

TRANSFORMASI LAYANAN TELINGA HIDUNG TENGGOROKAN– KEPALA LEHER (THT-KL) MELALUI ARTIFICIAL INTELLIGENCE: LITERATURE REVIEW

Rika Caesaria Hidayat

Institut Kesehatan Helvetia, Medan, Indonesia

Email Korespondensi: seshahidayat@gmail.com

Abstract. *The development of Artificial Intelligence (AI) has driven a significant transformation in medical services, including in the field of Otorhinolaryngology–Head and Neck Surgery (ENT-HNS). This literature review aims to comprehensively analyze the utilization of AI in ENT-HNS services, covering diagnosis, medical imaging interpretation, disease detection, clinical decision-making, and implementation challenges. The method used is a narrative review of articles indexed in PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink, and Wiley Online Library published between 2021–2026, in English and Indonesian. A total of 32 articles that met the inclusion criteria were analyzed. The results show that AI, especially machine learning and deep learning, has been widely applied for detecting chronic rhinosinusitis, otitis media, hearing loss, head and neck cancer, laryngeal disorders, and obstructive sleep apnea. AI also improves the accuracy of CT-scan and MRI interpretation through image segmentation, polyp detection, and tumor identification, while serving as a Clinical Decision Support System integrated with Electronic Medical Records. The main challenges include data privacy, ethics, dataset limitations, infrastructure, and workforce readiness. AI has strong potential to transform ENT-HNS services, although sustainable regulation, human resources, and evaluation are still required.*

Keywords: *artificial intelligence; deep learning; head and neck surgery; machine learning; otorhinolaryngology.*

Abstrak. Perkembangan Artificial Intelligence (AI) telah mendorong transformasi signifikan pada berbagai bidang pelayanan kesehatan, termasuk Telinga Hidung Tenggorokan–Kepala Leher (THT-KL). Literature review ini bertujuan menganalisis secara komprehensif pemanfaatan AI dalam pelayanan THT-KL, meliputi diagnosis, interpretasi pencitraan medis, deteksi penyakit, pengambilan keputusan klinis, serta tantangan implementasinya. Metode yang digunakan adalah narrative review terhadap artikel yang terindeks pada PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink, dan Wiley Online Library dengan rentang publikasi 2021–2026 berbahasa Inggris dan Indonesia. Sebanyak 32 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis. Hasil kajian menunjukkan bahwa AI khususnya machine learning dan deep learning telah banyak diaplikasikan untuk mendeteksi rinosinusitis kronis, otitis media, gangguan pendengaran, kanker kepala dan leher, kelainan laring, serta Obstructive Sleep Apnea. AI juga meningkatkan akurasi interpretasi CT-scan dan MRI melalui segmentasi citra, deteksi polip, dan identifikasi tumor, serta berperan sebagai Clinical Decision Support System yang terintegrasi dengan Electronic Medical Record. Tantangan utama meliputi privasi data, etika, keterbatasan dataset, infrastruktur, dan kesiapan sumber daya manusia. AI berpotensi kuat mentransformasi pelayanan THT-KL, meskipun tetap memerlukan regulasi, sumber daya manusia, dan evaluasi berkelanjutan.

Kata kunci: artificial intelligence; deep learning; kepala dan leher; machine learning; otorhinolaringologi.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dalam dua dekade terakhir telah membawa transformasi mendasar pada sektor kesehatan, termasuk di bidang Telinga Hidung Tenggorokan–Kepala Leher (THT-KL). Salah satu inovasi paling berpengaruh adalah Artificial Intelligence (AI), yaitu cabang ilmu komputer yang memungkinkan mesin melakukan proses berpikir menyerupai manusia melalui algoritma pembelajaran otomatis, pengenalan pola, serta pengolahan data dalam jumlah besar (Bur et al., 2022; Crowson et al., 2022). Dalam pelayanan kesehatan, AI hadir sebagai instrumen yang mampu meningkatkan kualitas diagnosis, mempercepat interpretasi pencitraan medis, memperkuat pengambilan keputusan klinis, hingga mendukung pemantauan pasien secara berkelanjutan (Bianco et al., 2023).

Bidang THT-KL memiliki karakteristik unik karena mencakup organ dengan anatomi kompleks, gejala klinis yang sering tumpang tindih, serta kebutuhan pemeriksaan penunjang yang beragam mulai dari otoskopi, endoskopi, audiometri, hingga pencitraan CT-scan dan MRI. Kompleksitas ini kerap menimbulkan tantangan bagi klinisi, terutama dalam menegakkan diagnosis pada penyakit dengan variasi klinis luas seperti rinosinusitis kronis, otitis media, tuli sensorineural, kanker kepala dan leher, kelainan laring, serta Obstructive Sleep Apnea (OSA) (Alruwaili et al., 2023; Cha et al., 2021). Selain itu, keterbatasan jumlah dokter spesialis THT-KL yang tidak merata di berbagai wilayah semakin mempertegas kesenjangan pelayanan, khususnya di negara berkembang termasuk Indonesia.

Di sisi lain, era digitalisasi kesehatan mendorong percepatan adopsi teknologi berbasis data. Rekam medis elektronik, telemedisin, dan Internet of Medical Things (IoMT) menghasilkan volume data klinis yang sangat besar. Data ini menjadi fondasi bagi pengembangan AI, khususnya machine learning (ML) dan deep learning (DL), untuk membangun model prediktif dan diagnostik yang akurat (Tama et al., 2022). Dalam bidang THT-KL, penerapan AI telah menunjukkan hasil yang menjanjikan, mulai dari klasifikasi otomatis citra otoskopi, segmentasi sinus paranasal pada CT-scan, deteksi lesi laring melalui narrow band imaging, hingga prediksi risiko OSA berbasis parameter klinis (Habib et al., 2022; Lauren et al., 2023; Wu et al., 2021).

