

Scoping Review Kecerdasan Artifisial Dalam Optimasi Dosis Dan Pemantauan Keamanan Obat Antidiabetik

Reina Meilani^{1*}, ²Purwono Purwono

^a Program Studi Farmasi, Universitas Harapan Bangsa, Purwokerto, Indonesia

^b Program Studi Informatika, Universitas Harapan Bangsa, Purwokerto, Indonesia

¹reinaamelani@uhb.ac.id*; ²purwono@uhb.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan kecerdasan artifisial dalam terapi diabetes untuk optimasi dosis dan pemantauan keamanan obat antidiabetik telah mengalami perkembangan signifikan dalam satu dekade terakhir. Scoping review ini dilakukan untuk memetakan jenis model AI yang digunakan, mengevaluasi dampaknya terhadap kendali glikemik, serta menganalisis kontribusinya dalam penguatan sistem farmakovigilans. Berbagai pendekatan seperti machine learning, deep learning, dan reinforcement learning telah diterapkan untuk memodelkan hubungan dosis respons yang bersifat nonlinier serta untuk mengidentifikasi fenomena plateau effect. Rekomendasi dosis adaptif berbasis data klinis dan pemantauan glukosa kontinu telah dihasilkan melalui algoritme tersebut. Peningkatan time in range dan penurunan kadar HbA1c telah dilaporkan dibandingkan pendekatan terapi konvensional. Pada aspek keamanan obat, deteksi dan analisis adverse drug reactions telah ditingkatkan melalui penerapan pemrosesan bahasa alami, pemodelan Bayesian, dan generative AI. Ekstraksi data dari rekam medis elektronik dan laporan keamanan individual telah dilakukan secara lebih cepat dan sistematis. Penilaian kausalitas efek samping telah dipercepat sehingga efisiensi evaluasi risiko obat dapat ditingkatkan. Integrasi AI dalam manajemen diabetes juga telah diterapkan melalui sistem closed loop, prediksi glukosa real time, serta identifikasi pasien dengan risiko ketidaktepatan dosis. Sejumlah tantangan metodologis dan regulatori masih dihadapi, termasuk bias data, keterbatasan validasi eksternal, dan isu transparansi algoritme. Kebutuhan akan validasi dunia nyata serta penguatan kerangka etik dan tata kelola telah diidentifikasi untuk memastikan implementasi klinis yang aman dan akuntabel.

Kata kunci : Kecerdasan artifisial, optimasi dosis, obat antidiabetik, farmakovigilans, kendali glikemik

ABSTRACT

The use of artificial intelligence in diabetes therapy for dose optimization and safety monitoring of antidiabetic drugs has increased substantially over the past decade. This scoping review was conducted to map the types of AI models applied, to evaluate their impact on glycemic control, and to analyze their contribution to strengthening pharmacovigilance systems. Approaches including machine learning, deep learning, and reinforcement learning have been implemented to model nonlinear dose–response relationships and to identify plateau effects. Adaptive dosing recommendations have been generated using clinical data and continuous glucose monitoring inputs. Improvements in time in range and reductions in HbA1c levels have been reported in comparison with conventional therapeutic approaches. In drug safety monitoring, detection and analysis of adverse drug reactions have been enhanced through the application of natural language processing, Bayesian modeling, and generative AI. Data extraction from electronic health records and individual case safety reports has been performed more efficiently and systematically. Causality assessment processes have been accelerated, leading to improved efficiency in risk evaluation. AI integration in diabetes management has also been implemented through closed-loop systems, real-time glucose prediction, and identification of patients at risk of inappropriate dosing. Several methodological and regulatory challenges remain, including data bias, limited external validation, and concerns regarding algorithmic transparency. The need for real-world validation and strengthened ethical and governance frameworks has been identified to ensure safe and accountable clinical implementation.

Keywords : Artificial intelligence, dose optimization, antidiabetic drugs, pharmacovigilance, glycemic control

PENDAHULUAN

Diabetes mellitus merupakan salah satu tantangan kesehatan global dengan prevalensi yang terus meningkat serta membawa beban morbiditas, mortalitas, dan biaya kesehatan yang tinggi (Demirkol et al., 2022). Kompleksitas pengelolaan terapi diabetes, khususnya dalam menjaga kestabilan glukosa darah, menjadikan proses penyesuaian dosis obat dan insulin sebagai komponen yang sangat krusial dalam praktik klinis. Variabilitas respons antarindividu, perubahan gaya hidup, progresivitas penyakit, dan keberadaan komorbiditas menyebabkan penentuan dosis optimal tidak dapat ditetapkan secara statis maupun universal (Zale et al., 2024). Kebutuhan terhadap teknologi yang mampu melakukan penyesuaian terapi secara adaptif dan presisi dengan demikian semakin meningkat.

