



## ***Analysis of Artificial Intelligence Implementation in the Indonesian Healthcare Sector: A Literature Review***

### **Analisis Implementasi Artificial Intelligence dalam Dunia Kesehatan Indonesia: Literature Review**

**Nur Azizah Syaputri Avianta<sup>1</sup>, Daniel Happy Putra<sup>2</sup>,  
Bangga Agung Satrya<sup>3</sup>, Muhammad Fuad Iqbal<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Department of Health Information and Medical Records, Faculty of Health Science,  
Universitas Esa Unggul, Indonesia

E-Mail: <sup>1</sup>putriavianta04@gmail.com, <sup>2</sup>daniel.putra@esaunggul.ac.id,  
<sup>3</sup>bangga.agung@esaunggul.ac.id, <sup>4</sup>muhammad.fuad@esaunggul.ac.id

Received Aug 05th 2025; Revised Sep 09th 2025; Accepted Sep 15th 2025; Available Online Oct 30th 2025

Corresponding Author: Nur Azizah Syaputri Avianta

Copyright © 2025 by Authors, Published by Institut Riset dan Publikasi Indonesia (IRPI)

#### **Abstract**

*Artificial Intelligence (AI) is expected to become a major driving force in supporting the digital transformation of Indonesia's healthcare sector, in line with the Ministry of Health's 2023 vision. However, its actual implementation falls far short of expectations. Despite strong initiatives to utilize AI to enhance healthcare efficiency and effectiveness, adoption remains limited and uneven. This study employed a literature review method, analyzing 52 scientific articles published between 2021 and 2024. Applying the Diffusion of Innovation theory, the study evaluates the benefits of AI in diagnosis, clinical decision-making, data management, and improving service access, while also identifying adoption models and key implementation challenges. Findings indicate that the primary barriers to AI adoption in Indonesian healthcare include the absence of specific regulations, inadequate digital infrastructure, ethical concerns, and limited technological literacy. Nonetheless, Indonesia holds great potential for developing an adaptive and inclusive AI ecosystem. Successful implementation depends on cross-sector collaboration, regulatory reinforcement, and the enhancement of human resources and technological capacity. With a clear and sustainable national strategy, AI has the potential to become a key pillar in transforming Indonesia's healthcare system into one that is modern, efficient, and globally competitive.*

**Keyword:** Artificial Intelligence, Challenge, Healthcare, Implementation, Potential

#### **Abstrak**

*Artificial Intelligence (AI) diharapkan menjadi kekuatan utama dalam mendukung transformasi digital sektor kesehatan, sesuai visi Kementerian Kesehatan tahun 2023. Namun, implementasi AI di Indonesia masih jauh dari harapan. Meskipun terdapat inisiatif kuat untuk memanfaatkan AI dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas layanan kesehatan, penerapannya masih terbatas dan belum merata. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *literature review* terhadap 52 artikel ilmiah periode 2021–2024. Dengan pendekatan teori *Diffusion of Innovation*, penelitian ini mengevaluasi manfaat AI dalam diagnosis, pengambilan keputusan klinis, manajemen data, dan peningkatan akses pelayanan, serta mengidentifikasi model adopsi dan tantangan utama dalam penerapannya. Hasil analisis menunjukkan bahwa tantangan utama dalam implementasi AI di sektor kesehatan Indonesia mencakup belum adanya regulasi spesifik, lemahnya infrastruktur digital, isu etika, dan rendahnya literasi teknologi. Meski demikian, Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan ekosistem AI yang adaptif dan inklusif. Keberhasilan implementasi sangat bergantung pada kolaborasi lintas sektor, penguatan regulasi, serta peningkatan kompetensi sumber daya manusia dan kapasitas teknologi. Dengan strategi nasional yang terarah dan berkelanjutan, AI berpotensi menjadi pilar transformasi sistem pelayanan kesehatan yang lebih modern, efisien, dan berdaya saing.*

**Kata Kunci:** Artificial Intelligence, Implementasi, Pelayanan Kesehatan, Potensi, Tantangan

## 1. PENDAHULUAN

Era Revolusi Industri 4.0 telah membawa kemajuan teknologi yang sangat pesat, menciptakan peluang besar untuk transformasi digital di berbagai sektor, termasuk sektor kesehatan. Transformasi digital merupakan upaya strategis dalam beradaptasi dengan perkembangan era digital yang bertujuan meningkatkan kualitas penggunaan teknologi, mengubah proses operasional, dan meningkatkan efisiensi layanan. Inovasi digital di bidang kesehatan tidak hanya mampu meningkatkan kualitas layanan, tetapi juga memperluas akses masyarakat terhadap pelayanan kesehatan. Kehadiran teknologi digital memberikan akses yang lebih luas terhadap sumber daya dan pengetahuan terbaru dalam manajemen pelayanan kesehatan. Selain itu, transformasi ini dapat meningkatkan konsistensi layanan melalui pengembangan konten konsultasi yang lebih sesuai kebutuhan masyarakat dan optimalisasi penggunaan teknologi yang tersedia [1]. Sebagai respons terhadap urgensi transformasi tersebut, Indonesia menetapkan Strategi Transformasi Digital Kesehatan 2024 sebagai panduan utama dalam upaya mengembangkan sektor kesehatan agar selaras dengan kemajuan era digital. Cetak biru strategi ini menekankan tiga prioritas utama, yaitu: pengembangan data kesehatan untuk kebijakan yang lebih baik, integrasi aplikasi kesehatan digital, dan pengembangan ekosistem kesehatan yang kolaboratif. Berdasarkan ketiga prioritas tersebut, implementasi transformasi teknologi kesehatan di Indonesia memiliki acuan tersendiri setiap tahunnya. Pada tahun 2023, transformasi digital kesehatan yang ditetapkan oleh Kemenkes menekankan pada implementasi sistem analisis kesehatan berbasis *Artificial Intelligence* (AI) [2]. Implementasi ini bertujuan untuk memanfaatkan kemampuan AI dalam mengelola dan menganalisis data kesehatan yang besar dan kompleks (*Big Data*) guna meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kualitas perawatan kesehatan di Indonesia (Buku Transformasi Digital).

AI adalah teknologi yang mencoba membuat mesin berpikir dan bertindak seperti manusia. Salah satu cara untuk menjelaskan bagaimana AI bisa berkembang adalah dengan menggunakan ide evolusi. Dengan menggunakan algoritma genetika pada komputer, kita bisa mendapatkan hasil yang mirip dengan bagaimana evolusi biologis bekerja [3]. Para peneliti telah menciptakan beberapa jenis AI yang berbeda. Ada yang mendefinisikan kecerdasan berdasarkan seberapa mirip kinerjanya dengan manusia, sementara yang lain melihat kecerdasan sebagai kemampuan untuk melakukan "*Right thing*" atau bertindak rasional [3], [4], [10]. Pada level internasional, AI secara bertahap mengubah lanskap di sektor kesehatan dan penelitian biomedis. Fenomena ini terlihat dari penelitian Thomas Davenport dan Ravi Kalakota dalam artikel "*The Potential for Artificial Intelligence in Healthcare*", yang menjelaskan keberhasilan penerapan robot bedah berbasis AI. Robot ini memberikan 'kekuatan super' kepada ahli bedah dengan meningkatkan kemampuan mereka dalam melihat, membuat sayatan yang presisi dan minimal invasif, serta melakukan jahitan dengan lebih efektif [11]. Penelitian lain oleh *Strohm et al.* membahas keberhasilan penerapan AI dalam radiologi melalui aplikasi BoneXpert, yang secara otomatis menilai kematangan tulang berdasarkan sinar-X tangan anak-anak. Aplikasi ini telah diterapkan di beberapa rumah sakit di Belanda, menunjukkan efektivitasnya dalam penggunaan klinis [12]. AI diharapkan dapat memainkan peran penting dan muncul sebagai kekuatan utama dalam dunia kesehatan, sejalan dengan visi transformasi digital kesehatan yang dicanangkan pada tahun 2023. Kenyataannya, implementasi AI dalam sektor kesehatan di Indonesia masih jauh dari harapan. Meskipun ada dorongan kuat untuk memanfaatkan AI guna meningkatkan efisiensi dan efektivitas pelayanan kesehatan, realisasi menunjukkan bahwa penerapan teknologi ini masih sangat terbatas.