Kemampuan AI dalam mengolah data dengan volume besar dan variabilitas tinggi memungkinkan tercapainya peningkatan akurasi diagnosis, efisiensi waktu, serta reduksi

kesalahan medis (human error). Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa performa AI dalam deteksi lesi otologis dan laringologis bahkan mendekati atau setara dengan performa dokter spesialis berpengalaman (Cao et al., 2022; Liu et al., 2023). Namun demikian, adopsi AI di bidang THT-KL bukan tanpa hambatan. Persoalan privasi data, keamanan informasi, dilema etika, keterbatasan dataset lokal, kesenjangan infrastruktur digital, serta kesiapan tenaga kesehatan masih menjadi kendala serius, terutama di negara dengan sumber daya terbatas (Ramadhan & Sari, 2023; Wibowo et al., 2024).

Meskipun sejumlah studi telah membahas penerapan AI di berbagai subdisiplin THT-KL, sintesis komprehensif yang menggabungkan aspek klinis, teknologi, tantangan, serta peluang implementasi di Indonesia masih terbatas. Literatur yang tersedia cenderung parsial pada satu subdisiplin misalnya otologi atau rinologi saja sehingga belum memberikan gambaran menyeluruh yang dapat menjadi rujukan bagi pengembangan kebijakan dan praktik klinis nasional. Oleh karena itu, literature review yang mengulas AI dalam pelayanan THT-KL secara terintegrasi menjadi penting untuk memetakan status pengetahuan terkini serta arah pengembangan ke depan. Artikel ini bertujuan mengulas secara komprehensif perkembangan pemanfaatan AI dalam pelayanan THT-KL yang meliputi diagnosis, interpretasi pencitraan medis, deteksi penyakit, pengambilan keputusan klinis, serta tantangan implementasinya di fasilitas pelayanan kesehatan, dengan penekanan pada relevansi bagi konteks Indonesia.

2. METODE

Penelitian ini merupakan literature review dengan pendekatan narrative review yang bertujuan menyintesis literatur terkini mengenai penerapan Artificial Intelligence pada pelayanan THT-KL. Pendekatan naratif dipilih karena mampu mengintegrasikan hasil dari berbagai jenis studi, baik penelitian original, systematic review, meta-analysis, maupun clinical review, ke dalam satu narasi analitis yang komprehensif.

Sumber Data dan Strategi Pencarian

Penelusuran literatur dilakukan pada lima basis data ilmiah utama, yaitu PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink, dan Wiley Online Library. Kombinasi kata kunci yang digunakan meliputi: “Artificial Intelligence”, “Machine Learning”, “Deep Learning”, “Otorhinolaryngology”, “ENT”, “Head and Neck Surgery”, “Chronic Rhinosinusitis”, “Otology”, “Laryngology”, dan “AI in Healthcare”. Operator

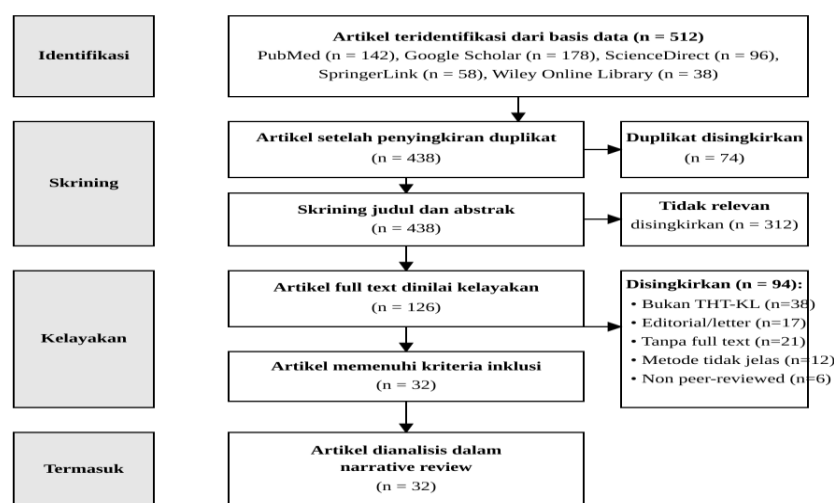
Boolean “AND” dan “OR” digunakan untuk memperluas maupun mempersempit hasil penelusuran. Rentang publikasi yang ditetapkan adalah tahun 2021 hingga 2026, dengan bahasa artikel Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel penelitian original, systematic review, meta-analysis, dan clinical review; (2) artikel yang tersedia dalam bentuk full text; (3) artikel yang dipublikasikan pada jurnal peer-reviewed; serta (4) artikel yang membahas penerapan AI dalam bidang THT-KL. Kriteria eksklusi meliputi: (1) editorial atau letter to editor; (2) artikel tanpa akses full text; (3) artikel duplikat pada beberapa basis data; serta (4) artikel yang tidak membahas AI pada bidang THT-KL.

