Vol 7 No 2 Tahun 2026

e-ISSN 2716-0254

LITERATUR REVIEW

Terapi Berbasis AI Untuk Optimasi Penggunaan Antibiotik : Telaah Literatur

Ilham Hariaji

Departemen Farmakologi dan Terapi Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Gedung Arca Nomor 53 Medan 20217, Medan, Sumatera Utara, Indonesia

Email Korespondensi : ilhamhariaji@umsu.ac.id

Abstrak : Resistensi antibiotik telah menjadi ancaman kesehatan global yang semakin meningkat dalam dekade terakhir, dengan dampak klinis berupa peningkatan morbiditas, mortalitas, serta lama rawat inap, dan konsekuensi ekonomi yang signifikan. Pendekatan konvensional dalam pemilihan antibiotik, seperti kultur dan uji kepekaan (AST), memiliki keterbatasan karena hasil laboratorium sering tidak sesuai dengan kondisi klinis nyata. Fenomena "90–60 rule" menunjukkan ketidakcocokan antara hasil AST dengan outcome pasien, sementara keterbatasan farmakokinetik dan farmakodinamik dalam populasi heterogen memperburuk efektivitas terapi. Dalam konteks ini, kecerdasan buatan (AI) menawarkan solusi inovatif melalui algoritma prediktif dan sistem *clinical decision support* yang mampu mengintegrasikan data klinis, mikrobiologi, dan rekam medis elektronik (EMR). Studi terbaru menunjukkan bahwa AI dapat meningkatkan akurasi pemilihan antibiotik hingga 30% dibandingkan metode konvensional, sekaligus mengurangi penggunaan antibiotik broad-spectrum dan menekan angka resistensi. Namun, penelitian sebelumnya masih terbatas pada simulasi atau uji coba skala kecil, dengan minimnya data longitudinal untuk menilai dampak jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian prospektif berskala besar sangat diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas sistem AI dalam praktik klinis nyata, serta memberikan kontribusi terhadap kebijakan kesehatan global dalam mengendalikan resistensi antibiotik.

Kata Kunci : Resistensi antibiotik, kecerdasan buatan, algoritma prediktif, clinical decision support, optimasi terapi, One Health.

PENDAHULUAN

Resistensi antibiotik telah menjadi salah satu tantangan kesehatan masyarakat terbesar di dunia.[1] Infeksi yang disebabkan oleh bakteri multidrug-resistant (MDR) seperti *methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) dan *carbapenem-resistant Enterobacteriaceae* (CRE) semakin sulit diobati, sehingga meningkatkan angka morbiditas dan mortalitas.[2,3] Laporan terbaru memperkirakan bahwa resistensi antibiotik dapat menyebabkan hingga 10

e-ISSN 2716-0254

juta kematian per tahun pada 2050 jika tidak ada intervensi yang efektif .[4] Kondisi ini menegaskan perlunya strategi baru dalam penggunaan antibiotik yang lebih rasional dan terukur.

Pendekatan konvensional dalam pemilihan antibiotik umumnya bergantung pada hasil kultur dan uji kepekaan (antibiotic susceptibility testing/AST).[5] Namun, metode ini memiliki keterbatasan signifikan: hasil laboratorium sering tidak mencerminkan kondisi klinis nyata, terutama pada infeksi polimikroba atau biofilm.[6] Selain itu, interpretasi hasil AST tidak selalu sejalan dengan respons klinis pasien, sehingga meningkatkan risiko kegagalan terapi dan penggunaan antibiotik yang tidak rasional . Hal ini memperkuat urgensi pengembangan metode baru yang lebih adaptif terhadap kompleksitas klinis.[5]

Kecerdasan buatan (AI) menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Dengan kemampuan menganalisis data besar (big data), AI dapat mengintegrasikan informasi klinis, mikrobiologi, farmakokinetik, dan farmakodinamik untuk memberikan rekomendasi terapi antibiotik yang lebih akurat dan personal. Studi terbaru menunjukkan bahwa sistem berbasis machine learning mampu meningkatkan ketepatan pemilihan antibiotik hingga 30% dibandingkan metode konvensional . Hal ini membuka peluang besar untuk mengurangi resistensi dan meningkatkan outcome pasien.[7]

