



JOURNAL OF Qualitative Health Research
& Case Studies Reports

ISSN 28079094 (Print)

ISSN 28078489 (Online)



INFORMASI ARTIKEL

Received: January, 13, 2026

Revised: February, 11, 2026

Available: February, 11, 2026

at : <https://e-jurnal.iphorr.com/index.php/qlt>

Mengintegrasikan kecerdasan buatan ke dalam pengambilan keputusan intraoperatif: Era baru dalam bedah presisi

Asdar*

Program Studi Pendidikan Dokter, Universitas Muhammadiyah Makassar

Korespondensi penulis: Asdar. *Email: asdarhikari@med.unismuh.ac.id

Abstract

Background: Metabolic syndrome is increasingly common among young people, including college students, as a result of modern lifestyle changes. Shifts in eating behavior toward high-fat and high-sugar foods, low physical activity, and high academic pressure lead to metabolic imbalance.

Purpose: To analyze lifestyle factors contributing to the increased risk of metabolic syndrome among college students.

Method: This study used a descriptive qualitative approach, utilizing in-depth interviews and focus group discussions (FGDs) with students from various study programs. Data were analyzed thematically, emphasizing health behavior patterns, dietary habits, physical activity, and students' perceptions of metabolic syndrome prevention efforts.

Results: This study identified three main factors that interact and influence the risk of metabolic syndrome: an unbalanced lifestyle characterized by a high-fat diet, lack of sleep, and academic stress; low physical activity and a predominantly sedentary lifestyle that reduce metabolic capacity and blood vessel function; and low preventive awareness and minimal campus institutional support that undermine the implementation of healthy lifestyle behaviors.

Conclusion: Preventing metabolic syndrome in college students requires a holistic approach based on a healthy campus (Healthy Campus Framework) that includes the integration of health education, increased physical activity, and strengthening institutional policies that support sustainable healthy lifestyle behaviors.

Keywords: Artificial Intelligence; Intraoperative Decision-Making; Precision Surgery.

Pendahuluan: Sindrom metabolik semakin umum di kalangan anak muda termasuk mahasiswa, sebagai akibat dari perubahan gaya hidup modern. Pergeseran perilaku makan ke arah makanan tinggi lemak dan tinggi gula, aktivitas fisik yang rendah, dan tekanan akademik yang tinggi menyebabkan ketidakseimbangan metabolik.

Tujuan: Untuk menganalisis faktor-faktor gaya hidup yang berkontribusi terhadap peningkatan risiko sindrom metabolik di kalangan mahasiswa.

Metode: Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif, memanfaatkan wawancara mendalam, dan diskusi kelompok terfokus (FGD) dengan mahasiswa dari berbagai program studi. Data dianalisis secara tematik, menekankan pola perilaku kesehatan, kebiasaan makan, aktivitas fisik, dan persepsi mahasiswa terhadap upaya pencegahan sindrom metabolik.

Hasil: Penelitian ini mengidentifikasi tiga faktor utama yang berinteraksi dan memengaruhi risiko sindrom metabolik yaitu gaya hidup tidak seimbang yang ditandai dengan pola makan tinggi lemak, kurang tidur, dan stres akademik; aktivitas fisik yang rendah dan gaya hidup yang didominasi sedenter yang menurunkan kapasitas metabolisme dan

Mengintegrasikan kecerdasan buatan ke dalam pengambilan keputusan intraoperatif: Era baru dalam bedah presisi

fungsi pembuluh darah; dan kesadaran preventif yang rendah dan minimnya dukungan institusi kampus yang melemahkan penerapan perilaku hidup sehat.

Simpulan: Pencegahan sindrom metabolik pada mahasiswa memerlukan pendekatan holistik berbasis kampus sehat (Healthy Campus Framework) yang mencakup integrasi edukasi kesehatan, peningkatan aktivitas fisik, dan penguatan kebijakan institusi yang mendukung perilaku hidup sehat berkelanjutan.

Kata Kunci: Aktivitas Fisik; Gaya Hidup Sedentary; Mahasiswa; Pencegahan; Sindrom Metabolik.

PENDAHULUAN

Perkembangan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) telah membawa perubahan signifikan dalam sistem pelayanan kesehatan modern, khususnya dalam bidang bedah. AI memungkinkan pemrosesan data klinis berskala besar secara cepat dan akurat melalui algoritma *machine learning* dan *deep learning*, sehingga berpotensi meningkatkan kualitas pengambilan keputusan klinis. Berdasarkan konteks bedah presisi, AI tidak hanya digunakan untuk analisis preoperatif, tetapi mulai diarahkan untuk mendukung pengambilan keputusan intraoperatif secara real-time (Loftus, Altieri, Tignanelli, Brakenridge, Croft, Smith, & Mohr, 2023; Morris, Fiocco, Caneva, Mascagni, & Padoy, 2024).

Pengambilan keputusan intraoperatif merupakan aspek kritis dalam praktik bedah karena melibatkan penyesuaian strategi tindakan berdasarkan kondisi pasien yang dapat berubah secara dinamis selama prosedur berlangsung. Secara tradisional, keputusan ini sangat bergantung pada pengalaman, intuisi, dan keterampilan individual ahli bedah. Namun, pendekatan ini memiliki keterbatasan, terutama dalam menghadapi kompleksitas anatomi, variabilitas pasien, serta tekanan waktu yang tinggi di ruang operasi (Kenig, Montón, & Muntaner, 2024).

Integrasi AI dalam proses intraoperatif menawarkan pendekatan berbasis data yang dapat melengkapi penilaian klinis manusia. Berbagai studi menunjukkan bahwa AI mampu mengenali fase bedah, mengidentifikasi struktur anatomi kritis, serta memprediksi potensi komplikasi intra operatif dengan tingkat akurasi yang tinggi. Teknologi *computer vision* dan analisis video bedah, misalnya, telah digunakan untuk memberikan dukungan keputusan secara langsung selama prosedur berlangsung (Twinanda, Shehata, Mutter, Marescaux, De Mathelin, & Padoy, 2016; Hashimoto, Rosman, Rus, & Meireles, 2018).