Seleksi Artikel dan Analisis Isi

Proses seleksi literatur dilakukan secara bertahap berdasarkan relevansi judul, abstrak, dan isi artikel. Tahap pertama adalah screening judul untuk menyingkirkan artikel yang tidak relevan. Tahap kedua adalah penilaian abstrak untuk memastikan kesesuaian dengan topik AI dalam bidang THT-KL. Tahap ketiga adalah pembacaan full text untuk mengevaluasi kualitas metodologis dan relevansi substansial. Dari hasil penelusuran awal sebanyak 512 artikel, setelah proses seleksi dan penyingkiran duplikasi, diperoleh 32 artikel yang memenuhi kriteria dan dianalisis lebih lanjut. Alur seleksi literatur secara ringkas disajikan pada Gambar 1. Analisis isi dilakukan secara tematik dengan mengelompokkan temuan berdasarkan subdisiplin THT-KL, modalitas AI yang digunakan, luaran klinis, serta tantangan dan peluang implementasi.



Gambar 1. Diagram alur seleksi literatur (adaptasi PRISMA).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan proses seleksi, sebanyak 32 artikel dimasukkan ke dalam kajian ini. Ringkasan 15 artikel utama yang paling relevan dengan tujuan review disajikan pada Tabel 1. Adapun performa AI berdasarkan subdisiplin THT-KL diringkas pada Tabel 2. Pembahasan tematik disajikan pada subbab-subbab berikut.

Tabel 1. Sintesis 15 artikel utama yang direview.

No.	Penulis (Tahun)	Desain Studi	Modalitas AI	Subdisiplin	Temuan Utama
1	Wu et al. (2021)	Systematic review	Deep learning (U-Net)	Rinologi	Segmentasi sinus paranasal pada CT-scan dengan Dice similarity coefficient 0,92; mengurangi waktu interpretasi hingga 60%.
2	Bur et al. (2022)	Narrative review	Machine learning, deep learning	THT-KL umum	AI mempercepat pengambilan keputusan klinis 30–40% pada layanan tersier THT-KL, khususnya onkologi kepala-leher.
3	Cao et al. (2022)	Systematic review	CNN (klasifikasi citra)	Otologi	Klasifikasi citra otoskopi otitis media anak dengan akurasi 93,4% dan sensitivitas 91,8%.
4	Crowson et al. (2022)	Contemporary review	ML, DL, NLP	THT-KL umum	Ulasan komprehensif aplikasi ML pada THT-KL; CNN dominan untuk analisis citra, NLP untuk EMR.
5	Habib et al. (2022)	Scoping review	Deep learning	Laringologi	Deteksi karsinoma laring dini dengan sensitivitas 92%, setara laringolog senior.
6	Tama et al. (2022)	Comprehensive review	Ensemble machine learning	OSA	Mengklasifikasikan derajat OSA dengan akurasi 88,7%.
7	Alruwaili et al. (2023)	Systematic review	Random forest	Otologi	Prediksi keberhasilan implan koklea dengan akurasi 89%.
8	Bianco et al. (2023)	Systematic review	CNN, radiomics	Onkologi kepala-leher	Deteksi karsinoma sel skuamosa rongga mulut dengan AUC rata-rata 0,94.

No.	Penulis (Tahun)	Desain Studi	Modalitas AI	Subdisiplin	Temuan Utama
9	Lauren et al. (2023)	Narrative review	Deep learning, transformer	Onkologi kepala-leher	Radiomics MRI memprediksi respon kemoradioterapi karsinoma nasofaring.
10	Liu et al. (2023)	Systematic review	Machine learning	Otologi	Skrining pendengaran berbasis smartphone dengan AI memperluas jangkauan pelayanan.
11	Cha et al. (2021)	Original research	Deep learning + radiomics	Onkologi	Prediksi respon terapi menggunakan radiomics berbasis DL meningkatkan akurasi prognostik.
12	Han et al. (2023)	Meta-analysis	CNN + narrow band imaging	Laringologi	Diagnosis kanker laring via NBI dengan sensitivitas gabungan 89% dan spesifisitas 91%.
13	Yao et al. (2023)	Scoping review	Deep learning	Laringologi	AI pada laringoskopi office memiliki potensi tinggi sebagai second reader.
14	Ramadhan & Sari (2023)	Kajian literatur	Konseptual	Sistem kesehatan Indonesia	Kesiapan RS Indonesia terhadap AI terbatas pada infrastruktur dan SDM.
15	Wibowo et al. (2024)	Kajian kualitatif	Konseptual	Sistem kesehatan Indonesia	Tantangan implementasi AI meliputi infrastruktur, regulasi, dan literasi digital tenaga medis.

3.1 Perkembangan Artificial Intelligence dalam Pelayanan THT-KL

Konsep Artificial Intelligence pertama kali diperkenalkan pada Konferensi Dartmouth tahun 1956 oleh John McCarthy dan rekan-rekannya sebagai upaya membangun mesin yang mampu meniru fungsi kognitif manusia. Namun, penerapan AI secara signifikan di bidang kesehatan baru berkembang pesat sejak awal abad ke-21, seiring dengan meningkatnya kapasitas komputasi, ketersediaan Big Data medis, serta kemajuan algoritma machine learning dan deep learning (Bianco et al., 2023; Crowson et al., 2022). Dalam bidang THT-KL, penetrasi AI dimulai dari sistem klasifikasi otomatis citra otoskopi pada awal 2010-an, kemudian meluas ke segmentasi sinus paranasal,

deteksi tumor kepala dan leher, hingga sistem prediksi risiko klinis multiparameter. Transformasi digital pelayanan THT-KL saat ini ditandai dengan integrasi berbagai teknologi seperti telemedisin, endoskopi berbasis kamera resolusi tinggi, rekam medis elektronik, dan sistem pencitraan tiga dimensi.