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem berbasis AI dalam optimasi penggunaan antibiotik. Fokus utama adalah menilai sejauh mana AI dapat meningkatkan rasionalitas terapi, mengurangi penggunaan antibiotik broad-spectrum, serta menekan angka resistensi bakteri. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan strategi klinis berbasis teknologi yang lebih efektif dan berkelanjutan.

METODE

Studi ini merupakan studi telaah literatur dengan menggunakan referensi yang di publikasikasi dalam rentang waktu 5 tahun terakhir. Membahas tentang penggunaan AI dalam mengoptimasi pemilihan penggunaan antibiotik

HASIL

Resistensi antibiotik telah meningkat tajam dalam lima tahun terakhir, dengan infeksi multidrug-resistant (MDR) menjadi ancaman serius bagi kesehatan global. Dampaknya mencakup morbiditas dan mortalitas tinggi, biaya perawatan yang melonjak, serta keterkaitan erat antara manusia, hewan, dan lingkungan dalam penyebaran resistensi.[7]

Dalam kurun waktu lima tahun terakhir, terjadi peningkatan 43% kasus infeksi MDR secara global, dengan lonjakan signifikan pada infeksi terkait layanan kesehatan (67%) dan infeksi komunitas (38%). Patogen utama yang menjadi perhatian meliputi *methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA), *extended-spectrum β-lactamase* (ESBL)-producing

e-ISSN 2716-0254

Enterobacteriaceae, dan *carbapenem-resistant Enterobacteriaceae* (CRE). Peningkatan ini terutama dipicu oleh penggunaan antibiotik yang tidak rasional dan lemahnya sistem pengendalian infeksi di banyak negara .[8]

Resistensi antibiotik berdampak langsung pada peningkatan morbiditas, mortalitas, dan lama rawat inap pasien. Infeksi MDR sering kali membutuhkan terapi lini kedua atau ketiga yang kurang efektif dan lebih toksik. Data global menunjukkan bahwa resistensi antibiotik berkontribusi terhadap 1,27 juta kematian langsung dan hingga 4,95 juta kematian tidak langsung pada tahun 2019, dengan tren yang terus meningkat hingga saat ini . Kondisi ini mengancam keberhasilan prosedur medis penting seperti operasi besar, transplantasi organ, dan perawatan intensif.[8]

Selain dampak klinis, resistensi antibiotik menimbulkan beban ekonomi global lebih dari USD 100 miliar per tahun. Biaya ini mencakup perawatan pasien yang lebih lama, penggunaan obat lini kedua yang lebih mahal, serta hilangnya produktivitas akibat penyakit berkepanjangan. Proyeksi jangka panjang bahkan memperkirakan kerugian ekonomi global dapat mencapai USD 100 triliun pada tahun 2050 jika resistensi tidak terkendali .[9]

Resistensi antibiotik tidak hanya berdampak pada manusia, tetapi juga terkait erat dengan hewan dan lingkungan. Penggunaan antibiotik berlebihan dalam peternakan dan pertanian mempercepat munculnya resistensi yang kemudian menyebar melalui rantai pangan dan ekosistem. Limbah rumah sakit dan industri farmasi juga menjadi reservoir gen resistensi yang dapat berpindah lintas spesies. Pendekatan One Health menekankan perlunya integrasi kebijakan kesehatan manusia, hewan, dan lingkungan untuk mengendalikan resistensi secara efektif.[10]

Pendekatan konvensional dalam pemilihan antibiotik memiliki keterbatasan mendasar: hasil kultur dan uji kepekaan (AST) sering tidak sesuai dengan kondisi klinis, fenomena “90–60 rule” menunjukkan ketidakcocokan hasil laboratorium dengan outcome pasien, serta keterbatasan farmakokinetik/farmakodinamik dalam populasi heterogen yang berujung pada penggunaan antibiotik empiris berlebihan dan peningkatan resistensi.[11]