Berdasarkan berbagai argumen tersebut, penelitian ini dianggap penting untuk dilakukan guna memahami lebih dalam mengenai perkembangan, potensi, serta hambatan dalam implementasi teknologi AI di sektor kesehatan di Indonesia. Mengingat keterbatasan adopsi teknologi ini di berbagai fasilitas kesehatan serta kurangnya kesiapan infrastruktur dan sumber daya manusia, kajian yang komprehensif diperlukan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai kesiapan Indonesia dalam menghadapi tantangan transformasi digital di bidang kesehatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis manfaat, keunggulan, potensi perkembangan, tingkat penerapan, hambatan, tantangan, serta kesiapan Indonesia dalam implementasi teknologi AI di sektor kesehatan, sesuai dengan kebutuhan tenaga medis dan para pemangku kepentingan. Sebagai landasan teoretis, penelitian ini menggunakan *Diffusion of Innovation Theory* yang dikembangkan oleh Everett Rogers. Teori ini menjelaskan proses adopsi inovasi mulai dari tahap kesadaran, ketertarikan, evaluasi, percobaan, hingga adopsi secara berkelanjutan. Penggunaan teori ini dianggap relevan karena mampu memetakan dinamika penerimaan teknologi baru dalam konteks sistem kesehatan yang kompleks dan beragam [5].

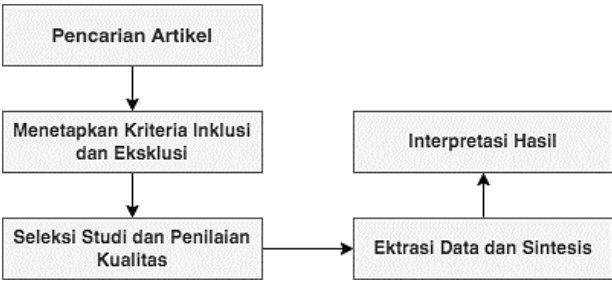
## 2. METODELOGI

### 2.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *literature review*, yaitu suatu proses yang mencakup peninjauan dan analisis terhadap literatur yang telah dipublikasikan terkait topik penelitian. Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, mengidentifikasi kesenjangan dalam penelitian yang ada, serta menyimpulkan temuan-temuan utama yang relevan dengan topik yang diteliti. Dalam penelitian ini, metode *literature review* digunakan untuk

memaparkan hasil analisis implementasi kecerdasan buatan dalam dunia kesehatan di Indonesia. Artikel yang akan dipilih sebagai bahan telaah dipilih berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan.

Proses analisis dilakukan dengan menelaah artikel dari berbagai sumber yang berkaitan dengan topik penelitian. Artikel-artikel tersebut kemudian digabungkan untuk membangun argumen atau kerangka teoritis yang kuat. Dengan pendekatan ini, penelitian bertujuan untuk memastikan bahwa landasan teoritis yang digunakan relevan dengan penelitian sebelumnya. Selain itu, temuan-temuan dari literatur yang dipilih akan membantu menjelaskan penerimaan teknologi AI di dunia kesehatan Indonesia, baik dari segi manfaat, tantangan, maupun dampaknya pada sektor kesehatan. *Flowchart methodology* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart Methodology*

2.2. Pencarian Literature

Pencarian literatur dalam penelitian ini menggunakan data sekunder dari artikel-artikel yang relevan mengenai implementasi AI di bidang kesehatan Indonesia. Proses dilakukan secara sistematis melalui tahapan penyusunan strategi pencarian, seleksi studi, penilaian kualitas, hingga ekstraksi dan sintesis data. Literatur dicari menggunakan Google Scholar melalui aplikasi Publish or Perish dengan kata kunci terstruktur seperti *implementasi*, *artificial intelligence*, *tantangan*, *potensi*, dan *kesehatan*, serta operator logika "AND". Artikel yang ditemukan disaring berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi untuk menjamin relevansi dan kualitas, lalu dianalisis guna memberikan gambaran komprehensif tentang implementasi AI di sektor kesehatan Indonesia. Pada Tabel 1 merupakan strategi pencarian artikel *literature review*.

Tabel 1. Pencarian Artikel *Literature Review*

Database	Strategi Pencarian Jurnal
Google Scholar melalui publish or perish	<i>Impact of Artificial Intelligence AND Healthcare Sector</i>
	<i>Generative AI In Healthcare</i>
	Tantangan Implementasi Kecerdasan Buatan AND Sistem Pelayanan Kesehatan Indonesia
	Tingkat Implementasi Kecerdasan Buatan AND Sektor Kesehatan Indonesia
	Potensial Implementasi Kecerdasan Buatan AND Pelayanan Kecerdasan Indonesia

2.3. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Pada penelitian ini, kriteria inklusi dan eksklusi digunakan untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan relevan dengan tujuan penelitian serta mendukung analisis yang valid dan terfokus. Kriteria inklusi mengacu pada karakteristik atau elemen yang harus dipenuhi oleh data atau subjek untuk dimasukkan ke dalam penelitian, sedangkan kriteria eksklusi merujuk pada faktor-faktor yang menyebabkan data atau subjek tidak memenuhi syarat untuk dianalisis lebih lanjut. Berikut adalah kriteria inklusi dan kriteria eksklusi:

- 1. Kriteria Inklusi
  - a. Artikel ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris.
  - b. Artikel dipublikasikan dalam rentang tahun 2021–2024 agar data yang digunakan masih relevan secara klinis dan teknologi.
  - c. Artikel tersedia dalam bentuk full text dan dapat diakses untuk analisis lebih lanjut.
  - d. Artikel membahas implementasi atau model pengadopsian teknologi AI di sektor kesehatan, baik di Indonesia maupun di dunia internasional.
  - e. Artikel menyoroti dampak AI terhadap layanan, efisiensi kerja, atau respons pengguna seperti pasien dan tenaga medis.
  - f. Artikel dipilih berdasarkan peringkat seratus teratas serta jumlah sitasi yang dimiliki sebagai indikator kualitas artikel.

## 2. Kriteria Eksklusi

- Artikel yang memiliki kendala aksesibilitas, seperti format file rusak atau hanya tersedia melalui platform terbatas.
- Artikel yang membayar dan tidak dapat diakses secara penuh.
- Artikel yang hanya tersedia dalam bentuk abstrak, atau laporan singkat.
- Artikel yang tidak relevan dengan topik penerapan teknologi AI dalam bidang kesehatan.
- Artikel yang tidak memiliki metode penelitian yang sistematis.

### 2.4. Seleksi Studi dan Penilaian Kualitas

Proses seleksi studi dan penilaian kualitas dilakukan dengan menggunakan diagram alur *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). PRISMA merupakan seperangkat pedoman pelaporan berbasis bukti yang dikembangkan untuk meningkatkan transparansi, akurasi, dan kualitas pelaporan dalam tinjauan sistematis maupun *meta-analysis*. Diagram alur PRISMA berfungsi memberikan gambaran visual yang jelas mengenai seluruh tahapan seleksi studi, mencakup proses identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, hingga inklusi artikel. Dengan adanya diagram ini, peneliti dapat menunjukkan secara sistematis alasan dikeluarkannya suatu artikel pada tiap tahap seleksi, sehingga pembaca dapat memahami alur proses pemilihan studi secara objektif (Website). Dalam penelitian ini, diagram alur PRISMA digunakan sebagai panduan untuk menyeleksi jurnal secara sistematis sesuai kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Adapun tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut (lihat Gambar 2):

#### 1. Identifikasi (*Identification*)

Pada tahap ini dilakukan pencarian artikel pada *database* Google Scholar dengan kata kunci yang telah ditentukan sebelumnya. Dari hasil pencarian awal diperoleh sebanyak 500 artikel, kemudian dilakukan proses eliminasi terhadap artikel duplikat sehingga 104 artikel dikeluarkan. Dengan demikian, tersisa 396 artikel yang melanjutkan ke tahap penyaringan.