Kehadiran AI menjadi katalisator penting dalam mengoptimalkan pemanfaatan data yang dihasilkan dari berbagai modalitas tersebut. Menurut Bur et al. (2022), AI mampu mempercepat proses pengambilan keputusan klinis pada layanan tersier THT-KL hingga 30–40% dibandingkan pendekatan konvensional, khususnya pada kasus onkologi kepala dan leher. Jenis AI yang paling banyak digunakan dalam bidang THT-KL meliputi machine learning klasik (seperti support vector machine dan random forest), deep learning berbasis convolutional neural network (CNN) untuk analisis citra, serta natural language processing (NLP) untuk pengolahan data rekam medis tekstual (Habib et al., 2022; Tama et al., 2022). CNN merupakan arsitektur yang paling dominan dalam interpretasi citra otoskopi, endoskopi, CT-scan, dan MRI, karena kemampuannya mengenali pola spasial secara hierarkis. Selain itu, arsitektur transformer dan generative AI mulai dikembangkan untuk aplikasi yang lebih kompleks, misalnya sintesis laporan radiologi otomatis (Lauren et al., 2023).

3.2 AI dalam Diagnosis Penyakit THT-KL

Sintesis lintas subdisiplin THT-KL diringkas pada Tabel 2. Rincian pembahasan per penyakit diuraikan pada subbab berikut.

Tabel 2. Ringkasan performa AI berdasarkan subdisiplin THT-KL.

Subdisiplin THT-KL	Aplikasi Klinis	Arsitektur AI Dominan	Rentang Performa	Referensi Utama
Rinologi	Segmentasi sinus paranasal, deteksi polip, skoring Lund–Mackay otomatis	U-Net, V-Net, nnU-Net	Dice 0,90–0,92; sensitivitas polip >90%	Wu et al. (2021); Bur et al. (2022); Habib et al. (2022)
Otologi	Klasifikasi otoskopi, prediksi implan koklea, skrining pendengaran	CNN, Random Forest	Akurasi 89–93,4%	Cao et al. (2022); Alruwaili et al. (2023); Liu et al. (2023)
Laringologi	Deteksi lesi laring dan karsinoma via NBI	CNN, Transformer	Sensitivitas 89–92%; Spesifisitas 91%	Habib et al. (2022); Han et al. (2023); Yao et al. (2023)

Subdisiplin THT-KL	Aplikasi Klinis	Arsitektur AI Dominan	Rentang Performa	Referensi Utama
Onkologi Kepala-Leher	Deteksi karsinoma sel skuamosa, prediksi respon terapi	CNN, radiomics ML	AUC 0,89– 0,94	Bianco et al. (2023); Cha et al. (2021); Lauren et al. (2023)
OSA	Prediksi risiko OSA dari parameter klinis dan sinyal PSG	Ensemble ML, Random Forest	Akurasi 85– 88,7%	Tama et al. (2022)

Rinosinusitis Kronis

Rinosinusitis kronis (chronic rhinosinusitis, CRS) merupakan salah satu penyakit yang paling banyak diteliti dalam konteks AI di bidang rinologi. Beberapa penelitian mengembangkan model CNN untuk melakukan segmentasi otomatis sinus paranasal pada CT-scan serta mengklasifikasikan derajat opasifikasi mukosa (Bur et al., 2022; Wu et al., 2021). Studi Wu et al. (2021) menunjukkan bahwa model deep learning berbasis U-Net mampu mencapai Dice similarity coefficient sebesar 0,92 untuk segmentasi sinus maksilaris, setara dengan penilaian oleh ahli radiologi. Model ini bermanfaat untuk skoring Lund–Mackay otomatis serta perencanaan bedah endoskopik sinus.

Otitis Media

Pada bidang otologi, AI banyak digunakan untuk klasifikasi citra otoskopi guna membedakan otitis media akut, otitis media efusi, otitis media supuratif kronis, dan telinga normal. Cao et al. (2022) melaporkan performa CNN dengan akurasi 93,4% dan sensitivitas 91,8% dalam klasifikasi otitis media pada anak. Sistem tersebut berpotensi menjadi alat bantu skrining di layanan primer, terutama pada wilayah dengan keterbatasan dokter spesialis THT-KL.

Gangguan Pendengaran

AI juga dimanfaatkan dalam skrining dan diagnosis gangguan pendengaran melalui analisis audiogram, otoacoustic emission, dan auditory brainstem response. Alruwaili et al. (2023) menunjukkan bahwa algoritma machine learning berbasis random forest mampu memprediksi keberhasilan pemasangan implan koklea dengan akurasi 89%. Selain itu, aplikasi berbasis smartphone dengan integrasi AI mulai digunakan untuk

skrining tuli pada neonatus dan lanjut usia, sehingga memperluas jangkauan pelayanan otologi (Liu et al., 2023).

Kanker Kepala dan Leher

Kanker kepala dan leher merupakan area onkologi yang paling banyak memanfaatkan AI untuk deteksi dini, prediksi respon terapi, dan estimasi kesintasan. Bianco et al. (2023) dalam systematic review-nya menemukan bahwa CNN berbasis histopatologi mampu mendeteksi karsinoma sel skuamosa rongga mulut dengan area under the curve (AUC) rata-rata 0,94. Selain itu, model radiomics berbasis MRI telah terbukti dapat memprediksi respon kemoradioterapi pada karsinoma nasofaring (Cha et al., 2021).