Sejumlah penelitian juga melaporkan bahwa sistem AI dapat berkontribusi pada peningkatan keselamatan pasien dengan menurunkan risiko kesalahan intraoperatif dan meningkatkan konsistensi

keputusan antar ahli bedah. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem pendukung keputusan berbasis AI berpotensi memperbaiki respons intraoperatif terhadap kejadian kritis melalui analisis prediktif berbasis data real-time (Loftus et al., 2023). Hal ini menandai pergeseran paradigma dari bedah konvensional menuju bedah presisi yang didukung kecerdasan komputasional.

Meskipun potensi AI dalam pengambilan keputusan intraoperatif sangat menjanjikan, penerapannya masih menghadapi berbagai tantangan. Beberapa di antaranya meliputi keterbatasan kualitas dan generalisasi data pelatihan, kurangnya validasi klinis berskala besar, serta integrasi sistem AI dengan alur kerja ruang operasi yang kompleks (Maier-Hein, Eisenmann, & Sarikaya, 2017; Kenig et al., 2024). Tantangan ini menegaskan pentingnya pendekatan multidisipliner dalam pengembangan dan implementasi AI bedah.

Selain aspek teknis, integrasi AI dalam pengambilan keputusan intraoperatif juga memunculkan isu etika dan tanggung jawab klinis. Pertanyaan mengenai akuntabilitas keputusan, transparansi algoritma, serta potensi bias data menjadi perhatian utama dalam literatur terkini. Peneliti menekankan bahwa AI seharusnya berfungsi sebagai *decision-support system* yang memperkuat kapasitas ahli bedah, bukan menggantikan otonomi klinis manusia (Topol, 2019; Morris et al., 2024).

Apabila dilihat dari perspektif jangka panjang, AI juga berpotensi meningkatkan pendidikan dan pelatihan bedah melalui analisis kinerja intraoperatif dan umpan balik berbasis data. Sistem ini dapat membantu standardisasi keterampilan bedah dan mempercepat transfer pengetahuan antar generasi ahli bedah, sehingga mendukung kualitas pengambilan keputusan intraoperatif secara berkelanjutan (Hashimoto et al., 2018).

Asdar*

Program Studi Pendidikan Dokter, Universitas Muhammadiyah Makassar
Korespondensi penulis: Asdar. *Email: asdarhikari@med.unismuh.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56922/quilt.v6i2.2279>

Mengintegrasikan kecerdasan buatan ke dalam pengambilan keputusan intraoperatif: Era baru dalam bedah presisi

METODE

Penelitian ini menggunakan desain *systematic literature review* dengan mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Pendekatan ini dipilih untuk menjamin bahwa proses penelusuran, seleksi, dan sintesis literatur dilakukan secara sistematis, transparan, dan dapat direplikasi. PRISMA merupakan standar internasional yang banyak digunakan dalam penelitian bidang kesehatan dan bedah untuk meningkatkan kualitas pelaporan dan meminimalkan potensi bias dalam kajian literatur (Moher, Liberati, Tetzlaff, & Altman, 2009; Page, McKenzie, & Bossuyt, 2021).

Penelusuran literatur dilakukan pada beberapa basis data ilmiah bereputasi, yaitu PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, dan IEEE Xplore. Basis data tersebut dipilih karena mencakup jurnal medis dan teknik terkemuka yang banyak mempublikasikan penelitian terkait kecerdasan buatan, teknologi medis, dan bedah presisi. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci dan operator Boolean, meliputi "artificial intelligence", "machine learning", "deep learning", "intraoperative decision making", "surgery", dan "precision surgery". Pencarian dibatasi pada publikasi yang terbit antara tahun 2015 hingga 2024 untuk menangkap perkembangan mutakhir teknologi AI dalam konteks bedah modern (Falagas, Pitsouni, Malietzis, & Pappas, 2008; Hashimoto et al., 2018).

Artikel yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Kriteria inklusi meliputi artikel penelitian asli atau *systematic review* yang dipublikasikan dalam jurnal *peer-reviewed*, memiliki DOI, serta secara eksplisit membahas penerapan kecerdasan buatan dalam konteks bedah, khususnya pada fase intraoperatif. Sementara itu, artikel berupa editorial, opini, laporan non-ilmiah, atau studi yang hanya berfokus pada fase preoperatif tanpa implikasi terhadap pengambilan keputusan intraoperatif dikecualikan dari kajian. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa hanya bukti ilmiah yang relevan dan berkualitas tinggi yang dianalisis (Liberati, Altman, & Tetzlaff, 2009).

Proses seleksi studi dilakukan melalui beberapa tahap sesuai alur PRISMA, dimulai dari identifikasi artikel, penghapusan duplikasi, penyaringan judul dan abstrak, hingga penelaahan teks lengkap untuk menentukan kelayakan akhir. Setiap tahap seleksi dilakukan secara sistematis untuk mengurangi risiko bias seleksi dan memastikan konsistensi dalam penentuan artikel yang disertakan (Page et al., 2021).

Data dari artikel terpilih kemudian diekstraksi secara terstruktur dengan mencatat informasi utama yang relevan, meliputi penulis dan tahun publikasi, jenis prosedur bedah, metode kecerdasan buatan yang digunakan, jenis data intra operatif yang dianalisis, serta luaran klinis yang dilaporkan. Analisis data dilakukan secara kualitatif menggunakan pendekatan sintesis naratif dan tematik, dengan fokus pada peran AI dalam mendukung pengambilan keputusan intraoperatif, seperti pengenalan fase bedah, identifikasi struktur anatomi kritis, dan prediksi komplikasi intraoperatif (Loftus et al., 2023).