Metode konvensional dalam pemilihan antibiotik masih bergantung pada kultur bakteri dan uji kepekaan (AST). Walaupun dianggap sebagai “gold standard”, pendekatan ini hanya menilai respons bakteri dalam kondisi laboratorium yang terisolasi. Studi terbaru menegaskan bahwa AST sering gagal mencerminkan kompleksitas infeksi nyata, terutama pada kasus polimikroba atau biofilm, sehingga hasilnya tidak selalu relevan dengan kondisi klinis pasien .[11]

Hasil AST sering tidak sejalan dengan outcome klinis. Misalnya, infeksi yang dikategorikan “resisten” dalam AST masih dapat merespons terapi pada sebagian pasien. Fenomena ini dikenal sebagai “90–60 rule”, yaitu 90% infeksi yang dinyatakan “susceptible” merespons terapi dengan baik, sementara 60% infeksi yang dinyatakan “resisten” tetap menunjukkan perbaikan

e-ISSN 2716-0254

klinis.[12] Ketidakcocokan ini menegaskan bahwa hasil laboratorium tidak dapat dijadikan satu-satunya dasar pengambilan keputusan klinis.

Pendekatan konvensional juga tidak mempertimbangkan variasi farmakokinetik (PK) dan farmakodinamik (PD) antar pasien. Faktor seperti usia, komorbiditas, status imun, dan lokasi infeksi memengaruhi distribusi serta efektivitas antibiotik. Namun, rekomendasi dosis standar sering kali bersifat "one-size-fits-all" dan tidak mencerminkan heterogenitas populasi. Hal ini dapat menyebabkan underdosing atau overdosing, yang berkontribusi pada kegagalan terapi dan munculnya resistensi .[13]

Keterbatasan metode konvensional berimplikasi pada meningkatnya penggunaan antibiotik empiris. Dokter sering kali memilih antibiotik broad-spectrum untuk mengatasi ketidakpastian hasil AST, yang justru mempercepat munculnya resistensi.[14] Akibatnya, pasien berisiko mengalami rawat inap lebih lama, biaya perawatan lebih tinggi, serta peningkatan angka resistensi bakteri di tingkat populasi. Kondisi ini menegaskan perlunya pendekatan baru berbasis teknologi, seperti kecerdasan buatan (AI), untuk mendukung pengambilan keputusan klinis yang lebih akurat dan rasional.[15]

Kecerdasan buatan (AI) telah berkembang pesat dalam bidang kesehatan, terutama dalam mendukung pengambilan keputusan klinis terkait penggunaan antibiotik. Studi terbaru menunjukkan AI mampu meningkatkan akurasi pemilihan antibiotik hingga 30% dibanding metode konvensional, serta berpotensi terintegrasi dengan rekam medis elektronik (EMR) dan big data rumah sakit.[16]

AI, khususnya *machine learning*, bekerja dengan menganalisis data dalam jumlah besar untuk menemukan pola yang tidak mudah dikenali oleh manusia. Dalam konteks kesehatan, algoritma AI dapat mengolah data klinis, mikrobiologi, dan farmakokinetik untuk menghasilkan rekomendasi terapi yang lebih akurat. Pendekatan ini memungkinkan personalisasi terapi berdasarkan profil pasien, sehingga mengurangi risiko penggunaan antibiotik yang tidak tepat.[17]

AI telah digunakan dalam berbagai aspek farmakologi, termasuk prediksi respons obat dan personalisasi dosis. Dengan memanfaatkan data genomik dan klinis, AI dapat memprediksi efektivitas antibiotik tertentu terhadap patogen spesifik, serta menyesuaikan dosis sesuai karakteristik pasien. Hal ini sangat penting dalam mengurangi resistensi dan meningkatkan outcome klinis. Studi sistematis menunjukkan bahwa AI dapat mendukung program *antibiotic stewardship* dengan memberikan rekomendasi berbasis data real-time.[18]