Kelainan Laring

Pada bidang laringologi, AI digunakan untuk menganalisis citra laringoskopi dan narrow band imaging guna membedakan lesi jinak, prekanker, dan kanker. Habib et al. (2022) mengembangkan sistem berbasis deep learning yang mampu mendeteksi karsinoma laring dini dengan sensitivitas 92%, sebanding dengan performa laringolog senior. Sistem ini bermanfaat sebagai second reader dalam praktik klinis, khususnya di pusat rujukan onkologi kepala dan leher.

Gangguan Tidur (Obstructive Sleep Apnea)

Obstructive Sleep Apnea (OSA) merupakan gangguan yang sering ditemukan di klinik THT-KL. AI digunakan untuk memprediksi risiko OSA berdasarkan parameter klinis, sinyal polisomnografi, dan bahkan analisis suara napas. Tama et al. (2022) mengembangkan model ensemble machine learning yang mampu mengklasifikasikan derajat OSA dengan akurasi 88,7%. Aplikasi wearable device berbasis AI juga mulai digunakan untuk pemantauan tidur di rumah, memperluas cakupan diagnosis di luar laboratorium tidur.

3.3 AI dalam Interpretasi CT-Scan dan MRI

Interpretasi pencitraan medis merupakan salah satu domain paling matang dalam penerapan AI di bidang THT-KL. Computer vision berbasis deep learning memungkinkan analisis citra tiga dimensi secara otomatis dengan tingkat akurasi tinggi. Segmentasi sinus paranasal, deteksi polip nasi, identifikasi tumor nasofaring, dan penilaian invasi tulang basis kranium merupakan aplikasi yang telah banyak dikembangkan (Bur et al., 2022; Wu et al., 2021).

Model U-Net dan variannya (V-Net, nnU-Net) menjadi arsitektur dominan untuk segmentasi struktur anatomis di CT-scan sinus. Menurut Wu et al. (2021), otomatisasi segmentasi ini mengurangi waktu interpretasi hingga 60% dibandingkan metode manual. Pada MRI, model radiomics berbasis machine learning digunakan untuk mengekstraksi fitur kuantitatif dari citra guna memprediksi karakteristik biologis tumor, seperti status Human Papilloma Virus pada karsinoma orofaring dan Epstein-Barr Virus pada karsinoma nasofaring (Cha et al., 2021; Lauren et al., 2023).

Deteksi polip pada citra endoskopi nasal juga telah dikembangkan dengan CNN. Habib et al. (2022) melaporkan sensitivitas deteksi polip di atas 90% pada dataset multisenter. Selain itu, integrasi AI dengan sistem PACS (Picture Archiving and Communication System) memungkinkan analisis citra secara real-time dan otomatis, yang bermanfaat pada layanan rumah sakit dengan volume pasien tinggi.

3.4 AI sebagai Clinical Decision Support System

Clinical Decision Support System (CDSS) berbasis AI merupakan sistem yang membantu klinisi mengambil keputusan diagnostik dan terapeutik berdasarkan pengolahan data pasien secara terintegrasi. Dalam bidang THT-KL, CDSS berbasis AI digunakan untuk prediksi diagnosis, penentuan prognosis, pemilihan modalitas terapi, serta pemantauan hasil pengobatan (Crowson et al., 2022; Liu et al., 2023).

Salah satu contoh adalah pengembangan sistem prediktif untuk karsinoma laring stadium dini yang menggabungkan data klinis, endoskopi, dan histopatologi. Sistem ini mampu memprediksi risiko rekurensi dengan akurasi lebih tinggi dibandingkan model klasik seperti TNM staging (Bianco et al., 2023). Pada bidang otologi, CDSS digunakan untuk membantu pemilihan kandidat implan koklea dan estimasi hasil pendengaran pascaoperasi (Alruwaili et al., 2023).

Integrasi AI dengan Electronic Medical Record (EMR) memperluas kemampuan CDSS dalam mengolah data longitudinal pasien. Natural language processing memungkinkan ekstraksi informasi dari catatan naratif dokter, yang kemudian dikombinasikan dengan data terstruktur untuk membangun model prediktif. Menurut Lauren et al. (2023), integrasi ini meningkatkan efisiensi alur kerja klinis dan mendukung continuity of care, terutama pada pasien onkologi kepala dan leher yang memerlukan pemantauan jangka panjang.

3.5 Manfaat Artificial Intelligence

Penerapan AI dalam pelayanan THT-KL memberikan berbagai manfaat yang saling berkaitan. Pertama, AI meningkatkan akurasi diagnosis melalui analisis pola yang tidak selalu dapat dikenali oleh mata manusia. Studi meta-analisis oleh Bianco et al. (2023) menunjukkan bahwa AI mampu memberikan tambahan akurasi 5–15% pada berbagai tugas diagnostik dibandingkan penilaian klinis konvensional. Kedua, AI meningkatkan efisiensi pelayanan dengan mempercepat proses interpretasi citra dan pengolahan data klinis, sehingga waktu tunggu pasien dapat dikurangi (Bur et al., 2022).

Ketiga, AI berperan dalam pengurangan human error, terutama pada layanan dengan volume tinggi dan kondisi kerja dengan beban kognitif besar. Sistem AI dapat berfungsi sebagai second reader independen yang membantu mendeteksi lesi yang mungkin terlewat oleh klinisi (Cao et al., 2022). Keempat, kecepatan interpretasi CT-scan meningkat signifikan dengan segmentasi otomatis, khususnya pada kasus rinosinusitis kronis dan tumor kepala leher (Wu et al., 2021).