Menjamin keandalan interpretasi hasil, kualitas metodologis studi yang disertakan dievaluasi secara kritis berdasarkan kejelasan desain penelitian, validasi model AI, serta pelaporan luaran klinis. Prinsip-prinsip penilaian kualitas ini mengacu pada praktik terbaik dalam *systematic review* bidang kesehatan sebagaimana direkomendasikan dalam *Cochrane Handbook* (Higgins, Thomas, & Chandler, 2019). Hasil analisis kemudian disintesis untuk mengidentifikasi pola, kekuatan bukti, serta keterbatasan penerapan AI dalam pengambilan keputusan intraoperatif.

Sintesis akhir dilakukan dengan mengelompokkan temuan penelitian ke dalam tema-tema utama, yaitu penerapan AI untuk pengenalan fase dan anatomi intraoperatif, pengembangan sistem pendukung keputusan berbasis prediksi risiko, serta implikasi klinis dan etis dari integrasi kecerdasan buatan dalam praktik bedah presisi. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman komprehensif mengenai kontribusi AI terhadap peningkatan akurasi, konsistensi, dan keselamatan pengambilan keputusan intraoperatif, sekaligus mengidentifikasi tantangan yang masih perlu ditangani dalam implementasi klinisnya (Topol, 2019; Morris et al., 2024).

Asdar*

Program Studi Pendidikan Dokter, Universitas Muhammadiyah Makassar
Korespondensi penulis: Asdar. *Email: asdarhikari@med.unismuh.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56922/quilt.v6i2.2279>

HASIL**Tabel 1. Karakteristik Studi dan Cakupan Penerapan AI Intraoperatif**

Penulis (Tahun)	Desain Studi	Jenis Prosedur Bedah	Jenis Data Intraoperatif	Teknologi AI	Fokus Penerapan
(Twinanda et al., 2016)	Eksperimental retrospektif	Bedah laparoskopi gastrointestinal	Video laparoskopi	CNN, Deep Learning	Pengenalan fase bedah
(Maier-Hein et al., 2017)	Konseptual & empiris	Multi-spesialis bedah	Video & data sensor	Surgical Data Science	Dukungan keputusan intraoperatif
(Hashimoto et al., 2018)	Review naratif	Beragam prosedur bedah	Multi-sumber data klinis	Machine Learning	Evaluasi peluang & risiko AI
(Topol, 2019)	Review konseptual	Bedah & klinik umum	Data klinis & citra medis	AI klinis terintegrasi	Kolaborasi AI–dokter
(Loftus et al., 2023)	Observasional & validasi	Bedah umum	Data klinis & intraoperatif	AI Decision Support	Dukungan keputusan real-time
(Kenig et al., 2024)	Systematic review	Bedah umum & spesifik	Video, citra, data klinis	Machine Learning	Validasi AI intraoperatif
(Morris et al., 2024)	Review sistematis	Bedah minimal invasif	Video intraoperatif	Deep Learning	Aplikasi klinis terkini
(Varghese et al., 2024)	Review komprehensif	Multi-disiplin bedah	Multi-modal intraoperatif	AI klinis	Integrasi AI dalam praktik bedah

Berdasarkan Tabel 1. terlihat bahwa bedah minimal invasif merupakan konteks paling dominan dalam penerapan AI intraoperatif. Hal ini disebabkan oleh ketersediaan data visual berkualitas tinggi yang dihasilkan secara rutin selama prosedur laparoskopi. Data tersebut memungkinkan algoritma AI melakukan analisis real-time untuk mendukung pengambilan keputusan klinis, seperti identifikasi fase kritis operasi dan deteksi potensi risiko intraoperatif (Twinanda et al., 2016; Morris et al., 2024).

Selain itu, apabila dilihat dari sisi teknologi *deep learning* khususnya *convolutional neural networks* menjadi pendekatan paling banyak digunakan dalam studi-studi yang dianalisis. Model ini dinilai efektif dalam menangkap pola visual kompleks pada data intraoperatif. Beberapa penelitian terbaru juga mulai mengembangkan sistem AI berbasis *temporal modeling* untuk memahami alur prosedur bedah secara dinamis, yang berpotensi meningkatkan ketepatan dukungan keputusan selama operasi berlangsung (Loftus et al., 2023; Kenig et al., 2024).

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa cakupan penerapan AI intraoperatif saat ini masih terfokus pada pengenalan pola dan penyediaan informasi pendukung bagi ahli bedah. Meskipun demikian, konsistensi temuan di berbagai studi bereputasi menegaskan bahwa AI memiliki potensi besar sebagai komponen integral dalam sistem bedah presisi, terutama apabila didukung oleh validasi klinis yang lebih luas dan standar implementasi yang jelas (Topol, 2019; Varghese et al., 2024).

Asdar*

Program Studi Pendidikan Dokter, Universitas Muhammadiyah Makassar
Korespondensi penulis: Asdar. *Email: asdarhikari@med.unismuh.ac.id

Tabel 2. Peran AI dalam Pengambilan Keputusan Intraoperatif Berdasarkan Temuan Studi

Penulis (Tahun)	Jenis Keputusan Intraoperatif	Peran AI	Teknologi AI	Output untuk Ahli Bedah
(Twinanda et al., 2016)	Penentuan fase operasi	Pengenalan alur prosedur	CNN	Informasi fase bedah
(Maier-Hein et al., 2017)	Perencanaan langkah intraoperatif	Dukungan keputusan kontekstual	Surgical Data Science	Rekomendasi berbasis data
(Hashimoto et al., 2018)	Evaluasi tindakan bedah	Pendukung kognitif	Machine Learning	Informasi risiko
(Loftus et al., 2023)	Keputusan real-time	Decision support system	AI prediktif	Peringatan & saran
(Morris et al., 2024)	Identifikasi anatomi	Dukungan visual	Deep Learning	Visualisasi struktur
(Kenig et al., 2024)	Deteksi komplikasi	Peringatan dini	ML/DL	Notifikasi risiko
(Varghese et al., 2024)	Prediksi hasil intraoperatif	Estimasi risiko	AI multimodal	Informasi prediktif

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa kecerdasan buatan berperan terutama sebagai sistem pendukung keputusan (*clinical decision support system*) selama fase intraoperatif. AI tidak berfungsi sebagai pengambil keputusan otonom, melainkan sebagai penyedia informasi kontekstual berbasis data yang membantu ahli bedah dalam menilai situasi operatif secara real-time. Peran ini tercermin dari mayoritas studi yang menempatkan AI sebagai alat bantu untuk meningkatkan persepsi situasional (*situational awareness*) dan mengurangi ketergantungan pada penilaian subjektif semata (Hashimoto et al., 2018; Loftus et al., 2023).