Perkembangan kecerdasan artifisial telah dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas tata laksana diabetes melalui sistem prediksi glukosa, optimasi dosis, serta pemantauan keamanan obat secara lebih efektif (Dave et al., 2025). Model machine learning dan deep learning telah digunakan untuk memanfaatkan data continuous glucose monitoring, rekam medis elektronik, dan biomarker guna mengestimasi tren glukosa serta menghasilkan rekomendasi terapi yang lebih akurat (Jacobs et al., 2024). Peningkatan kendali glikemik, termasuk peningkatan time in range dan penurunan kadar HbA1c, telah dilaporkan dalam berbagai meta analisis intervensi berbasis AI pada populasi klinis (Elmotia et al., 2025).

Perkembangan obat antidiabetik generasi baru seperti SGLT2 inhibitor telah dikaitkan dengan manfaat klinis yang signifikan, dan risiko efek samping seperti euglycemic diabetic ketoacidosis serta gangguan hemodinamik juga telah dilaporkan (Bellapu & Darwin, 2025). Kebutuhan terhadap sistem pemantauan keamanan yang lebih canggih dengan demikian semakin mengemuka. Pendekatan pharmacovigilance berbasis natural language processing dan Bayesian networks telah dikembangkan untuk mengidentifikasi pola adverse drug reactions secara lebih cepat dibandingkan metode manual (Nagar et al., 2025) (Saikia et al.,

2022). Peran kecerdasan artifisial dalam meningkatkan deteksi dini dan mitigasi risiko obat antidiabetik semakin diperkuat melalui pendekatan generative AI (Mishra & Gupta, 2025).

Berbagai kendala implementasi masih dihadapi dalam penerapan kecerdasan artifisial pada terapi diabetes, termasuk bias data, keterbatasan validasi dunia nyata, rendahnya interpretabilitas model, serta isu etika dan perlindungan data (Ghislat et al., 2024) (Poweleit et al., 2023). Regulasi seperti MDR dan GDPR serta kebijakan nasional terkait AI di bidang kesehatan telah menimbulkan tantangan tambahan dalam aspek keamanan dan akuntabilitas algoritme (Jain et al., 2025). Kebutuhan terhadap kerangka tata kelola yang komprehensif serta desain AI yang fairness aware, explainable, dan dapat diaudit semakin ditekankan dalam konteks ini (Hossmann et al., 2025).

Perkembangan riset yang pesat dan kompleksitas tantangan klinis serta regulatori menunjukkan perlunya tinjauan ruang lingkup scoping review untuk memetakan pemanfaatan AI dalam optimasi dosis dan pemantauan keamanan obat antidiabetik. Melalui pendekatan tersebut, pemetaan komprehensif terhadap jenis model AI yang digunakan, efektivitas klinisnya, kemampuan deteksi efek samping, serta tantangan implementasi dapat dilakukan secara sistematis (Syrowatka et al., 2022) (Bai et al., 2026). Arah pengembangan masa depan sistem AI dalam terapi diabetes juga dapat diidentifikasi secara terstruktur melalui sintesis literatur yang tersedia (Othman et al., 2025).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain scoping review untuk memetakan perkembangan pemanfaatan kecerdasan artifisial dalam optimasi dosis dan pemantauan keamanan obat antidiabetik. Proses identifikasi literatur dilakukan melalui basis data Scopus yang diakses melalui scopus.com. Strategi pencarian disusun menggunakan kombinasi kata kunci dan operator Boolean pada kolom TITLE-ABS-KEY untuk memastikan relevansi terhadap judul, abstrak, dan kata kunci artikel.

String pencarian yang digunakan adalah sebagai berikut:

TITLE-ABS-KEY (("kecerdasan artifisial" OR "artificial intelligence" OR AI) AND ("optimasi dosis" OR "dose optimization" OR "dosing") AND ("pemantauan keamanan" OR "safety monitoring" OR "safety assessment" OR "drug safety") AND ("obat antidiabetik" OR "antidiabetic drug" OR "diabetes medication" OR "antidiabetic agent"))

Kriteria inklusi ditetapkan sebagai artikel penelitian yang dipublikasikan dalam bahasa Inggris, berfokus pada subjek manusia, dan tersedia dalam akses terbuka. Rentang tahun publikasi dibatasi pada periode 2021 hingga 2026 untuk merepresentasikan perkembangan terkini. Jenis dokumen dibatasi pada artikel penelitian untuk memastikan kualitas metodologis dan relevansi akademik.

Proses seleksi dilakukan melalui penelaahan judul dan abstrak untuk menilai kesesuaian dengan fokus penelitian, yaitu penerapan kecerdasan artifisial dalam optimasi dosis dan pemantauan keamanan obat antidiabetik. Artikel yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis secara naratif. Data yang diekstraksi meliputi desain studi, karakteristik populasi, jenis algoritme yang digunakan, domain aplikasi klinis, serta luaran efektivitas dan keamanan terapi yang dilaporkan.