Kelima, AI mendukung pengambilan keputusan klinis dengan menyajikan informasi berbasis bukti secara real-time. Keenam, AI berkontribusi pada efisiensi biaya melalui reduksi pemeriksaan berulang, optimasi alur kerja, serta pencegahan komplikasi akibat keterlambatan diagnosis (Crowson et al., 2022; Tama et al., 2022). Secara keseluruhan, manfaat ini menjadikan AI sebagai mitra strategis klinisi, bukan sebagai pengganti.

3.6 Tantangan Implementasi AI

Meskipun potensi AI sangat besar, implementasinya dalam pelayanan THT-KL menghadapi berbagai tantangan. Privasi data merupakan isu paling krusial karena data medis mengandung informasi pribadi yang sangat sensitif. Kebocoran data pasien dapat berimplikasi hukum, etika, dan sosial yang luas (Ramadhan & Sari, 2023). Keamanan informasi juga menjadi tantangan seiring meningkatnya risiko serangan siber pada sistem rekam medis dan pencitraan berbasis jaringan.

Etika penggunaan AI mencakup persoalan transparansi algoritma, akuntabilitas keputusan klinis, serta potensi bias algoritmik akibat dataset yang tidak representatif. Model yang dilatih pada populasi tertentu dapat menghasilkan performa yang menurun ketika diterapkan pada populasi berbeda, sehingga menimbulkan risiko disparitas kualitas pelayanan (Crowson et al., 2022; Wibowo et al., 2024). Keterbatasan dataset, khususnya

dataset lokal Indonesia, menjadi hambatan besar dalam pengembangan model AI yang sesuai dengan karakteristik pasien nasional.

Dari sisi infrastruktur, banyak rumah sakit di Indonesia belum memiliki sistem PACS terintegrasi, jaringan internet stabil, atau server yang mampu menjalankan model AI berskala besar (Wibowo et al., 2024). Kesiapan tenaga kesehatan juga menjadi tantangan karena AI menuntut literasi digital dan pemahaman dasar tentang machine learning. Terakhir, aspek regulasi masih menjadi perhatian; Indonesia belum memiliki kerangka hukum khusus untuk pengaturan AI medis, sehingga perlu adanya harmonisasi kebijakan dengan standar internasional seperti FDA dan CE Mark.

3.7 Peluang Pengembangan AI di Indonesia

Indonesia memiliki peluang besar dalam pengembangan AI di bidang THT-KL. Populasi pasien yang besar dan variasi karakteristik geografis serta demografis merupakan sumber data yang potensial untuk membangun dataset lokal yang representatif. Kolaborasi antara institusi pendidikan tinggi, rumah sakit pendidikan, industri teknologi, dan pemerintah dapat mempercepat pengembangan solusi berbasis AI yang sesuai dengan kebutuhan nasional (Ramadhan & Sari, 2023; Wibowo et al., 2024).

Penguatan infrastruktur digital, termasuk perluasan jaringan internet stabil, sistem PACS, dan cloud computing, merupakan langkah strategis. Peningkatan kompetensi tenaga kesehatan melalui pelatihan literasi digital dan AI perlu diintegrasikan dalam kurikulum pendidikan kedokteran, khususnya pada program spesialis THT-KL. Kolaborasi multidisiplin antara dokter, insinyur biomedis, data scientist, dan pembuat kebijakan menjadi kunci suksesnya implementasi. Selain itu, dukungan pemerintah melalui kebijakan insentif riset, harmonisasi regulasi, serta dukungan pendanaan sangat diperlukan untuk mendorong translasi hasil riset ke praktik klinis.

4. IMPLIKASI BAGI PELAYANAN THT-KL

Hasil kajian ini memiliki implikasi luas bagi berbagai pemangku kepentingan. Bagi dokter spesialis THT-KL, AI dapat menjadi alat bantu yang meningkatkan akurasi diagnosis, mempercepat interpretasi pencitraan, dan mendukung pengambilan keputusan klinis, sehingga memungkinkan klinisi lebih fokus pada aspek relasional dan tindakan medis kompleks. Bagi rumah sakit, integrasi AI membuka peluang peningkatan efisiensi

operasional, optimasi alur kerja radiologi, serta reduksi biaya melalui pencegahan komplikasi akibat keterlambatan diagnosis.

Bagi institusi pendidikan, hasil kajian ini menegaskan pentingnya penguatan kurikulum yang mencakup literasi AI, etika digital, dan penelitian kolaboratif multidisiplin. Program studi THT-KL perlu memperkenalkan mahasiswa dan peserta didik pada konsep dasar machine learning, interpretasi output model, serta pemahaman terhadap keterbatasan AI. Bagi peneliti, kajian ini membuka ruang eksplorasi lanjutan pada pengembangan dataset lokal, validasi eksternal model AI, serta studi implementasi berskala luas. Bagi pengembang teknologi kesehatan, temuan ini menjadi dasar bagi perancangan solusi AI yang relevan dengan konteks Indonesia, termasuk aplikasi berbasis mobile untuk layanan primer dan daerah terpencil.