#### 2. Penyaringan (*Screening*)

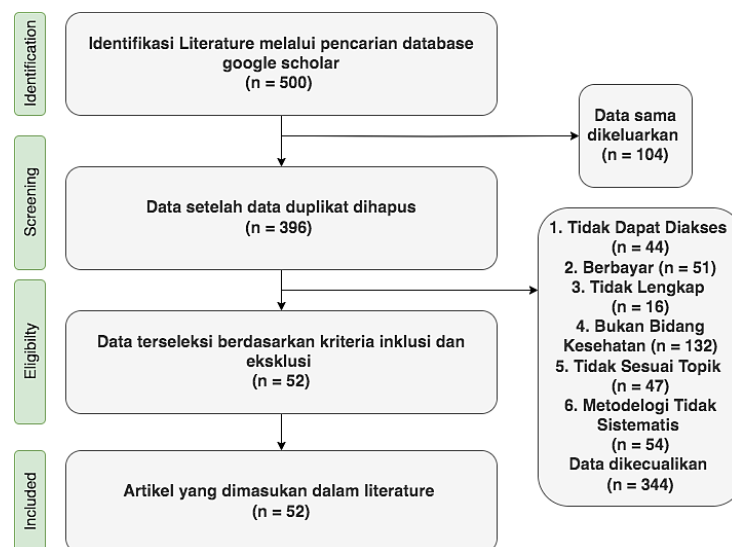
Sebanyak 396 artikel yang lolos dari tahap identifikasi ditinjau berdasarkan judul, abstrak, dan isi utama untuk menilai kesesuaiannya dengan topik penelitian. Dari hasil penyaringan, 377 artikel dikeluarkan dengan rincian: tidak dapat diakses (44 artikel), membayar (51 artikel), teks tidak lengkap (16 artikel), bukan bidang kesehatan (132 artikel), tidak sesuai topik (47 artikel), dan metodologi tidak sistematis (54 artikel). Artikel yang lolos pada tahap ini berjumlah 52 artikel.

#### 3. Kelayakan (*Eligibility*)

Pada tahap ini, 52 artikel yang lolos penyaringan ditelaah secara mendalam menggunakan teks lengkap untuk memastikan kesesuaian dengan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan.

#### 4. Inklusi (*Included*)

Artikel yang memenuhi seluruh kriteria kelayakan kemudian dimasukkan ke dalam tahap inklusi dan menjadi 52 artikel akhir yang digunakan untuk analisis dalam penelitian ini.



Gambar 2. Diagram Alur PRISMA

## 2.5. Ekstraksi Data dan Sintesis

Ekstraksi data adalah proses meringkas informasi penting dari artikel atau jurnal yang ditinjau. Ekstraksi dilakukan setelah data memenuhi syarat dan diklasifikasikan, sehingga jumlah data yang valid dapat diketahui. Proses ini digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian dan biasanya disajikan dalam bentuk tabel. Sintesis adalah penggabungan hasil beberapa penelitian untuk menarik kesimpulan berdasarkan tema yang ditemukan melalui tinjauan, ekstraksi data, dan sintesis. Dalam penelitian ini, ekstraksi data dilakukan berdasarkan lima faktor *Diffusion of Innovation Theory*:

1. Manfaat penerapan AI di bidang kesehatan.
2. Model adopsi AI dalam dunia kesehatan berdasarkan kebutuhan tenaga medis.
3. Tantangan penerapan teknologi AI di bidang kesehatan Indonesia.
4. Tingkat penerapan teknologi AI dalam sektor kesehatan di Indonesia.
5. Potensi Indonesia dalam mengimplementasikan AI di bidang kesehatan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pencarian awal sebanyak 500 artikel ilmiah terkait implementasi AI di bidang kesehatan, dilakukan proses seleksi secara sistematis berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Setelah melalui tahap penyaringan dan penilaian kualitas, terpilih sebanyak 52 artikel yang dianggap relevan dan memenuhi syarat untuk dianalisis lebih lanjut. Artikel-artikel ini diterbitkan dalam rentang tahun 2021 hingga 2024 dan mencakup berbagai jenis penelitian, baik yang bersifat kuantitatif, kualitatif, maupun tinjauan pustaka. Seluruh artikel dianalisis dengan mengacu pada lima indikator utama yang diadaptasi dari teori *Diffusion of Innovation*, yaitu manfaat penerapan AI di bidang kesehatan, model adopsi yang digunakan, tantangan implementasi, tingkat penerapan teknologi, serta potensi Indonesia dalam pengembangan AI di sektor kesehatan.

### 3.1. Manfaat Penerapan AI di Bidang Kesehatan

Hasil temuan dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa teknologi AI memiliki potensi besar dalam berbagai aspek kehidupan, terutama di bidang kesehatan. Dari 52 artikel yang direview, 45 di antaranya membahas manfaat penerapan AI dalam layanan kesehatan. AI terbukti memberikan kontribusi signifikan, terutama dalam membantu diagnosis, pengembangan obat, serta pengelolaan data pasien. AI adalah teknologi yang memungkinkan mesin meniru proses berpikir manusia, seperti mengenali pola, belajar dari data, dan mengambil keputusan secara mandiri. Dalam konteks medis, AI digunakan untuk mengolah big data dari catatan kesehatan elektronik, hasil laboratorium, citra radiologi, dan riwayat penyakit pasien guna mendukung diagnosis dan pengobatan. Salah satu bentuk aplikasi AI yang semakin berkembang adalah chatbot atau asisten digital yang mampu merespons pertanyaan pasien secara otomatis dan akurat, mencakup informasi layanan, jadwal pemeriksaan, edukasi kesehatan, hingga lokasi fasilitas medis, tanpa keterlibatan langsung tenaga medis. Bukti dari studi menunjukkan bahwa AI telah memperluas akses layanan kesehatan, khususnya di wilayah terpencil, serta mengurangi beban kerja tenaga kesehatan melalui otomatisasi pelayanan di fasilitas primer seperti Puskesmas [6], [7]. Selain untuk interaksi pasien, AI juga digunakan dalam analisis data klinis dan pengambilan keputusan berbasis bukti. *Artificial Neural Networks* (ANN) adalah model AI populer yang meniru jaringan saraf manusia untuk mengenali pola kompleks dalam data medis. ANN terbukti sangat efektif dalam mendeteksi tumor dan gangguan otak dengan tingkat akurasi tinggi [8]. AI juga dimanfaatkan dalam pemantauan pasien secara *realtime*, pengingat obat, dan manajemen rekam medis elektronik [9], [10], [11]. Aplikasi seperti PathAI, Buoy Health, dan Ginger.io mempercepat diagnosis, memungkinkan pengobatan personal, dan mendukung layanan kesehatan mental berbasis teknologi [12].

Secara global, AI telah diterapkan dalam berbagai solusi kesehatan, mulai dari diagnosis penyakit langka melalui analisis DNA oleh layanan seperti 3Billion [13], pelatihan tenaga medis berbasis simulasi 3D [14], hingga penggunaan *wearable devices* untuk pemantauan penyakit kronis dan rehabilitasi berbasis robotik [15], [16], [17]. Berdasarkan berbagai temuan, AI tidak hanya menjadi alat bantu teknis, tetapi juga solusi strategis dalam mengatasi tantangan sistem kesehatan seperti keterbatasan tenaga medis, distribusi layanan yang tidak merata, dan kebutuhan efisiensi biaya. Teknologi ini telah digunakan luas dalam prediksi penyakit, kedokteran gigi, keperawatan, pengenalan citra medis, kesehatan mental, serta dokumentasi klinis. Dalam konteks prediksi penyakit, AI bekerja menggunakan algoritma *Machine Learning* (ML) dan *Deep Learning* untuk menganalisis data klinis, gaya hidup, genetika, dan riwayat pasien guna mengenali risiko penyakit secara cepat dan akurat. Contohnya, algoritma ML untuk prediksi Diabetes Mellitus Tipe 2 mampu mencapai akurasi hingga 92% [18]. Dalam skrining Tuberkulosis (TB), AI membantu deteksi dini di wilayah minim fasilitas serta mendukung efektivitas pengendalian TB nasional [19]. Selain itu, AI digunakan untuk menganalisis data Profil Kesehatan Indonesia dan menyusun kebijakan berdasarkan prediksi tren penyakit [20]. Teknologi *deep learning* seperti *Convolutional Neural Network* (CNN) juga berhasil digunakan untuk deteksi jerawat [21], kanker kulit melalui *Hyperspectral Imaging* (HSI) [22], hingga diagnosis ortopedi dan edukasi melalui chatbot medis seperti ChatGPT [23].