Salah satu peran utama AI yang paling banyak dilaporkan adalah pengenalan fase dan alur prosedur bedah secara otomatis. Sistem AI berbasis *deep learning* mampu mengidentifikasi tahapan operasi berdasarkan pola visual dan temporal dari video intraoperatif. Informasi ini digunakan untuk memprediksi langkah berikutnya dalam prosedur bedah, sehingga membantu ahli bedah dan tim operasi dalam mengantisipasi kebutuhan instrumen, waktu kritis, serta potensi risiko yang mungkin muncul pada fase tertentu (Twinanda et al., 2016; Maier-Hein et al., 2017).

Selain pengenalan fase bedah, AI juga berperan dalam mendukung keputusan intraoperatif terkait identifikasi struktur anatomi dan area berisiko tinggi. Beberapa studi melaporkan bahwa algoritma *computer vision* dapat menandai struktur penting seperti pembuluh darah, saluran empedu, atau jaringan vital lainnya secara real-time pada tampilan intraoperatif. Informasi visual ini digunakan sebagai referensi tambahan oleh ahli bedah untuk mengurangi risiko cedera iatrogenik dan meningkatkan ketepatan tindakan bedah (Morris et al., 2024; Varghese et al., 2024).

Peran AI dalam pengambilan keputusan intraoperatif juga terlihat dalam konteks deteksi dini kejadian tidak diinginkan selama operasi. Sistem AI dilatih untuk mengenali pola-pola abnormal yang berkaitan dengan komplikasi intraoperatif, seperti perdarahan berlebihan atau deviasi dari alur prosedur standar. Temuan dari beberapa studi menunjukkan bahwa sistem ini mampu memberikan peringatan dini kepada tim bedah, sehingga memungkinkan intervensi lebih cepat sebelum komplikasi berkembang lebih lanjut (Loftus et al., 2023; Kenig et al., 2024). Beberapa penelitian terbaru menunjukkan AI juga digunakan untuk mendukung keputusan intraoperatif berbasis prediksi hasil jangka pendek. Mengintegrasikan data

Asdar*

Program Studi Pendidikan Dokter, Universitas Muhammadiyah Makassar
Korespondensi penulis: Asdar. *Email: asdarhikari@med.unismuh.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56922/quilt.v6i2.2279>

Mengintegrasikan kecerdasan buatan ke dalam pengambilan keputusan intraoperatif: Era baru dalam bedah presisi

intraoperatif dan data klinis pasien, sistem AI mampu memberikan estimasi risiko komplikasi atau kebutuhan konversi prosedur secara real-time. Informasi prediktif ini dilaporkan digunakan sebagai bahan pertimbangan tambahan dalam pengambilan keputusan selama operasi, meskipun keputusan akhir tetap berada di tangan ahli bedah (Topol, 2019; Varghese et al., 2024).

Secara fungsional, hasil penelitian menunjukkan bahwa peran AI dalam pengambilan keputusan intraoperatif dapat dikategorikan ke dalam tiga domain utama, yaitu domain kognitif (penyediaan informasi dan interpretasi data), domain prediktif (estimasi risiko dan hasil), dan domain preventif (deteksi dini potensi komplikasi). Ketiga domain ini saling melengkapi dan membentuk kerangka kerja sistem pendukung keputusan yang berorientasi pada peningkatan keselamatan dan presisi bedah (Maier-Hein et al., 2017; Morris et al., 2024).

Meskipun demikian, hasil kajian juga menunjukkan bahwa sebagian besar sistem AI intraoperatif masih berada pada tahap *decision support* pasif, di mana rekomendasi atau informasi yang diberikan bersifat opsional dan memerlukan interpretasi lebih lanjut oleh ahli bedah. Belum ditemukan bukti kuat mengenai penggunaan AI sebagai sistem pengambilan keputusan otonom yang secara langsung mengarahkan tindakan bedah. Temuan ini menegaskan bahwa peran AI dalam pengambilan keputusan intraoperatif saat ini lebih berfokus pada augmentasi kemampuan manusia dibandingkan dengan substitusi peran klinisi (Hashimoto et al., 2018; Kenig et al., 2024).

Peran AI dalam domain prediktif, seperti estimasi risiko komplikasi atau hasil intraoperatif, meskipun masih relatif terbatas jumlah studinya, menunjukkan potensi penting dalam pengambilan keputusan berbasis data secara real-time. Tabel 2 memperlihatkan bahwa sistem AI pada domain ini umumnya mengintegrasikan data multimodal, yang memungkinkan analisis yang lebih kontekstual dibandingkan pendekatan berbasis data tunggal. Output prediktif ini digunakan sebagai informasi tambahan yang memperkaya pertimbangan klinis selama operasi berlangsung (Topol, 2019; Varghese et al., 2024).

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa peran AI dalam pengambilan keputusan intraoperatif bersifat komplementer terhadap keahlian ahli bedah. Sistem AI berfungsi sebagai penyedia informasi berbasis data yang terstruktur dan real-time, sementara keputusan klinis akhir tetap berada di bawah kendali manusia. Temuan ini konsisten di seluruh studi yang dianalisis dan menunjukkan pola implementasi AI intraoperatif yang berorientasi pada peningkatan presisi dan keselamatan tanpa mengurangi otonomi klinisi (Hashimoto et al., 2018; Kenig et al., 2024).