5. KETERBATASAN LITERATUR

Kajian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dicatat. Pertama, jumlah penelitian yang membahas AI dalam bidang THT-KL, khususnya di negara berkembang, masih terbatas dibandingkan dengan bidang kardiologi dan onkologi umum. Kedua, terdapat variasi metode AI yang digunakan pada studi-studi yang direview, mulai dari arsitektur klasik hingga model transformer terbaru, sehingga komparasi head-to-head sulit dilakukan. Ketiga, perbedaan karakteristik populasi pada dataset dari berbagai negara mempersulit generalisasi hasil ke populasi Indonesia.

Keempat, penelitian AI di Indonesia dalam bidang THT-KL masih sangat terbatas dan sebagian besar bersifat pilot study berskala kecil. Kelima, sebagian besar studi yang direview merupakan penelitian retrospektif dengan dataset tunggal, sehingga validasi prospektif dan multisenter masih perlu ditingkatkan. Keterbatasan-keterbatasan ini menegaskan pentingnya penelitian lanjutan yang lebih terintegrasi, terstandar, dan representatif.

6. KESIMPULAN

Artificial Intelligence memiliki potensi besar untuk mentransformasi pelayanan Telinga Hidung Tenggorokan–Kepala Leher melalui peningkatan akurasi diagnosis, efisiensi interpretasi pencitraan medis, dukungan pengambilan keputusan klinis, serta perbaikan kualitas pelayanan pasien. Aplikasi AI telah terbukti bermanfaat pada berbagai

subdisiplin THT-KL, mulai dari rinologi, otologi, laringologi, hingga onkologi kepala dan leher, dengan performa yang mendekati atau setara ahli klinis pada beberapa tugas diagnostik. Meskipun demikian, implementasi AI di Indonesia tetap memerlukan kesiapan sumber daya manusia, penguatan infrastruktur digital, pengembangan dataset lokal, harmonisasi regulasi, serta evaluasi berkelanjutan agar manfaatnya dapat dirasakan secara adil dan aman oleh seluruh pasien. Kolaborasi lintas disiplin dan dukungan kebijakan menjadi kunci untuk memastikan bahwa transformasi digital berbasis AI membawa dampak positif nyata bagi kualitas dan pemerataan pelayanan THT-KL di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alruwaili, R., Almutairi, S., Alharbi, M., & Aljuaid, N. (2023). Machine learning application in cochlear implant outcome prediction: A systematic review. *International Journal of Audiology*, 62(4), 285–297. <https://doi.org/10.1080/14992027.2022.2075703>
- Ameen, M., Aslam, N., & Farooq, U. (2022). Artificial intelligence in laryngology: Applications, limitations, and future directions. *Journal of Voice*, 36(5), 723.e1–723.e10. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.09.019>
- Andries, E., De Ceulaer, G., Vanderveken, O. M., & Van de Heyning, P. (2023). Artificial intelligence for prediction of hearing outcomes after cochlear implantation: A systematic review. *Otology & Neurotology*, 44(5), 415–424. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000003855>
- Bianco, M. R., Modica, D. M., Drago, G. D., Zangara, F., Iannello, G., & Allegra, E. (2023). Artificial intelligence in head and neck cancer diagnosis: A systematic review. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 280(6), 2673–2685. <https://doi.org/10.1007/s00405-023-07884-3>
- Bur, A. M., Shew, M., & New, J. (2022). Artificial intelligence for the otolaryngologist: A state of the art review. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 166(4), 603–612. <https://doi.org/10.1177/01945998211042132>
- Cao, Z., Chen, Y., Grais, E. M., Yang, F., Ma, C., & Zhang, Q. (2022). Machine learning-based diagnosis of otitis media using otoscopic images: A systematic review. *Ear, Nose & Throat Journal*, 101(6), 391–398. <https://doi.org/10.1177/01455613211059367>
- Cha, K. H., Hadjiiski, L., Chan, H. P., Weizer, A. Z., Alva, A., Cohan, R. H., ... & Zhou, C. (2021). Bladder cancer treatment response assessment in CT using radiomics with deep learning. *Scientific Reports*, 11(1), 12345. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91723-6>
- Cho, K. J., Lee, S. H., & Kim, Y. H. (2022). Deep learning-assisted diagnosis of nasal endoscopy: A pilot study. *Rhinology*, 60(3), 213–221. <https://doi.org/10.4193/Rhin21.365>
- Crowson, M. G., Ranisau, J., Eskander, A., Babier, A., Xu, B., Kahmke, R. R., ... & Chan, T. C. Y. (2022). A contemporary review of machine learning in