Kontribusi AI dalam prediksi penyakit mencakup diagnosis dini, perluasan akses layanan, personalisasi pengobatan, dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Di bidang robotika perawatan, AI dapat meningkatkan interaksi sosial pasien dan mempertahankan otonomi individu, memungkinkan tenaga medis fokus pada aspek empati dan pengawasan klinis [24]. Sementara itu, di bidang kedokteran gigi, AI menganalisis data klinis, citra radiografi, dan rekam medis untuk diagnosis serta perencanaan perawatan yang lebih akurat dan personal. AI memiliki kemampuan mendeteksi karies tersembunyi, abses periapikal tanpa gejala awal, hingga kelainan struktur rahang yang sulit dilihat secara konvensional [25]. Teknologi ini juga mendukung perencanaan ortodontik dengan model 3D, serta membantu dokter gigi fokus pada komunikasi dan aspek humanis pelayanan. Di sisi keperawatan, AI menjadi alat bantu penting untuk asesmen, dokumentasi, dan pengambilan keputusan klinis melalui analisis data *realtime*. Teknologi seperti *Fuzzy Sugeno* dan *Thermal Scanner Camera* digunakan untuk mendeteksi risiko sejak dini [26], sementara robot keperawatan dan pelatihan berbasis AI digunakan selama pandemi [27]. Temuan menunjukkan AI mampu mengurangi risiko jatuh hingga 80%, menurunkan kunjungan Unit Gawat Darurat (UGD) sebesar 75%, serta meningkatkan efisiensi kerja dan keselamatan pasien secara menyeluruh [28].

Dalam bidang pengenalan citra medis, AI menganalisis gambar dari radiografi, endoskopi, hingga fotografi fundus untuk mendeteksi pola yang tidak kasat mata dan memberikan interpretasi hasil secara otomatis dan presisi. Performanya mampu menyamai atau melampaui dokter spesialis dalam mengidentifikasi kelainan visual, dan *Explainable AI* (XAI) meningkatkan transparansi serta kepercayaan pengguna [29]. AI bahkan berkontribusi pada penemuan baru seperti mengaitkan pucat kelopak mata dengan kadar HbA1c tinggi atau pigmentasi retina dengan kondisi hormonal tertentu. Dalam kesehatan mental, AI menyusun catatan klinis yang empatik dan efisien, mendukung diagnosis banding, serta meningkatkan komunikasi terapeutik. Sekitar 70% psikiater mengakui bahwa dokumentasi menjadi lebih efisien berkat AI [30]. LLM seperti ChatGPT-4, Claude, dan Bard memiliki prediksi klinis yang sejalan dengan profesional, mendukung pendekatan presisi dan personalisasi [31]. Dalam dokumentasi klinis, AI mengotomatisasi pencatatan menggunakan format standar seperti *Subjective, Objective, Assessment, Plan* (SOAP) dan *Behavior, Intervention, Response, Plan* (BIRP), menghemat waktu hingga dua sampai tiga jam per hari [32]. AI juga mampu merangkum data besar dari *Electronic Health Records* (EHR), mendeteksi risiko individu, menyusun riwayat medis, dan menjelaskan prosedur dengan bahasa yang sederhana [33], [34]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa AI bukan sekadar alat administratif, melainkan mitra klinis strategis dalam membangun sistem kesehatan yang lebih adaptif, efisien, dan berpusat pada pasien.

### 3.2. Model Adopsi AI dalam Dunia Kesehatan Berdasarkan Kebutuhan Tenaga Medis

Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan model-model AI tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memperbaiki akurasi diagnosis serta pengelolaan data pasien secara lebih sistematis dan responsif. Dari 52 artikel yang direview, sebanyak 26 di antaranya membahas tentang *generative AI* maupun model adopsi AI dalam sektor kesehatan. Analisis terhadap artikel-artikel ini mengindikasikan bahwa AI memiliki potensi besar dalam mengoptimalkan proses diagnosis, pengambilan keputusan klinis, serta pengelolaan sistem informasi kesehatan secara menyeluruh. Salah satu algoritma yang banyak digunakan adalah *Decision Tree*, yang termasuk dalam kategori *supervised learning*. Algoritma ini bekerja dengan memecah data berdasarkan atribut-atribut penting ke dalam struktur pohon keputusan. Keunggulan utamanya terletak pada interpretabilitas yang tinggi dan performa yang baik terhadap data bersih, menjadikannya ideal untuk klasifikasi dan prediksi dalam diagnosis medis. Dalam konteks prediksi penyakit, *decision tree* telah diterapkan secara efektif untuk mendeteksi risiko *Diabetes Mellitus Tipe 2* (DMT2). Salah satu studi yang menggunakan 200 data pasien dari Puskesmas Mlati II menemukan bahwa variabel Gula Darah Puasa (GDP) merupakan faktor paling signifikan. Evaluasi model dilakukan dengan teknik *K-Fold Cross Validation*, menghasilkan akurasi tertinggi sebesar 95% dan rata-rata akurasi 92%. Indikator evaluasi lainnya seperti presisi, *recall*, dan *F1-score* juga menunjukkan nilai tinggi, menandakan bahwa model ini layak digunakan sebagai alat skrining awal yang efisien dan akurat [18]. Model lain yang juga banyak digunakan untuk klasifikasi adalah *Support Vector Machine* (SVM), yang bekerja dengan mencari *hyperplane* optimal untuk memisahkan data ke dalam dua kelas. SVM sangat efektif dalam menangani data berdimensi tinggi dan telah diaplikasikan secara luas dalam diagnosis penyakit. Dalam konteks pendeteksian TB, SVM mencatatkan akurasi sebesar 92%, presisi 88%, *recall* 90%, dan *F1-score* 89%. Tingginya nilai *Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve* (AUC ROC) menunjukkan kemampuan diskriminatif yang kuat antara pasien TB dan non-TB. Penggunaan pendekatan XAI seperti *Local Interpretable Model-agnostic Explanations* (LIME) dan *Shapley Additive Explanations* (SHAP) turut memberikan transparansi dengan menampilkan bobot masing-masing gejala, seperti batuk berkepanjangan dan sesak napas, sehingga meningkatkan kepercayaan tenaga medis terhadap hasil prediksi sistem. Lebih jauh, penerapan SVM dalam platform berbasis web juga membuka akses diagnosis di wilayah terpencil yang kekurangan dokter spesialis, serta berkontribusi dalam memperkecil kesenjangan layanan kesehatan [19].

Aplikasi *chatbot* AI berbasis *Large Language Model* (LLM) seperti GPT-4 telah dimanfaatkan dalam layanan kesehatan digital untuk menjawab pertanyaan umum, memberikan edukasi kesehatan, hingga

mendukung proses triase awal. Salah satu studi menunjukkan bahwa chatbot GPT-4 yang dikembangkan menggunakan platform Flowise AI, dan diuji melalui metode *black box testing* serta instrumen *System Usability Scale* (SUS), memperoleh skor 75, yang menandakan sistem tersebut akurat, informatif, dan ramah pengguna. Chatbot ini mampu menjawab pertanyaan seputar BPJS, jadwal layanan, serta kesehatan lansia dengan akurasi tinggi. Di samping itu, algoritma pembelajaran mesin lainnya seperti *decision tree*, *XGBoost*, dan *logistic regression* telah digunakan untuk memprediksi penyakit menular seperti TB dan *diare*, dengan performa terbaik pada *decision tree* yang mencatatkan akurasi 0,94 untuk prediksi *diare*, mengukuhkan efektivitas model ini dalam sistem informasi kesehatan berbasis data [7]. Dalam bidang pencitraan medis, model CNN telah banyak digunakan karena kemampuannya mengenali pola dari citra digital. CNN sangat efektif dalam klasifikasi citra medis, menjadikannya alat diagnosis berbasis gambar yang andal. Dalam studi dermatologi, CNN berhasil mengklasifikasikan tingkat keparahan jerawat dari 1.106 foto wajah dengan akurasi 75% dan *loss function* sebesar 0,615. Model ini mampu mengidentifikasi 4 dari 6 gambar uji secara tepat [21]. Dalam skala lebih luas, platform seperti *Ultromics* memanfaatkan AI untuk menganalisis *echocardiography* dalam diagnosis penyakit jantung. Sementara itu, model generatif seperti Generative Adversarial Network (GAN) digunakan untuk sintesis citra medis dan pelatihan di bidang kedokteran. Teknologi *transformer-based* seperti ProtAlburt dan MolGPT juga mulai dimanfaatkan dalam desain molekul obat dan ekstraksi informasi klinis [16], [35], [36], [37].