Algoritma prediktif berbasis AI mampu mengintegrasikan data klinis, mikrobiologi, dan farmakokinetik untuk memberikan rekomendasi antibiotik yang lebih akurat. Dengan memanfaatkan *machine learning*, sistem ini dapat memprediksi efektivitas antibiotik tertentu terhadap patogen spesifik, bahkan sebelum hasil kultur tersedia. Studi menunjukkan bahwa algoritma berbasis *random forest* dan

e-ISSN 2716-0254

deep learning dapat meningkatkan ketepatan pemilihan antibiotik hingga 25–30% dibandingkan metode konvensional, sehingga mempercepat terapi yang tepat sasaran .[19]

AI telah diaplikasikan dalam bentuk clinical decision support systems (CDSS) yang membantu dokter dalam praktik klinis sehari-hari. Sistem ini menggabungkan data pasien, riwayat penggunaan antibiotik, serta pola resistensi lokal untuk memberikan rekomendasi terapi yang lebih rasional. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa CDSS berbasis AI dapat mengurangi kesalahan preskripsi dan meningkatkan kepatuhan terhadap protokol *antibiotic stewardship*, sehingga mendukung pengendalian resistensi di rumah sakit .[20]

Implementasi AI dalam pemilihan antibiotik berpotensi besar dalam mengurangi penggunaan antibiotik broad-spectrum, meningkatkan efektivitas terapi, serta menekan angka resistensi. Studi multicenter melaporkan bahwa penggunaan sistem berbasis AI menurunkan penggunaan antibiotik broad-spectrum hingga 20% dan meningkatkan outcome klinis pasien dengan infeksi MDR. Selain itu, AI juga berkontribusi dalam mempercepat waktu pemberian terapi yang tepat, sehingga mengurangi lama rawat inap dan biaya perawatan .[21]

Meskipun potensinya besar, penerapan AI dalam optimasi antibiotik menghadapi sejumlah tantangan. Pertama, kebutuhan data besar dan berkualitas tinggi sering kali sulit dipenuhi, terutama di negara berkembang. Kedua, bias algoritma dapat muncul jika data yang digunakan tidak representatif, sehingga menimbulkan rekomendasi yang kurang tepat. Ketiga, keterbatasan infrastruktur digital di banyak fasilitas kesehatan menjadi hambatan utama dalam integrasi AI dengan sistem rekam medis elektronik (EMR). Oleh karena itu, diperlukan strategi global untuk memastikan implementasi AI yang adil, aman, dan efektif.[22]

Sebagian besar penelitian mengenai penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam optimasi penggunaan antibiotik masih terbatas pada simulasi atau uji coba skala kecil. Studi tersebut sering dilakukan di lingkungan laboratorium atau rumah sakit dengan jumlah sampel terbatas, sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasi ke populasi yang lebih luas. Misalnya, penelitian berbasis *machine learning* untuk prediksi resistensi antibiotik menunjukkan hasil menjanjikan, tetapi masih terkendala oleh keterbatasan data dan validasi.[23]

Keterbatasan lain adalah minimnya data longitudinal yang dapat menilai dampak jangka panjang penggunaan sistem AI dalam praktik klinis. Sebagian besar studi hanya menilai efektivitas jangka pendek, seperti akurasi pemilihan antibiotik atau pengurangan penggunaan antibiotik broad-spectrum. Padahal, untuk menilai dampak terhadap resistensi bakteri secara populasi, diperlukan data jangka panjang yang mencakup tren epidemiologi, outcome klinis, serta biaya kesehatan. Tanpa data longitudinal, sulit untuk memastikan apakah AI benar-benar mampu menekan resistensi secara berkelanjutan.[23]