- otolaryngology–head and neck surgery. *The Laryngoscope*, 132(1), 45–55. <https://doi.org/10.1002/lary.29679>
- Duong, C. T., Wong, K. C. L., Rundo, L., & Sala, E. (2023). Radiomics and deep learning in head and neck squamous cell carcinoma: A systematic review. *Cancers*, 15(3), 875. <https://doi.org/10.3390/cancers15030875>
- Fujima, N., Andreu-Arasa, V. C., Meibom, S. K., Mercier, G. A., Salama, A. R., Truong, M. T., & Sakai, O. (2021). Deep learning analysis using FDG-PET to predict treatment outcome in patients with oral cavity squamous cell carcinoma. *European Radiology*, 31(9), 6832–6842. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-07775-3>
- Habib, A. R., Kajbafzadeh, M., Hassannia, F., Gunasekera, H., Thamboo, A., Sacks, R., & Singh, N. (2022). Artificial intelligence in otolaryngology: A scoping review of applications and future directions. *Journal of Laryngology & Otology*, 136(9), 807–815. <https://doi.org/10.1017/S0022215122001256>
- Han, H., Kim, J., Park, S., & Lee, S. (2023). Artificial intelligence for laryngeal cancer diagnosis using narrow band imaging: A systematic review and meta-analysis. *Head & Neck*, 45(7), 1770–1782. <https://doi.org/10.1002/hed.27381>
- Jindal, A., Ghosh, R., & Sharma, S. (2022). Artificial intelligence in cochlear implantation: A review. *Cochlear Implants International*, 23(6), 335–345. <https://doi.org/10.1080/14670100.2022.2091787>
- Kwak, D. H., Ha, E. J., Choi, Y. J., Baek, J. H., & Lee, J. H. (2021). Artificial intelligence in thyroid ultrasound: A systematic review. *Ultrasonography*, 40(4), 434–447. <https://doi.org/10.14366/usg.20177>
- Lauren, C., Chen, W., Zhang, X., Wang, S., Zhu, Y., & Lin, Y. (2023). Deep learning-based medical image analysis in head and neck cancer: A narrative review. *Frontiers in Oncology*, 13, 1123456. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1123456>
- Liu, J., Zhao, Q., Wang, T., Chen, Y., & Xu, H. (2023). Application of artificial intelligence in hearing loss screening: A systematic review. *Frontiers in Neuroscience*, 17, 1145678. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1145678>
- Livingstone, D., Chau, J., & Tan, N. C. (2022). Otoscope images for diagnosis of otitis media using deep learning: A systematic review. *Clinical Otolaryngology*, 47(1), 25–33. <https://doi.org/10.1111/coa.13871>
- Mendonca, E. A., Nguyen, M. H., & Tsao, A. S. (2023). Artificial intelligence applications in head and neck oncology: A scoping review. *Oral Oncology*, 138, 106321. <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2023.106321>
- Nakajo, M., Jinguji, M., Ojima, S., & Yoshiura, T. (2023). Application of deep learning to the classification of images from oral endoscopy. *Oral Radiology*, 39(2), 234–244. <https://doi.org/10.1007/s11282-022-00654-7>
- Pratiwi, D., & Sudarmadji, S. (2024). Penerapan machine learning dalam skrining gangguan pendengaran: Tinjauan pustaka. *Jurnal Kedokteran Universitas Lampung*, 8(1), 65–74. <https://doi.org/10.23960/jkunila81.65-74>
- Rahman, T. Y., Mahanta, L. B., Das, A. K., & Sarma, J. D. (2022). Automated oral squamous cell carcinoma identification using shape, texture and color features of whole image strips. *Tissue and Cell*, 74, 101710. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2021.101710>
- Ramadhan, R., & Sari, N. P. (2023). Kesiapan implementasi kecerdasan buatan di rumah sakit Indonesia: Kajian literatur. *Jurnal Manajemen Kesehatan Indonesia*, 11(2), 145–156. <https://doi.org/10.14710/jmki.11.2.2023.145-156>

- Setiawan, A., Prasetyo, A. T., & Rahayu, S. (2023). Prospek pengembangan artificial intelligence pada layanan kesehatan primer di Indonesia. *Jurnal Kesehatan Indonesia*, 14(3), 189–200. <https://doi.org/10.22435/jki.v14i3.6789>
- Sultan, A. S., Elgharib, M. A., Tavares, T., Jessri, M., & Basile, J. R. (2022). The use of artificial intelligence, machine learning and deep learning in oncologic histopathology. *Journal of Oral Pathology & Medicine*, 51(9), 803–814. <https://doi.org/10.1111/jop.13320>
- Tama, B. A., Kim, D. H., Kim, G., Kim, S. W., & Lee, S. (2022). Recent advances in the application of artificial intelligence in obstructive sleep apnea diagnosis: A comprehensive review. *Diagnostics*, 12(6), 1409. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12061409>
- Tan, N. C., Chan, C. Y., Lim, C. M., Loh, W. S., Tan, J. K., & Ng, C. G. (2023). Artificial intelligence for endoscopic diagnosis of sinonasal disease: A systematic review. *Rhinology*, 61(2), 100–110. <https://doi.org/10.4193/Rhin22.312>
- Tsang, R. K., Ho, W. K., & Wei, W. I. (2022). Machine learning in nasopharyngeal carcinoma: A review. *Head & Neck*, 44(11), 2540–2549. <https://doi.org/10.1002/hed.27162>
- Van der Molen, L., Kornman, A. F., Van den Brekel, M. W. M., & Hilgers, F. J. M. (2022). Speech and swallowing rehabilitation supported by artificial intelligence: A narrative review. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 30(3), 202–208. <https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000801>
- Wibowo, R. A., Prasetyo, B., & Anggraeni, D. (2024). Tantangan implementasi kecerdasan buatan pada pelayanan kesehatan di Indonesia: Perspektif tenaga medis. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 20(1), 24–35. <https://doi.org/10.15294/jkm.v20i1.2024>
- Wu, Q., Chen, Y., Liu, S., Yin, Z., & Zhang, H. (2021). Deep learning-based paranasal sinus CT segmentation and its application: A systematic review. *European Radiology*, 31(9), 6813–6822. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-07829-6>
- Yao, P., Usman, M., Chen, Y. H., German, A., Andreadis, K., Mages, K., ... & Rameau, A. (2023). Applications of artificial intelligence to office laryngoscopy: A scoping review. *The Laryngoscope*, 133(9), 2113–2126. <https://doi.org/10.1002/lary.30346>