*Deep Generative Models* (DGMs), sebagai bagian dari *generative AI*, digunakan untuk menghasilkan data sintetis berdasarkan distribusi data pelatihan. Dalam bidang informatika klinis, DGMs membantu menciptakan data baru yang menjaga kerahasiaan pasien namun tetap representatif, sehingga dapat digunakan untuk pelatihan model. Dalam pencitraan medis, model seperti *AttentionGAN* dapat mengubah citra otak untuk menganalisis progresi penyakit. Di ranah bioinformatika, model seperti MOICVAE dan Dr.VAE dapat mengintegrasikan data multi-omics seperti gen, protein, dan metabolit untuk memprediksi sensitivitas obat. Bahkan, model DRAGONET mampu menciptakan molekul obat baru berdasarkan ekspresi genetik individu, yang sangat penting untuk pengembangan pengobatan presisi dan terapi personalisasi [38]. Secara keseluruhan, *Generative AI* (GenAI) seperti ChatGPT, Midjourney, DALL·E, dan Sora telah menunjukkan kapasitas luar biasa dalam mendukung ekosistem layanan kesehatan modern. GenAI memungkinkan generasi konten berupa teks, gambar, maupun video yang dapat dimanfaatkan untuk edukasi pasien, simulasi pelatihan klinis, dokumentasi medis, serta kampanye promosi kesehatan. ChatGPT, sebagai bagian dari LLM, telah digunakan dalam simulasi kasus medis berbasis *problem-based learning* untuk pendidikan kedokteran. Selain itu, GenAI juga mendukung proses triase, penyusunan catatan medis, dan sintesis data minoritas guna mengurangi bias algoritmik. Fitur visualisasi yang dimiliki GenAI semakin memperkuat transparansi dalam klasifikasi citra medis, sehingga meningkatkan kepercayaan pengguna terhadap sistem AI. Dalam berbagai aplikasi seperti *kanker payudara*, *kesehatan mental*, dan *gizi*, GenAI telah menjadi komponen strategis untuk memperluas jangkauan, meningkatkan kualitas, serta mempercepat inovasi layanan kesehatan [34], [39].

### 3.3. Tantangan Penerapan Teknologi AI di Bidang Kesehatan Indonesia

Penerapan AI dalam sektor kesehatan di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam aspek etika, regulasi, infrastruktur, kompetensi Sumber Daya Manusia (SDM), keamanan data, serta kesenjangan sosial dan ekonomi. Dari 52 artikel yang direview, sebanyak 9 artikel membahas tantangan penerapan AI di sektor kesehatan Indonesia. Isu paling mendasar berkaitan dengan perlindungan data pribadi pasien, karena AI mengandalkan data dalam jumlah besar yang bersifat sensitif. Risiko pelanggaran privasi dan kebocoran data meningkat akibat sistem keamanan yang belum optimal, sementara proses anonimisasi data juga belum sepenuhnya menjamin keamanan [25], [6]. Situasi ini diperparah oleh belum adanya kerangka hukum nasional yang kuat terkait pengumpulan, penyimpanan, dan penggunaan data untuk pelatihan algoritma AI [25], [6], [9]. Regulasi yang belum jelas turut menghambat pemanfaatan AI dalam praktik medis. Tidak adanya aturan hukum yang tegas mengenai tanggung jawab saat terjadi kesalahan diagnosis membuat posisi hukum AI masih belum pasti. AI sebagai entitas non-manusia tidak dapat dimintai pertanggungjawaban moral atau hukum, sehingga menyulitkan mekanisme akuntabilitas [9]. Selain itu, ketiadaan sertifikasi nasional untuk perangkat AI medis dan tumpang tindihnya regulasi antar lembaga turut memperumit proses adopsi teknologi dan membingungkan penyedia layanan kesehatan [6], [40].

Keterbatasan infrastruktur digital dan akses terhadap data medis berkualitas juga menjadi hambatan besar, terutama di daerah yang belum berkembang. Implementasi AI membutuhkan jaringan internet yang stabil, sistem penyimpanan data yang memadai, serta interoperabilitas sistem, yang saat ini belum merata di seluruh wilayah Indonesia [25], [6]. Masalah pendanaan pun turut membatasi transformasi digital, karena anggaran untuk penelitian dan pengembangan teknologi canggih masih terbatas, khususnya di sektor publik [10]. Di sisi lain, kurangnya pelatihan teknis menyebabkan banyak tenaga medis belum siap memanfaatkan sistem AI secara optimal, yang berdampak pada ketimpangan kualitas layanan [25], [10]. Tantangan teknis lainnya mencakup risiko *bias* algoritma dan rendahnya kualitas data pelatihan. Data yang tidak mencerminkan keragaman populasi dapat menghasilkan keputusan yang diskriminatif terhadap kelompok

tertentu [26], [40]. Rendahnya kemampuan AI dalam menjelaskan dasar pengambilan keputusan juga menurunkan tingkat kepercayaan tenaga medis dan pasien [26]. Ketergantungan yang berlebihan pada AI dikhawatirkan akan mengurangi interaksi manusiawi dalam pelayanan kesehatan. Kurangnya pemahaman pasien mengenai cara kerja AI turut menyulitkan proses *informed consent* [25]. Secara sosial-ekonomi, AI berpotensi menggantikan sejumlah besar pekerjaan jika tidak diimbangi dengan strategi adaptasi tenaga kerja yang tepat [6], serta meningkatkan risiko serangan siber akibat tingginya ketergantungan pada data digital [6], [41]. Meskipun AI menawarkan banyak manfaat bagi sektor kesehatan, berbagai tantangan ini perlu segera diatasi. Diperlukan pendekatan holistik yang mencakup penguatan regulasi, pemerataan infrastruktur, peningkatan kompetensi SDM, serta perlindungan data untuk memastikan implementasi AI yang aman, adil, dan berkelanjutan di Indonesia.

Penerapan model-model AI dalam praktik kesehatan juga masih menghadapi tantangan teknis, sosial, dan operasional yang signifikan. Salah satu hambatan utama adalah kurangnya transparansi dalam proses pengambilan keputusan AI, seperti yang terlihat pada penerapan AI untuk skrining TB. Studi menunjukkan bahwa sistem AI sering kali bersifat *black box*, sehingga sulit dipahami oleh tenaga medis maupun pasien. Meskipun pendekatan XAI seperti LIME dan SHAP telah digunakan untuk menjelaskan logika model, penjelasan ini masih belum cukup jelas dalam konteks klinis [19]. Kurangnya interpretabilitas ini menurunkan tingkat kepercayaan terhadap AI di layanan kesehatan. Jika AI ingin diterapkan secara luas, maka transparansi sistem dan pemahaman pengguna terhadap cara kerja AI menjadi kunci agar teknologi ini benar-benar membantu proses diagnosis, bukan justru menimbulkan keraguan. Tantangan lainnya berasal dari rendahnya kualitas data dan kurangnya literasi digital masyarakat. Penelitian mengenai prediksi penyakit di Indonesia mengungkapkan bahwa proses pembersihan dan standarisasi data menjadi hambatan tersendiri, karena banyaknya nilai yang tidak valid atau format yang tidak konsisten [20]. Hal ini berdampak langsung terhadap performa model. Selain itu, penerapan *chatbot* AI di layanan kesehatan seperti di Puskesmas juga menunjukkan keterbatasan, terutama dalam menjawab pertanyaan yang kompleks atau kontekstual akibat data pelatihan yang belum optimal [7]. Rendahnya literasi digital masyarakat semakin memperparah hambatan ini. Studi-studi tersebut menegaskan bahwa pengembangan dan pemanfaatan AI dalam bidang kesehatan tidak dapat dipisahkan dari kesiapan sistem data dan edukasi pengguna. Tanpa dukungan tersebut, teknologi AI berisiko hanya menguntungkan sebagian kecil masyarakat dan gagal menjawab tantangan sistemik yang lebih luas.