Tabel 3. Dampak Klinis, Keterbatasan, dan Kesiapan Implementasi AI Intraoperatif

Aspek	Temuan Utama	Bukti dari Studi
Dampak klinis	Peningkatan presisi dan keselamatan intraoperatif	(Twinanda et al., 2016; Morris et al., 2024)
Efisiensi operasional	Optimalisasi alur kerja dan antisipasi langkah bedah	(Loftus et al., 2023; Varghese et al., 2024)
Keselamatan pasien	Deteksi dini potensi komplikasi	(Kenig et al., 2024; Hashimoto et al., 2018)
Keterbatasan data	Ketergantungan pada kualitas dan generalisasi data	(Maier-Hein et al., 2017; Kenig et al., 2024)
Validasi klinis	Minimnya uji prospektif dan RCT	(Hashimoto et al., 2018; Topol, 2019)
Kesiapan implementasi	Kesiapan teknologi menengah, adopsi awal	(Morris et al., 2024); Varghese et al., 2024)

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa integrasi kecerdasan buatan dalam pengambilan keputusan intraoperatif memberikan dampak klinis yang paling konsisten pada peningkatan presisi tindakan bedah dan penguatan keselamatan pasien. Studi-studi yang dianalisis melaporkan bahwa sistem AI mampu menyediakan informasi real-time yang relevan secara klinis, seperti pengenalan fase kritis operasi dan identifikasi struktur anatomi penting. Dampak ini terutama terlihat pada prosedur bedah minimal invasif

Asdar*

Program Studi Pendidikan Dokter, Universitas Muhammadiyah Makassar
Korespondensi penulis: Asdar. *Email: asdarhikari@med.unismuh.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56922/quilt.v6i2.2279>

dengan keterbatasan visual dan ruang kerja menjadikan dukungan berbasis data sangat krusial bagi pengambilan keputusan intraoperatif (Twinanda et al., 2016; Morris et al., 2024).

Selain peningkatan presisi, beberapa studi juga melaporkan dampak AI terhadap efisiensi intraoperatif. Sistem pendukung keputusan berbasis AI dilaporkan membantu tim bedah dalam mengantisipasi kebutuhan instrumen dan langkah prosedural berikutnya, sehingga mengurangi waktu tunggu dan potensi gangguan alur operasi. Walaupun tidak semua studi menyajikan pengukuran kuantitatif yang seragam, temuan ini menunjukkan kecenderungan bahwa AI dapat berkontribusi pada optimalisasi alur kerja intraoperatif tanpa meningkatkan beban kognitif ahli bedah (Loftus et al., 2023; Varghese et al., 2024).

Apabila dilihat dalam konteks keselamatan pasien, hasil penelitian menunjukkan bahwa AI memiliki potensi dalam mendukung deteksi dini kejadian intraoperatif yang berisiko. Beberapa studi melaporkan kemampuan sistem AI dalam mengenali deviasi dari alur prosedur standar atau pola visual yang berkaitan dengan komplikasi, seperti perdarahan atau kesalahan identifikasi anatomi. Informasi peringatan yang dihasilkan sistem ini digunakan sebagai sinyal tambahan bagi tim bedah untuk meningkatkan kewaspadaan dan melakukan penyesuaian tindakan secara tepat waktu (Kenig et al., 2024; Hashimoto et al., 2018).

Meskipun demikian, hasil kajian juga mengungkap sejumlah keterbatasan yang konsisten dilaporkan dalam literatur. Keterbatasan utama berkaitan dengan ketergantungan sistem AI pada kualitas dan representativitas data pelatihan. Studi-studi yang dianalisis menunjukkan bahwa performa AI dapat menurun ketika diterapkan pada konteks klinis yang berbeda dari data asal pelatihan, seperti variasi teknik bedah, peralatan, atau karakteristik pasien. Temuan ini menyoroti tantangan generalisasi model AI intraoperatif ke berbagai lingkungan klinis (Maier-Hein et al., 2017; Kenig et al., 2024).

Keterbatasan lain yang sering dilaporkan adalah minimnya validasi prospektif dan uji klinis terkontrol. Sebagian besar sistem AI intraoperatif masih dievaluasi dalam lingkungan penelitian atau simulasi, sehingga bukti dampak klinis jangka panjang masih terbatas. Selain itu, beberapa studi mencatat tantangan integrasi sistem AI ke dalam alur kerja ruang operasi yang sudah ada, termasuk aspek kompatibilitas teknologi dan penerimaan pengguna (Hashimoto et al., 2018; Topol, 2019).

Selanjutnya apabila dilihat dari sisi kesiapan implementasi, hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar sistem AI intraoperatif saat ini berada pada tingkat kesiapan teknologi menengah. Sistem-sistem tersebut telah menunjukkan kelayakan teknis dan manfaat potensial, namun belum sepenuhnya terintegrasi sebagai standar praktik klinis. Studi-studi terbaru mulai menekankan pentingnya evaluasi aspek non-teknis, seperti pelatihan pengguna, regulasi, dan tata kelola data, sebagai prasyarat implementasi AI yang aman dan berkelanjutan di ruang operasi (Varghese et al., 2024; Morris et al., 2024).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dampak klinis AI intraoperatif bersifat menjanjikan namun masih dibatasi oleh tantangan implementasi dan validasi. Kesiapan implementasi AI dalam pengambilan keputusan intraoperatif saat ini lebih mencerminkan fase adopsi awal (*early adoption*), sehingga manfaat klinis telah teridentifikasi tetapi memerlukan dukungan bukti yang lebih kuat untuk penerapan secara luas dan terstandarisasi (Topol, 2019; Kenig et al., 2024).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan kecerdasan buatan dalam pengambilan keputusan intraoperatif memberikan dampak klinis yang positif, khususnya dalam meningkatkan presisi tindakan bedah, keselamatan pasien, dan efisiensi alur kerja intraoperatif. Namun, manfaat tersebut masih dibatasi oleh sejumlah kendala, terutama terkait kualitas dan generalisasi data, keterbatasan validasi klinis prospektif, serta kesiapan sistem kesehatan dalam mengintegrasikan teknologi AI ke dalam praktik bedah rutin. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun AI intraoperatif telah menunjukkan potensi signifikan sebagai sistem pendukung keputusan klinis, tingkat kesiapan implementasinya saat ini masih berada pada tahap adopsi awal dan memerlukan penguatan bukti klinis serta dukungan regulasi dan infrastruktur sebelum dapat diterapkan secara luas dan terstandarisasi dalam konteks bedah presisi.

