validasi algoritma AI guna menjamin keamanan data serta akuntabilitas diagnostik. Hal ini perlu didukung dengan pelatihan literasi digital bagi Ahli Teknologi Laboratorium Medik (ATLM) agar mampu mengawasi output sistem dan mencegah kesalahan interpretasi, serta penguatan komunikasi antar-profesi guna memverifikasi kesesuaian hasil AI dengan kondisi klinis pasien sebelum keputusan medis diambil

DAFTAR PUSTAKA

- Ain, Q. U., Nazir, R., Nawaz, A., Shahbaz, H., Dilshad, A., Mufti, I. U., & Iftikhar, M. (2024). Machine learning approach towards quality assurance: Challenges and possible strategies in laboratory medicine. *Http://Www.Xiahepublishing.Com/*, 4(2), 76–87. <https://doi.org/10.14218/JCTP.2023.00061>
- Ambar, N. S., Utama, M. R., & Kahar, H. (2024). Transformasi patologi klinik melalui kecerdasan buatan: Sebuah tinjauan pustaka sistematis. *JurnalMU: Jurnal Medis Umum*, 1(3), 159–174. <https://doi.org/10.30651/jmu.v1i3.24771>
- Ashraf, A. A., Rai, S., Alva, S., Alva, P. D., & Naresh, S. (2025). Revolutionizing clinical laboratories: The impact of artificial intelligence in diagnostics and patient care. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 111(4), 116728. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2025.116728>
- Avianta, N. A. S., Putra, D. H., Satrya, B. A., & Iqbal, M. F. (2025). Analisis implementasi artificial intelligence dalam dunia kesehatan Indonesia: Literature review. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(4), 1199–1210. <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i4.2229>
- Cardozo, G., Tirloni, S. F., Pereira Moro, A. R., & Marques, J. L. B. (2022). Use of artificial intelligence in the search for new information through routine laboratory tests: A systematic review. *JMIR Bioinformatics and Biotechnology*, 3(1), e40473. <https://doi.org/10.2196/40473>
- D’Urso, F., Paladini, F., Pollini, M., & Broccolo, F. (2025). Use of artificial intelligence chatbots in interpretation of clinical chemistry and laboratory medicine reports: A standardized approach. *Applied Sciences*, 15(8), 4232. <https://doi.org/10.3390/app15084232>
- García-Gómez, J. M., Blanes-Selva, V., Cenzano, J. C. de B., Cebolla-Cornejo, J., & Doñate-Martínez, A. (2023). *Functional requirements to mitigate the Risk of Harm to Patients from Artificial Intelligence in Healthcare*. <http://arxiv.org/abs/2309.10424>
- Graf, E., Soliman, A., Marouf, M., Parwani, A. V., & Pancholi, P. (2025). Potential roles for artificial intelligence in clinical microbiology from improved diagnostic accuracy to solving the staffing crisis. *American Journal of Clinical Pathology*, 163(2), 162–168. <https://doi.org/10.1093/ajcp/aqae107>
- Hanna, M. G., Pantanowitz, L., Jackson, B., Palmer, O., Visweswaran, S., Pantanowitz, J., Deebajah, M., & Rashidi, H. H. (2025). Ethical and bias considerations in artificial intelligence and machine learning. *Modern Pathology*, 38(3), 100686. <https://doi.org/10.1016/j.modpat.2024.100686>
- Hou, H., Zhang, R., & Li, J. (2024). Artificial intelligence in the clinical laboratory. *Clinica Chimica Acta*, 559. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2024.119724>
- Husna, N. (2025). Pemanfaatan kecerdasan buatan dalam meningkatkan efisiensi diagnostik medis. *Jurnal Sains Dan Teknologi Indonesia*, 1(1), 1–4. <https://doi.org/10.58477/sti.v1i1.282>
- Idris, M., Wijaya, A., Septiani, L., Happy, T. A., & Graharti, R. (2025). Pemanfaatan kecerdasan buatan sebagai alat bantu diagnosis di bidang kesehatan: Literatur review. *Jurnal*

- Kedokteran Universitas Lampung*, 9(1), 117–121.
<https://doi.org/10.23960/jkunila.v9i1.pp117-121>
- Jackson, B. R., Ye, Y., Crawford, J. M., Becich, M. J., Roy, S., Botkin, J. R., de Baca, M. E., & Pantanowitz, L. (2021). The ethics of artificial intelligence in pathology and laboratory medicine: Principles and practice. *Academic Pathology*, 8.
<https://doi.org/10.1177/2374289521990784>
- Kurniawan, A., & Siswanto, A. (2024). Perancangan sistem otomatisasi laboratorium berbasis artificial intelligence untuk optimalisasi penggunaan sumber daya. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Sains Dan Teknologi*, 4(1), 17–22.
<https://doi.org/10.33369/pelastek.v4i1.41760>
- Nasser, A., Biomed, Y. |, Sci, J., & Yahya, A. N. (2025). Artificial Intelligence (AI) applications in clinical laboratories: A narrative review. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research (BJSTR)*, 5(62), 55058–55065. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2025.62.009813>
- None, A., & Singh, D. J. (2024). A review on the integration of artificial intelligence for clinical and laboratory diagnosis. *International Journal of Medical and Pharmaceutical Research*, 5(2), 59–64.
- Pennestri, F., & Banfi, G. (2022). Artificial intelligence in laboratory medicine: fundamental ethical issues and normative key-points. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 60(12), 1867–1874. <https://doi.org/10.1515/cclm-2022-0096>
- Presetya, F., & Edward. (2025). Diagnosis penyakit menggunakan Artificial Intelligence (AI): Konsep, bukti ilmiah, dan implikasi klinis. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 6(1), 98–107. <https://doi.org/10.30872/jsk.v6i1.976>
- Undru, T. R., Uday, U., Lakshmi, J. T., Kaliappan, A., Mallamgunta, S., Nikhat, S. S., Sakthivadivel, V., & Gaur, A. (2022). Integrating artificial intelligence for clinical and laboratory diagnosis: A review. *Maedica*, 17(2), 420–426.
<https://doi.org/10.26574/maedica.2022.17.2.420>
- Xie, H., Jia, Y., & Liu, S. (2024). Integration of artificial intelligence in clinical laboratory medicine: Advancements and challenges. *Interdisciplinary Medicine*, 2(3), e20230056.
<https://doi.org/10.1002/INMD.20230056>