### 3.4. Tingkat Penerapan Teknologi AI dalam Sektor Kesehatan di Indonesia

Tingkat penerapan AI dalam sektor kesehatan Indonesia saat ini masih berada pada tahap awal dan belum merata. Dari 52 artikel yang direview, 6 di antaranya membahas tingkat penerapan AI di bidang kesehatan di Indonesia. Belum ditemukan informasi yang secara jelas menyatakan sejauh mana teknologi AI telah diterapkan secara nasional. Ketidaktepatan ini mengindikasikan bahwa pengembangan AI dalam sektor kesehatan belum menjadi fokus utama kebijakan pemerintah. Fakta ini memperkuat bahwa penerapan AI di Indonesia masih berada pada fase awal pengembangan, dengan cakupan terbatas dan distribusi yang belum merata [25]. Meskipun demikian, inisiatif lokal mulai terlihat, seperti uji coba penerapan AI di rumah sakit dan Puskesmas dalam memprediksi deteksi dini TB dan *diabetes mellitus* [18], [19]. Hal ini menunjukkan adanya potensi untuk pengembangan lebih lanjut jika didukung oleh kebijakan nasional yang terintegrasi. Salah satu studi yang menunjukkan arah perkembangan positif adalah pemanfaatan data dari program *Profil Kesehatan Indonesia* untuk membangun sistem prediksi kejadian penyakit di seluruh provinsi. Data tersebut diproses menggunakan model ML yang dapat mendeteksi pola dan tren kesehatan populasi, dan hasilnya menunjukkan bahwa AI memiliki kontribusi nyata dalam mendukung sistem kewaspadaan dini serta pengambilan keputusan berbasis data [20]. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa meskipun penerapan AI masih terbatas, potensi manfaatnya dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi layanan kesehatan sudah mulai terlihat. Selain inisiatif dari sektor publik, kemajuan AI di Indonesia juga ditunjukkan oleh peran sektor swasta dalam pengembangan layanan kesehatan digital. Aplikasi seperti Halodoc dan Alodokter telah menggunakan AI untuk menyediakan layanan konsultasi medis daring yang cepat, responsif, dan dapat diakses oleh masyarakat luas. Inovasi ini menunjukkan bahwa sektor swasta mampu menjadi penggerak dalam pemanfaatan teknologi digital di bidang kesehatan. Fenomena ini mencerminkan pola global, di mana kemitraan antara sektor publik dan swasta menjadi kunci dalam memperluas akses dan meningkatkan mutu layanan kesehatan melalui teknologi *telemedicine* [10].

Jika dibandingkan dengan perkembangan di negara-negara maju, Indonesia masih tertinggal jauh dalam adopsi teknologi AI di sektor kesehatan. Di Amerika Serikat, sekitar 18,7% rumah sakit telah menerapkan setidaknya satu jenis aplikasi AI untuk membantu optimalisasi alur kerja serta otomatisasi tugas-tugas rutin, baik secara administratif maupun klinis. Ini menunjukkan bahwa negara maju telah melihat AI sebagai alat strategis untuk meningkatkan efisiensi operasional sekaligus kualitas layanan kesehatan [42]. Demikian pula di Tiongkok, AI dan *big data* dimanfaatkan secara luas dalam manajemen pandemi COVID-19, mulai dari deteksi kasus menggunakan CT scan, sistem *Health QR Code*, hingga pemodelan sebaran kasus dan percepatan riset vaksin, termasuk distribusinya melalui sistem digital adaptif [43]. Penggunaan AI

di Tiongkok tidak hanya mencerminkan kapasitas teknologi, tetapi juga menunjukkan kesiapan infrastruktur dan kebijakan yang mendukung adopsi teknologi secara masif dan terarah. Di wilayah Sub-Sahara Afrika (SSA), meskipun termasuk negara-negara berkembang, penerapan AI dalam layanan kesehatan telah menunjukkan kemajuan yang cukup signifikan. Teknologi ini digunakan untuk penanganan penyakit menular seperti malaria, *schistosomiasis*, *Human Immunodeficiency Virus* (HIV), dan COVID-19, serta penyakit tidak menular seperti cedera otak, diabetes, dan retinopati. Tidak hanya itu, AI juga diterapkan dalam layanan kesehatan ibu dan anak serta program kesehatan masyarakat berbasis komunitas. Keberhasilan ini dimungkinkan berkat dukungan data digital, pelatihan tenaga kesehatan, regulasi yang kondusif, serta komitmen kelembagaan dan pembiayaan yang kuat [44]. Fakta ini menunjukkan bahwa dengan perencanaan yang matang dan sinergi lintas sektor, bahkan negara dengan keterbatasan sumber daya dapat memanfaatkan AI secara efektif dalam sistem kesehatannya. Melihat berbagai perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa Indonesia saat ini masih berada pada tahap awal dalam pemanfaatan AI di sektor kesehatan dan belum memiliki sistem nasional yang terintegrasi.

### 3.5. Potensi Indonesia dalam Mengimplementasikan AI di Bidang Kesehatan

Indonesia memiliki potensi besar dalam mengimplementasikan teknologi AI di sektor kesehatan, dari 52 artikel yang direview, 5 di antaranya membahas tentang potensi Indonesia dalam mengimplementasikan AI di sektor Kesehatan. Hasil penelitian dalam beberapa artikel menunjukkan keberhasilan penerapan AI pada kasus tertentu. Meskipun belum terdapat evaluasi terhadap tingkat adopsi AI secara nasional, Indonesia memiliki kapasitas yang menjanjikan untuk mengembangkan teknologi ini dalam berbagai layanan kesehatan. Indikasi awal tersebut terlihat dalam sejumlah studi yang berhasil menguji efektivitas AI dalam konteks layanan kesehatan primer maupun sekunder. Salah satu keberhasilan terlihat dalam penerapan model *decision tree* untuk memprediksi risiko *Diabetes Mellitus* Tipe 2 dengan menggunakan data klinis dari Puskesmas Mlati II, Sleman. Model ini menunjukkan tingkat akurasi sebesar 92% [18]. Temuan ini tidak hanya menggambarkan kekuatan prediktif AI, tetapi juga memperlihatkan bahwa data yang dikumpulkan dari fasilitas pelayanan kesehatan tingkat pertama sudah cukup representatif untuk membangun sistem pendukung keputusan medis berbasis data. Keberhasilan serupa juga ditemukan dalam pemanfaatan AI untuk skrining dini kasus TB. Sistem berbasis AI terbukti mampu meningkatkan akurasi dan efisiensi deteksi TB, terutama di wilayah dengan akses terbatas terhadap tenaga medis dan fasilitas diagnostik. Dalam konteks epidemiologi Indonesia yang masih menghadapi beban TB yang tinggi, kemampuan AI untuk mempercepat deteksi dan penanganan kasus menjadi kontribusi yang sangat strategis [19]. Efektivitas teknologi AI tidak hanya terbatas pada kemampuan diagnosis, tetapi juga mencakup aspek komunikasi dan pelayanan pasien. Hal ini dibuktikan melalui penelitian pengembangan *chatbot* berbasis web untuk layanan konsultasi di Puskesmas.