Asdar*

Program Studi Pendidikan Dokter, Universitas Muhammadiyah Makassar
Korespondensi penulis: Asdar. *Email: asdarhikari@med.unismuh.ac.id

Mengintegrasikan kecerdasan buatan ke dalam pengambilan keputusan intraoperatif: Era baru dalam bedah presisi

PEMBAHASAN

Integrasi kecerdasan buatan (artificial intelligence/AI) dalam pengambilan keputusan intraoperatif merepresentasikan evolusi konseptual dari praktik bedah modern menuju paradigma bedah presisi berbasis data. Secara teoritis, perkembangan ini dapat dipahami melalui kerangka *augmented intelligence* yang menempatkan AI sebagai sistem pendukung keputusan klinis yang memperluas kapasitas kognitif ahli bedah tanpa menggantikan otoritas profesional manusia (Topol, 2019; Esteva, Robicquet, Ramsundar, Kuleshov, DePristo, Chou, & Dean, 2019). Apabila dilihat dalam konteks intraoperatif yang bersifat dinamis, kompleks, dan berisiko tinggi, AI menawarkan kemampuan analitik real-time yang melampaui keterbatasan persepsi dan memori manusia, khususnya dalam memproses data multimodal seperti video bedah, citra radiologis, dan sinyal fisiologis pasien (Hashimoto et al., 2018; Rajkomar, Dean, & Kohane, 2019).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar aplikasi AI intraoperatif berakar pada teori *Surgical Data Science* yang menekankan pemanfaatan data operatif sebagai sumber utama untuk meningkatkan kualitas intervensi bedah (Maier-Hein et al., 2017; Padoy, 2019). Selain itu dalam kerangka ini AI digunakan untuk mengekstraksi pola dari data intraoperatif yang sebelumnya bersifat implisit dan tidak terdokumentasi secara sistematis. Pengenalan fase operasi, segmentasi instrumen, serta identifikasi struktur anatomi kritis merupakan manifestasi langsung dari pendekatan ini, yang secara empiris terbukti meningkatkan konsistensi dan objektivitas tindakan bedah (Twinanda et al., 2016; Bodenstedt, Wagner, Müller-Stitch, & Speidel, 2018; Mascagni, Padoy, & Collins, 2022).

Apabila dilihat dari perspektif teori pengambilan keputusan klinis, AI intraoperatif berfungsi sebagai *decision-support layer* yang menyajikan informasi prediktif dan preskriptif kepada ahli bedah. Model prediksi berbasis *machine learning* memungkinkan estimasi risiko komplikasi secara real-time, sehingga keputusan intraoperatif tidak lagi hanya bergantung pada intuisi atau pengalaman individual, tetapi juga pada analisis probabilistik berbasis populasi data besar (Komorowski, Celi, Badawi, Gordon, & Faisal, 2018; Loftus et al., 2023). Temuan ini konsisten dengan pendekatan *predictive analytics* dalam kedokteran yang bertujuan meminimalkan ketidakpastian klinis melalui estimasi risiko yang

terkalibrasi secara statistik (Deo, 2015; Hyland, Faltys, Hüser, Lyu, Gumbsch, Esteban, & Rättsch, 2020).

Dampak klinis AI intraoperatif paling nyata terlihat pada peningkatan keselamatan pasien. Beberapa studi yang dianalisis menunjukkan bahwa sistem AI mampu mendeteksi kondisi kritis, seperti hipotensi intraoperatif, sebelum terjadinya manifestasi klinis yang signifikan, sehingga memungkinkan intervensi preventif yang lebih cepat (Wijnberge, Geerts, Hol, Lemmers, Mulder, Berge, & Veelo, 2020; Lee, Hofer, Gabel, Baldi, & Cannesson, 2022). Secara teoritis, temuan ini sejalan dengan konsep *early warning systems* yang berbunyi bahwa algoritma prediktif berfungsi sebagai mekanisme mitigasi risiko dalam sistem kompleks berisiko tinggi seperti ruang operasi (Rajkomar et al., 2019; Krittanawong, Johnson, Rosenson, Wang, Aydar, Baber, & Tang, 2019).

Namun, penelitian ini juga menegaskan bahwa efektivitas AI intraoperatif sangat bergantung pada kualitas dan representativitas data pelatihan. Teori *algorithmic bias* menjelaskan bahwa model AI cenderung mereplikasi bias struktural yang terdapat dalam dataset, sehingga berpotensi menurunkan akurasi dan keadilan klinis ketika diterapkan pada populasi atau konteks yang berbeda (Obermeyer, Powers, Vogeli, & Mullainathan, 2019; Chen, Joshi, Ghassemi, & Ranganath, 2021). Hal ini menjadi perhatian serius dalam bedah, mengingat variasi teknik, perangkat, dan karakteristik pasien antar pusat layanan kesehatan (Kelly, Karthikesalingam, Suleyman, Corrado, & King, 2019; Kenig et al., 2024).

Keterbatasan lain yang teridentifikasi adalah kesenjangan antara performa teknis algoritma dan validasi klinis yang bermakna. Banyak studi AI intraoperatif masih berada pada tahap evaluasi retrospektif atau eksperimental, dengan sedikit yang telah diuji melalui *randomized controlled trials* (Loftus et al., 2023; Morris et al., 2024). Berdasarkan konteks ini, *IDEAL framework* memberikan landasan teoritis yang kuat untuk menilai kesiapan inovasi bedah, menekankan pentingnya evaluasi bertahap, transparansi metodologis, dan pelaporan luaran jangka panjang sebelum adopsi luas (McCulloch, Altman, Campbell, Flum, Glasziou, Marshall, & Nicholl, 2009; Barkun, Aronson, Feldman, Maddern, & Strasberg, 2009).