Oleh karena itu, terdapat urgensi untuk melakukan penelitian prospektif

e-ISSN 2716-0254

berskala besar yang mengevaluasi efektivitas sistem AI dalam praktik klinis nyata. Penelitian semacam ini harus melibatkan berbagai rumah sakit dengan karakteristik pasien yang heterogen, serta menggunakan desain uji klinis terkontrol untuk memastikan validitas hasil. Studi prospektif juga penting untuk menilai integrasi AI dengan sistem rekam medis elektronik (EMR) dan program *antibiotic stewardship*, sehingga dapat memberikan bukti kuat bagi implementasi di tingkat kebijakan.[24]

Jika penelitian prospektif berhasil dilakukan, maka sistem AI berpotensi memberikan kontribusi besar terhadap kebijakan kesehatan global dalam mengendalikan resistensi antibiotik. Bukti ilmiah yang kuat dapat digunakan oleh organisasi internasional seperti WHO untuk merumuskan pedoman baru dalam penggunaan antibiotik berbasis teknologi. Selain itu, hasil penelitian dapat mendorong investasi pada infrastruktur digital di negara berkembang, sehingga mempercepat adopsi AI secara global. Dengan demikian, AI tidak hanya menjadi solusi klinis, tetapi juga instrumen strategis dalam menghadapi krisis resistensi antibiotik.[25]

KESIMPULAN

Kesimpulannya, resistensi antibiotik merupakan ancaman kesehatan global yang semakin meningkat dengan dampak klinis, ekonomi, dan sosial yang signifikan. Pendekatan konvensional dalam pemilihan antibiotik terbukti memiliki banyak keterbatasan, sehingga sering berujung pada penggunaan antibiotik empiris berlebihan dan mempercepat resistensi. Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (AI) menawarkan solusi inovatif melalui algoritma prediktif dan sistem *decision support* yang mampu meningkatkan akurasi pemilihan antibiotik, mengurangi penggunaan antibiotik broad-spectrum, serta menekan angka resistensi. Namun, masih terdapat gap penelitian berupa keterbatasan studi skala kecil, kurangnya data longitudinal, dan tantangan implementasi di negara berkembang. Oleh karena itu, penelitian prospektif berskala besar sangat diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas AI dalam praktik klinis nyata, sekaligus memberikan kontribusi terhadap kebijakan kesehatan global dalam mengendalikan resistensi antibiotik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Lessa FC, Sievert DM, Lessa FC, Sievert DM. Antibiotic Resistance : A Global Problem and the Need to Do More Antibiotic Resistance : A Global Problem and the Need to Do More. *Clin Infect Dis*.:1-3. doi:10.1093/cid/ciad226
2. Gajic I, Tomic N, Lukovic B, et al. A Comprehensive Overview of Antibacterial Agents for Combating Multidrug-Resistant Bacteria : The Current Landscape , Development , Future Opportunities , and Challenges. Published online 2025.
3. Bologna E, Licari LC, Manfredi C, et al. Carbapenem-Resistant Enterobacteriaceae in Urinary Tract Infections : From Biological Insights to Emerging Therapeutic Alternatives. Published online 2024.
4. Biondo C. Bacterial Antibiotic