Hasil evaluasi terhadap sistem ini memperoleh skor SUS sebesar 75, yang dikategorikan “baik”, menunjukkan bahwa AI tidak hanya fungsional, tetapi juga diterima dengan baik oleh pengguna [7]. Kapabilitas Indonesia untuk mengadopsi AI secara lebih luas juga diperkuat oleh kebijakan pemerintah yang mulai fokus pada transformasi digital di sektor kesehatan. Salah satunya adalah pembangunan sistem data nasional melalui program *Profil Kesehatan Indonesia*. Infrastruktur data ini mencakup informasi demografis, cakupan layanan, dan kejadian penyakit di seluruh wilayah, yang dapat dijadikan landasan bagi pengembangan sistem AI prediktif. Studi terkait memanfaatkan data tersebut dengan menggunakan *decision tree* untuk memprediksi insidensi penyakit berdasarkan faktor sosial-demografis, dan menunjukkan bahwa AI memiliki peran yang relevan dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis data pada tingkat kebijakan kesehatan [20].

Meskipun berbagai studi awal menunjukkan keberhasilan, pemanfaatan AI di Indonesia secara umum masih tergolong terbatas. Jika dibandingkan dengan implementasi AI di negara-negara berkembang lain, Indonesia perlu belajar dari praktik baik yang telah terbukti efektif. Sebagai contoh, di India, penerapan model AI qER berbasis *deep learning* berhasil meningkatkan kecepatan dan akurasi diagnosis stroke akut di rumah sakit pedesaan. Dengan menggunakan CNN untuk menganalisis hasil *Non-Contrast Computed Tomography* (NCCT), model ini mampu mengurangi waktu median dari pencitraan ke intervensi medis hingga 21 menit (sekitar 30%), serta meningkatkan jumlah pasien yang ditangani dalam waktu kurang dari 30 menit [45]. Efisiensi ini menunjukkan bahwa AI dapat membawa dampak nyata dalam mempercepat proses medis yang bersifat darurat. Studi serupa juga dilakukan di Nepal dan Mongolia, yang menggunakan algoritma *deep learning* bernama *Imaging and Informatics for Retinopathy of Prematurity* (i-ROP) untuk mendeteksi *Retinopathy of Prematurity* (ROP) pada bayi prematur. Meskipun menggunakan gambar dari kamera Forus yang lebih murah dibandingkan perangkat seperti *RetCam Portable*, algoritma ini tetap menunjukkan akurasi tinggi dalam mendeteksi ROP dan *plus disease*. Selain itu, sistem ini menghasilkan *Vascular Severity Score* (VSS) yang dapat digunakan oleh dokter untuk memantau perkembangan penyakit secara objektif dan konsisten [38]. Studi ini membuktikan bahwa AI dapat diterapkan secara efektif bahkan di negara dengan keterbatasan biaya dan infrastruktur, selama ada dukungan data dan strategi implementasi yang tepat. Hal ini didukung oleh ketersediaan data nasional, komitmen terhadap transformasi digital, serta keberhasilan studi-studi awal yang menunjukkan penerapan AI secara nyata di lapangan.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi AI di sektor kesehatan Indonesia masih berada pada tahap awal, dengan tingkat adopsi yang belum merata. Meski demikian, AI mulai dimanfaatkan dalam prediksi penyakit, pengambilan keputusan klinis, pengelolaan data pasien, dan peningkatan efisiensi layanan. Beberapa studi melaporkan keberhasilan penerapan AI dengan akurasi tinggi, seperti pada kasus *diabetes mellitus* dan TB, melalui algoritma seperti *Decision Tree* dan SVM. Namun, tantangan signifikan masih ada, antara lain keterbatasan infrastruktur, rendahnya literasi digital tenaga medis, minimnya regulasi, serta isu etika dan keamanan data. Hambatan ini dapat menghambat pemanfaatan AI secara luas jika tidak segera diatasi. Dalam hal ini, kesiapan sistem kesehatan secara keseluruhan, termasuk regulasi, kompetensi SDM, dan infrastruktur digital, sangat menentukan keberhasilan implementasi. AI memiliki potensi besar dalam mendukung transformasi layanan kesehatan, terutama dalam meningkatkan akses, efisiensi, dan akurasi pelayanan. Diperlukan strategi nasional yang terstruktur dan kolaboratif agar potensi ini dapat dioptimalkan. Untuk itu, penelitian lanjutan disarankan agar mengevaluasi dampak penerapan AI secara kuantitatif, serta memetakan kesiapan infrastruktur dan SDM di berbagai wilayah di Indonesia.

#### REFERENSI

- [1] O. Harmi, "Transformasi Digital di Bidang Kesehatan: Analisis Dampak Inovasi Digital di Puskesmas Kabupaten Bogor Tahun 2022," *bina*, vol. 1, no. 2, pp. 220–234, Feb. 2023, doi: 10.62389/bina.v1i2.37.
- [2] KEMENKES RI, *Strategi Transformasi Digital Kesehatan 2024*. 2021, 2021.
- [3] N. Bostrom, *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*, First edition. Oxford: Oxford University Press, 2014.
- [4] A. J. Syahwali, B. Piwari, A. Prabowo, and T. Sutabri, "Transformasi Digital Untuk Pengembangan Pelayanan Kesehatan di Rumah Sakit," vol. 1, 2023.
- [5] Dr.Serhat Kurt, "Diffusion of Innovations Theory," Educational Technology. [Online]. Available: <https://educationaltechnology.net/diffusion-of-innovations-theory/>
- [6] W. Khoirunnisa and F. U. Najicha, "Transformasi Indonesia melalui Pemanfaatan Kecerdasan Buatan : Tantangan dan Dampaknya".
- [7] M. Mulyawan, R. D. Dana, A. Bahtiar, and I. Ali, "Optimalisasi Layanan Kesehatan di Puskesmas Melalui Pengembangan Chatbot Berbasis Web Menggunakan Flowise AI," *jtim*, vol. 6, no. 3, pp. 376–391, Nov. 2024, doi: 10.35746/jtim.v6i3.617.
- [8] M. A. Thaariq, M. D. M. Baskara, R. A. Chaniago, D. Christin, and I. Ernawati, "Systematic Literature Review: Analisis Penerapan Kecerdasan Buatan Dalam Bidang Kesehatan".
- [9] S. Primasatya, "Perlindungan Terhadap Perkembangan Layanan Kesehatan Berbasis Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence) Di Indonesia: Protection Regarding the Development of Artificial Intelligence-based Health Service Technology in Indonesia," *j. global. huk.*, vol. 1, no. 1, pp. 78–93, May 2024, doi: 10.25105/jgh.v1i1.19833.
- [10] R. Komalasari, "Pemanfaatan Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence) Dalam Telemedicine:Dari Perspektif Profesional Kesehatan," *J. Ked. Mulawarman*, vol. 9, no. 2, p. 10, Sep. 2022.
- [11] J. Zhang and Z. Zhang, "Ethics and governance of trustworthy medical artificial intelligence," *BMC Med Inform Decis Mak*, vol. 23, no. 1, p. 7, Jan. 2023, doi: 10.1186/s12911-023-02103-9.
- [12] G. Sanhaji and A. I. Hizbullah, "Pemanfaatan Artificial Intelligence Dalam Bidang Kesehatan," *EDUSAINTEK*, vol. 11, no. 1, pp. 234–242, Aug. 2023, doi: 10.47668/edusaintek.v11i1.999.
- [13] D. Lee and S. N. Yoon, "Application of Artificial Intelligence-Based Technologies in the Healthcare Industry: Opportunities and Challenges," *IJERPH*, vol. 18, no. 1, p. 271, Jan. 2021, doi: 10.3390/ijerph18010271.
- [14] S. Secinaro, D. Calandra, A. Secinaro, V. Muthurangu, and P. Biancone, "The role of artificial intelligence in healthcare: a structured literature review," *BMC Med Inform Decis Mak*, vol. 21, no. 1, p. 125, Dec. 2021, doi: 10.1186/s12911-021-01488-9.
- [15] A. Amjad, P. Kordel, and G. Fernandes, "A Review on Innovation in Healthcare Sector (Telehealth) through Artificial Intelligence," *Sustainability*, vol. 15, no. 8, p. 6655, Apr. 2023, doi: 10.3390/su15086655.
- [16] A. Al Kuwaiti *et al.*, "A Review of the Role of Artificial Intelligence in Healthcare," *JPM*, vol. 13, no. 6, p. 951, Jun. 2023, doi: 10.3390/jpm13060951.
- [17] R. Manne and S. C. Kantheti, "Application of Artificial Intelligence in Healthcare: Chances and Challenges," *CJAST*, pp. 78–89, Apr. 2021, doi: 10.9734/cjast/2021/v40i631320.
- [18] M. F. Aditya, A. Pramuntadi, D. P. Wijaya, and Y. Wicaksono, "Implementasi Metode Decision Tree pada Prediksi Penyakit Diabetes Melitus Tipe 2: Implementation of Decision Tree Method for Diabetes Mellitus Type 2 Prediction," *MALCOM*, vol. 4, no. 3, pp. 1104–1110, Jul. 2024, doi: 10.57152/malcom.v4i3.1284.