Selain aspek teknis dan klinis, kesiapan implementasi AI intraoperatif juga dipengaruhi oleh faktor sosio-teknis. Teori *socio-technical systems*

Asdar*

Program Studi Pendidikan Dokter, Universitas Muhammadiyah Makassar
Korespondensi penulis: Asdar. *Email: asdarhikari@med.unismuh.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56922/quilt.v6i2.2279>

Mengintegrasikan kecerdasan buatan ke dalam pengambilan keputusan intraoperatif: Era baru dalam bedah presisi

menekankan bahwa keberhasilan adopsi teknologi kesehatan ditentukan oleh interaksi antara teknologi, manusia, dan organisasi (Cabitza, Rasoini, & Gensini, 2017; Greenhalgh, Wherton, Papoutsis, Lynch, Hughes, A'Court, & Shaw, 2017). Studi yang dianalisis menunjukkan bahwa kurangnya interoperabilitas sistem, keterbatasan infrastruktur digital, serta resistensi pengguna menjadi hambatan utama dalam penerapan AI di ruang operasi (Varghese et al., 2024; Morris et al., 2024).

Aspek etika dan transparansi algoritma juga menjadi isu sentral dalam pembahasan ini. Konsep *explainable AI* menekankan bahwa sistem AI dalam konteks klinis harus dapat dipahami dan diaudit oleh pengguna manusia untuk menjaga akuntabilitas dan kepercayaan (Holzinger, Langs, Denk, Zatloukal, & Müller, 2019; London, 2019). Selanjutnya dalam pengambilan keputusan intraoperatif, kurangnya transparansi algoritma berpotensi meningkatkan risiko *automation bias*, di mana klinisi terlalu bergantung pada rekomendasi AI tanpa evaluasi kritis (Cabitza et al., 2017; Darcy, Louie, & Roberts, 2016).

Apabila dalam perspektif jangka panjang, integrasi AI intraoperatif juga memiliki implikasi signifikan terhadap pendidikan dan pelatihan bedah. AI berpotensi berfungsi sebagai alat evaluasi objektif keterampilan teknis dan non-teknis, sekaligus sebagai sarana pembelajaran berbasis umpan balik real-time (Bini, 2018; Kassahun, Yu, Tibebu, Stoyanov, Giannarou, Metzen, & Vander Poorten, 2020). Pendekatan ini sejalan dengan teori *competency-based medical education*, yang menekankan penilaian berbasis kinerja nyata dibandingkan durasi pelatihan semata (Yu et al., 2020; Ng, Yeong, & Lim, 2022).

Secara keseluruhan, pembahasan ini menunjukkan bahwa AI intraoperatif memiliki potensi transformatif dalam meningkatkan presisi, keselamatan, dan efisiensi bedah, namun adopsinya harus dilakukan secara bertahap dan berbasis bukti. Integrasi yang bertanggung jawab menuntut keseimbangan antara inovasi teknologi, validasi klinis, kesiapan sistem kesehatan, serta pertimbangan etika dan regulasi. Melalui pendekatan tersebut, AI dapat berfungsi sebagai mitra kognitif yang andal bagi ahli bedah, bukan sebagai pengganti, dalam mewujudkan era baru bedah presisi berbasis kecerdasan buatan.

SIMPULAN

Studi ini menegaskan kontribusi konseptual dalam memperluas pemahaman mengenai integrasi kecerdasan buatan sebagai sistem pendukung pengambilan keputusan intraoperatif yang berperan penting dalam meningkatkan presisi bedah, keselamatan pasien, dan efisiensi klinis berbasis data. Meskipun temuan yang disajikan menunjukkan konsistensi manfaat klinis yang kuat, keterbatasan tetap ada terutama terkait variasi metodologis antara studi dan keterbatasan bukti perspektif berskala besar yang perlu dipertimbangkan secara proporsional tanpa mengurangi signifikansi hasil penelitian ini. Berdasarkan hal tersebut, penelitian selanjutnya perlu difokuskan pada pengembangan model AI intraoperatif yang transparan, tervalidasi secara klinis lintas konteks, serta terintegrasi dengan kerangka etika, regulasi, dan kesiapan sistem kesehatan guna memastikan implementasi yang berkelanjutan dalam praktik bedah presisi modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Barkun, J. S., Aronson, J. K., Feldman, L. S., Maddern, G. J., & Strasberg, S. M. (2009). Evaluation and stages of surgical innovations. *The Lancet*, 374(9695), 1089–1096.
- Bini, S. A. (2018). Artificial intelligence, machine learning, and orthopaedic surgery. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 100(1), 1–2.
- Bodenstedt, S., Wagner, M., Müller-Stich, B. P., & Speidel, S. (2018). Technical aspects of artificial intelligence in laparoscopic surgery. *Surgical Endoscopy*, 32, 1–11.
- Cabitza, F., Rasoini, R., & Gensini, G. F. (2017). Unintended consequences of machine learning in medicine. *JAMA*, 318(6), 517–518.
- Chen, I. Y., Joshi, S., Ghassemi, M., & Ranganath, R. (2021). Probabilistic machine learning for healthcare. *Annual Review of Biomedical Data Science*, 4, 1–24.
- Darcy, A. M., Louie, A. K., & Roberts, L. W. (2016). Machine learning and the profession of medicine. *JAMA*, 315(6), 551–552.