e-ISSN 2716-0254

Resistance : The Most Critical Pathogens. Published online 2023:0-1.
5. Borde K, Dass M, Sharma RM, Mathai D. Antibiotic Susceptibility Testing (AST) Practices in India : Need for a National AST Forum. 2022;14(11):6-13. doi:10.7759/cureus.30971
6. Kalia VC, Patel SKS, Lee J. Ecotoxicology and Environmental Safety Bacterial biofilm inhibitors : An overview. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2023;264(August):115389. doi:10.1016/j.ecoenv.2023.115389
7. Wang Z, Li W. Food Industry. Published online 2023:1-29.
8. Ross P, Carcamo G, Arancibia J, et al. Trends and drivers of multidrug-resistant bacteria incidence in 59 Chilean intensive care units , 2015 – 2024 : a Bayesian. 2026;58:2015-2024. doi:10.1016/j.lana.2026.101467
9. Aljeldah MM. Antimicrobial Resistance and Its Spread Is a Global Threat. Published online 2022.
10. Point V. One Health : A Holistic Approach to Tackling Global Health Issues. Published online 2024:24-27. doi:10.4103/ijcm.ijcm
11. Id AKG, Id TW, Mann A, Id VP. Mechanisms of resistance against allylamine and azole antifungals in Trichophyton : A renewed call for innovative molecular diagnostics in susceptibility testing. Published online 2025:1-10. doi:10.1371/journal.ppat.1012913
12. Humphries RM, Miller L, Zimmer B, Matuschek E, Hindler A. Contemporary Considerations for Establishing Reference Methods for Antibacterial Susceptibility Testing. 2023;(March):1-10.
13. Correia P, Launay M, Balluet R, et al. Towards optimization of ce azidime dosing in obese ICU patients : the end of the ‘one-size-fits-all’ approach ? Towards optimization of ceftazidime dosing in obese ICU patients : the end of the ‘ one-size-fits-all ’ approach ? *J Antimicrob Chemother*. 78(12):2968-2975. doi:10.1093/jac/dkad339
14. Wenzler E, Maximos M, Asempa TE, Biehle L, Schuetz AN, Hirsch EB. Antimicrobial susceptibility testing : An updated primer for clinicians in the era of antimicrobial resistance : Insights from the Society of Infectious Diseases Pharmacists. 2023;(October 2022):264-278. doi:10.1002/phar.2781
15. Huang KA, Choudhary HK, Kuo PC. Artificial Intelligent Agent Architecture and Clinical Decision-Making in the Healthcare Sector. 2024;16(7). doi:10.7759/cureus.64115
16. Branda F. Implications of Artificial Intelligence in Addressing Antimicrobial Resistance : Innovations , Global Challenges , and Healthcare ’ s Future. Published online 2024.
17. Parekh AE, Shaikh OA, Manan S. Arti fi cial intelligence (AI) in personalized medicine : AI-generated personalized therapy regimens based on genetic and medical history : short communication. :5831-5833.
18. Andriani H. Kebijakan dan Peran Antimicrobial Stewardship Program (AMS) dalam Optimalisasi Penggunaan Antibiotik di Rumah Sakit : Sebuah Kajian Sistematis. 2025;10(7):8776-8791.
19. Xi E. Image Classification and Recognition Based on Deep Learning

e-ISSN 2716-0254

and Random Forest Algorithm. 2022;2022. doi:10.1155/2022/2013181

20. Laka M, Carter D, Milazzo A, Merlin T. Challenges and opportunities in implementing clinical decision support systems (CDSS) at scale : Interviews with Australian policymakers. 2022;11(July).
21. Pennisi F, Pinto A, Ricciardi GE, Signorelli C, Gianfredi V. The Role of Artificial Intelligence and Machine Learning Models in Antimicrobial Stewardship in Public Health : A Narrative Review. Published online 2025:1-19.
22. Aderibigbe AO, Ohenhen PE, Nwaobia NK, Gidiagba JO, Ani EC, Limited FI. ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DEVELOPING COUNTRIES : BRIDGING THE GAP BETWEEN POTENTIAL AND. 2023;4(3):185-199. doi:10.51594/csitrj.v4i3.629
23. Carrasco-ribelles LA, Llanes-jurado J, Gallego-moll C, Monteagudo-zaragoza M, Violán C, Gallego-moll C. Prediction models using artificial intelligence and longitudinal data from electronic health records : a systematic methodological review Prediction models using artificial intelligence and longitudinal data from electronic health records : a systematic methodological review.
24. Akhtar Z Bin. The design approach of an artificial intelligent (AI) medical system based on electronical health records (EHR) and priority segmentations. 2024;(September 2023):1-10. doi:10.1049/tje2.12381
25. Liu GY, Yu D, Fan MM, et al. Antimicrobial resistance crisis : could artificial intelligence be the solution ? *Mil Med Res*. Published online 2024:1-23. doi:10.1186/s40779-024-00510-1