- [19] I. A. A. Azzahra and A. Setiawan, "Inovasi Teknologi Ai Dalam Deteksi Dini Tuberkulosis Dengan Kecerdasan Buatan," vol. 4, no. 2, 2024.
- [20] R. G. Wardhana, G. Wang, and F. Sibuea, "Penerapan Machine Learning Dalam Prediksi Tingkat Kasus Penyakit Di Indonesia," *JOISM*, vol. 5, no. 1, pp. 40–45, Jul. 2023, doi: 10.24076/joism.2023v5i1.1136.
- [21] E. Adhi Guna, E. Fransiska Sihombing, M. Nico Pasaribu, H. Syahputra, and F. Ramadhani, "Implementasi Algoritma CNN dalam Mengidentifikasi Tingkat Keparahan Jerawat Pada Wajah," *jati*, vol. 8, no. 4, pp. 5778–5782, Jun. 2024, doi: 10.36040/jati.v8i4.10010.
- [22] M. La Salvia *et al.*, "Deep Convolutional Generative Adversarial Networks to Enhance Artificial Intelligence in Healthcare: A Skin Cancer Application," *Sensors*, vol. 22, no. 16, p. 6145, Aug. 2022, doi: 10.3390/s22166145.
- [23] S. Pagano *et al.*, "Arthrosis diagnosis and treatment recommendations in clinical practice: an exploratory investigation with the generative AI model GPT-4," *J Orthop Traumatol*, vol. 24, no. 1, p. 61, Nov. 2023, doi: 10.1186/s10195-023-00740-4.
- [24] K. Murphy *et al.*, "Artificial intelligence for good health: a scoping review of the ethics literature," *BMC Med Ethics*, vol. 22, no. 1, p. 14, Dec. 2021, doi: 10.1186/s12910-021-00577-8.
- [25] Y. A. Fauziah, H. Alhadad, and Y. P. Utama, "Etika Dan Tantangan Penggunaan Kecerdasan Buatan Dalam Kedokteran Gigi," vol. 4, 2024.
- [26] A. Habibi and R. T. S. Haryati, "Artificial Intelligence In Nursing: A Literature Review," *Jurnal Kesehatan Fikes Tangerang*, vol. 6, no. 2, p. 8, Dec. 2021, doi: 10.31000/jkft.v6i2.5614.
- [27] A. R. Wati, "Optimalisasi teknologi kecerdasan buatan (artificial intelligence) untuk menentukan skala prioritas diagnosa keperawatan anak: A literature review," *artificial intelligence*, vol. 17.
- [28] M. H. Kurniawan, H. Handiyani, T. Nuraini, and R. T. S. Hariyati, "Artificial Intelligence (AI) in Nursing Services: A Literature Review," *FHJ*, vol. 10, no. 01, pp. 77–84, Apr. 2023, doi: 10.33746/fhj.v10i01.556.
- [29] O. Lang *et al.*, "Using generative AI to investigate medical imagery models and datasets," *eBioMedicine*, vol. 102, p. 105075, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.ebiom.2024.105075.
- [30] C. Blease, A. Worthen, and J. Torous, "Psychiatrists' experiences and opinions of generative artificial intelligence in mental healthcare: An online mixed methods survey," *Psychiatry Research*, vol. 333, p. 115724, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.psychres.2024.115724.
- [31] Z. Elyoseph and I. Levkovich, "Comparing the Perspectives of Generative AI, Mental Health Experts, and the General Public on Schizophrenia Recovery: Case Vignette Study," *JMIR Ment Health*, vol. 11, pp. e53043–e53043, Mar. 2024, doi: 10.2196/53043.
- [32] A. Biswas and W. Talukdar, "Intelligent Clinical Documentation: Harnessing Generative AI for Patient-Centric Clinical Note Generation," *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, pp. 994–1008, May 2024, doi: 10.38124/ijisrt/IJISRT24MAY1483.
- [33] M. Alkhalaf, P. Yu, M. Yin, and C. Deng, "Applying generative AI with retrieval augmented generation to summarize and extract key clinical information from electronic health records," *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 156, p. 104662, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.jbi.2024.104662.
- [34] D. Etli, "Generative AI and Patient Care: A Systematic Review Examining Applications, Limitations, and Future Directions for ChatGPT in Healthcare," *JQHE*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2024, doi: 10.23880/jqhe-16000361.
- [35] Y. Shokrollahi, S. Yarmohammadtoosky, M. M. Nikahd, P. Dong, and L. Gu, "A Comprehensive Review of Generative AI in Healthcare".
- [36] P. Zhang and M. N. Kamel Boulos, "Generative AI in Medicine and Healthcare: Promises, Opportunities and Challenges," *Future Internet*, vol. 15, no. 9, p. 286, Aug. 2023, doi: 10.3390/fi15090286.
- [37] S. Sai, A. Gaur, R. Sai, V. Chamola, M. Guizani, and J. J. P. C. Rodrigues, "Generative AI for Transformative Healthcare: A Comprehensive Study of Emerging Models, Applications, Case Studies, and Limitations," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 31078–31106, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3367715.
- [38] I. Ghebrehwet, N. Zaki, R. Damseh, and M. S. Mohamad, "Revolutionizing personalized medicine with generative AI: a systematic review," *Artif Intell Rev*, vol. 57, no. 5, p. 128, Apr. 2024, doi: 10.1007/s10462-024-10768-5.
- [39] Y. Ning *et al.*, "Generative artificial intelligence and ethical considerations in health care: a scoping review and ethics checklist," *The Lancet Digital Health*, vol. 6, no. 11, pp. e848–e856, Nov. 2024, doi: 10.1016/S2589-7500(24)00143-2.
- [40] N. N. P. Purnama Santhi and N. W. Eka Damayanti, "Implikasi Hukum Terhadap Penggunaan Kecerdasan Buatan Dalam Diagnosis Dan Pengobatan Penyakit Dalam Sistem Kesehatan," *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, vol. 4, no. 3, p. 10, 2024, [Online]. Available: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

- 
- [41] N. N. P. Purnama Santhi and N. W. Eka Damayanti, "Implikasi Hukum Terhadap Penggunaan Kecerdasan Buatan Dalam Diagnosis Dan Pengobatan Penyakit Dalam Sistem Kesehatan," *ournal Of Social Science Research*, vol. 4, no. 3, pp. 17355–17364, 2024.
  - [42] R. Bin Abdul Baten, "How are US hospitals adopting artificial intelligence? Early evidence from 2022," *Health Affairs Scholar*, vol. 2, no. 10, p. qxae123, Oct. 2024, doi: 10.1093/haschl/qxae123.
  - [43] J. Dong *et al.*, "Application of Big Data and Artificial Intelligence in COVID-19 Prevention, Diagnosis, Treatment and Management Decisions in China," *J Med Syst*, vol. 45, no. 9, p. 84, Sep. 2021, doi: 10.1007/s10916-021-01757-0.
  - [44] R. K. Dadzie Ephraim, G. P. Kotam, E. Duah, F. N. Ghartey, E. M. Mathebula, and T. P. Mashamba-Thompson, "Application of medical artificial intelligence technology in sub-Saharan Africa: Prospects for medical laboratories," *Smart Health*, vol. 33, p. 100505, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.smhl.2024.100505.
  - [45] J. A. Chiramal *et al.*, "Artificial Intelligence-based automated CT brain interpretation to accelerate treatment for acute stroke in rural India: An interrupted time series study," *PLOS Glob Public Health*, vol. 4, no. 7, p. e0003351, Jul. 2024, doi: 10.1371/journal.pgph.0003351.