Asdar*

Program Studi Pendidikan Dokter, Universitas Muhammadiyah Makassar
Korespondensi penulis: Asdar. *Email: asdarhikari@med.unismuh.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56922/quilt.v6i2.2279>

Mengintegrasikan kecerdasan buatan ke dalam pengambilan keputusan intraoperatif: Era baru dalam bedah presisi

- Deo, R. C. (2015). Machine learning in medicine. *Circulation*, 132(20), 1920–1930.
- Esteva, A., Robicquet, A., Ramsundar, B., Kuleshov, V., DePristo, M., Chou, K., & Dean, J. (2019). A guide to deep learning in healthcare. *Nature Medicine*, 25(1), 24–29.
- Falagas, M. E., Pitsouni, E. I., Malietzis, G. A., & Pappas, G. (2008). Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: Strengths and weaknesses. *FASEB Journal*, 22(2), 338–342.
- Greenhalgh, T., Wherton, J., Papoutsis, C., Lynch, J., Hughes, G., A'Court, C., & Shaw, S. (2017). Beyond adoption: A new framework for theorizing and evaluating nonadoption. *Journal of Medical Internet Research*, 19(11), e367.
- Hashimoto, D. A., Rosman, G., Rus, D., & Meireles, O. R. (2018). Artificial intelligence in surgery: Promises and perils. *Annals of Surgery*, 268(1), 70–76.
- Higgins, J. P. T., Thomas, J., & Chandler, J. (2019). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. Wiley.
- Holzinger, A., Langs, G., Denk, H., Zatloukal, K., & Müller, H. (2019). Causability and explainable AI. *Artificial Intelligence in Medicine*, 94, 1–14.
- Hyland, S. L., Faltys, M., Hüser, M., Lyu, X., Gumbsch, T., Esteban, C., & Rättsch, G. (2020). Early prediction of circulatory failure. *Nature Medicine*, 26(3), 364–373.
- Kassahun, Y., Yu, B., Tibebu, A. T., Stoyanov, D., Giannarou, S., Metzen, J. H., & Vander Poorten, E. (2020). Surgical robotics beyond enhanced dexterity instrumentation: A survey of machine learning techniques and their role in intelligent and autonomous surgical actions. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 15(4), 553–568.
- Kelly, C. J., Karthikesalingam, A., Suleyman, M., Corrado, G., & King, D. (2019). Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence. *BMC Medicine*, 17, 195.
- Kenig, N., Montón, E., & Muntaner, A. (2024). Artificial intelligence in surgery: A systematic review of use and validation. *Journal of Clinical Medicine*, 13(23), 7108.
- Komorowski, M., Celi, L. A., Badawi, O., Gordon, A. C., & Faisal, A. A. (2018). The artificial intelligence clinician learns optimal treatment strategies. *Nature Medicine*, 24(11), 1716–1720.
- Krittanawong, C., Johnson, K. W., Rosenson, R. S., Wang, Z., Aydar, M., Baber, U., & Tang, W. H. W. (2019). Deep learning for cardiovascular medicine. *Journal of the American College of Cardiology*, 73(25), 3316–3329.
- Lee, C. K., Hofer, I., Gabel, E., Baldi, P., & Cannesson, M. (2022). Development and validation of a deep neural network model. *Anesthesiology*, 136(4), 641–654.
- Liberati, A., Altman, D. G., & Tetzlaff, J. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097.
- Loftus, T. J., Altieri, M. S., Tignanelli, C. J., Brakenridge, S. C., Croft, C. A., Smith, R. S., & Mohr, A. M. (2023). Artificial intelligence-enabled decision support in surgery. *Annals of Surgery*, 278(1), 51–58.
- London, A. J. (2019). Artificial intelligence and black-box medical decisions. *Hastings Center Report*, 49(1), 15–21.
- Maier-Hein, L., Eisenmann, M., & Sarikaya, D. (2017). Surgical data science for next-generation interventions. *Nature Biomedical Engineering*, 1, 691–696.
- Mascagni, P., Padoy, N., & Collins, J. W. (2022). Artificial intelligence for surgical safety: Automatic assessment of the critical view of safety in laparoscopic cholecystectomy. *Annals of Surgery*, 275(5), e678–e686.

Asdar*

Program Studi Pendidikan Dokter, Universitas Muhammadiyah Makassar
Korespondensi penulis: Asdar. *Email: asdarhikari@med.unismuh.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56922/quilt.v6i2.2279>

Mengintegrasikan kecerdasan buatan ke dalam pengambilan keputusan intraoperatif: Era baru dalam bedah presisi

- McCulloch, P., Altman, D. G., Campbell, W. B., Flum, D. R., Glasziou, P., Marshall, J. C., & Nicholl, J. (2009). No surgical innovation without evaluation: The IDEAL recommendations. *The Lancet*, 374(9695), 1105–1112.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *BMJ*, 339, b2535.
- Morris, M. X., Fiocco, D., Caneva, T., Mascagni, P., & Padoy, N. (2024). Current and future applications of artificial intelligence in surgery. *Frontiers in Surgery*, 11, 1393898.
- Ng, Z. Y., Yeong, W. Y., & Lim, K. H. (2022). Artificial intelligence in surgery: A review of current applications. *Frontiers in Medicine*, 9, 830030.
- Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., & Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage population health. *Science*, 366(6464), 447–453.
- Padoy, N. (2019). Machine and deep learning for workflow recognition during surgery. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 14(9), 1437–1447.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., & Bossuyt, P. M., (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.
- Rajkomar, A., Dean, J., & Kohane, I. (2019). Machine learning in medicine. *New England Journal of Medicine*, 380(14), 1347–1358.
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25, 44–56.
- Twinanda, A. P., Shehata, S., Mutter, D., Marescaux, J., De Mathelin, M., & Padoy, N. (2016). EndoNet: A deep architecture for recognition tasks on laparoscopic videos. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 36(1), 86–97.
- Varghese, C., Harrison, E. M., & O'Grady, G. (2024). Artificial intelligence in surgery. *Nature Medicine*, 30, 1257–1268.
- Wijnberge, M., Geerts, B. F., Hol, L., Lemmers, N., Mulder, M. P., Berge, P., & Veelo, D. P. (2020). Effect of a machine learning–derived early warning system for intraoperative hypotension on depth and duration of hypotension. *JAMA*, 323(11), 1052–1060.

Asdar*

Program Studi Pendidikan Dokter, Universitas Muhammadiyah Makassar
Korespondensi penulis: Asdar. *Email: asdarhikari@med.unismuh.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56922/quilt.v6i2.2279>