HASIL

Proses penelusuran literatur melalui basis data Scopus menghasilkan sejumlah artikel yang relevan dengan topik penelitian. Setelah dilakukan penyaringan berdasarkan tahun publikasi, jenis dokumen, bahasa, subjek penelitian manusia, serta ketersediaan akses terbuka, diperoleh 18 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis lebih lanjut. Seluruh artikel tersebut dievaluasi secara naratif untuk mengidentifikasi karakteristik metodologis, jenis algoritme kecerdasan artifisial yang digunakan, serta luaran klinis yang dilaporkan terkait optimasi dosis dan pemantauan keamanan obat antidiabetik.

Penerapan AI untuk Optimasi Dosis Antidiabetik

Optimasi dosis antidiabetik berbasis AI berorientasi pada individualisasi terapi melalui pemodelan hubungan non linear antara karakteristik pasien, farmakokinetika, farmakodinamika, dan respons glikemik. Model supervised machine learning seperti

random forest, support vector machine, extreme gradient boosting, dan mixed effects random forest digunakan untuk memprediksi kebutuhan insulin basal dan bolus berdasarkan usia, indeks massa tubuh, fungsi ginjal, durasi diabetes, dan profil HbA1c (Zou et al., 2023) (Hayakawa et al., 2025).

Pendekatan deep learning, terutama long short term memory dan gated recurrent unit, digunakan untuk memproses data time series dari continuous glucose monitoring sehingga menghasilkan prediksi glukosa jangka pendek dengan kesalahan absolut rata rata yang lebih rendah dibanding model regresi linear (Tan et al., 2025a). Prediksi tersebut menjadi dasar sistem rekomendasi dosis insulin berbasis algoritme adaptif.

Reinforcement learning diterapkan pada sistem closed loop insulin untuk menghasilkan kebijakan pengambilan keputusan berbasis reward function yang memaksimalkan time in range dan meminimalkan risiko hipoglikemia (Panagiotou et al., 2025). Model deep reinforcement learning berbasis klustering fenotip klinis juga digunakan untuk mengoptimalkan terapi kombinasi pada diabetes melitus tipe 2 (Oh et al., 2022). Meta analisis uji klinis terkontrol menunjukkan peningkatan signifikan pada kontrol glikemik serta reduksi variabilitas glukosa pada intervensi berbasis AI dibanding perawatan standar (Elmotia et al., 2025).

Tabel 1. Model AI untuk Optimasi Dosis Antidiabetik

Pendekatan AI	Aplikasi Farmakoterapi	Jenis Data	Luaran Klinis Utama
Random forest, SVM, gradient boosting	Prediksi kebutuhan dosis insulin dan respons HbA1c	Data klinis, laboratorium, riwayat terapi	Akurasi prediksi dosis meningkat, identifikasi plateau effect
LSTM, artificial neural network	Prediksi glukosa real time untuk penyesuaian dosis	Continuous glucose monitoring	Stabilitas glukosa, penurunan variabilitas
Reinforcement learning	Sistem insulin closed loop adaptif	Data CGM longitudinal	Peningkatan time in range, penurunan HbA1c

Pendekatan farmakometrik berbasis AI mulai mengintegrasikan model population pharmacokinetic pharmacodynamic dengan machine learning untuk memprediksi respons

dosis DPP 4 inhibitor dan GLP 1 receptor agonist secara individual (Hayakawa et al., 2025). Integrasi tersebut memperkuat pendekatan precision pharmacotherapy dalam praktik farmasi klinik.

AI dalam Pemantauan Keamanan dan Farmakovigilans Antidiabetik

Implementasi AI dalam pharmacovigilance antidiabetik mencakup deteksi sinyal, klasifikasi risiko, dan analisis kausalitas. Machine learning berbasis supervised classification digunakan untuk mengidentifikasi pola adverse drug reaction pada database farmakovigilans nasional dan internasional (Syrowatka et al., 2022). Natural language processing mengekstraksi informasi efek samping dari catatan klinis tidak terstruktur sehingga meningkatkan sensitivitas signal detection (Salas et al., 2022) (Aronson, 2022).

Bayesian network dan model probabilistik digunakan untuk mengevaluasi hubungan sebab akibat antara penggunaan SGLT2 inhibitor dan kejadian ketoasidosis diabetik atau infeksi genitourinaria (Algarvio et al., 2025). Generative AI dan model simulasi digunakan untuk memprediksi kejadian langka berdasarkan pola multidimensi dataset besar (Mishra & Gupta, 2025).

Pendekatan tersebut memungkinkan identifikasi risiko lebih awal dibanding metode disproportionality konvensional. Implementasi AI juga mendukung stratifikasi risiko pasien berdasarkan komorbiditas dan terapi kombinasi sehingga farmasis klinik dapat melakukan intervensi preventif berbasis data.

Tabel 2. Aplikasi AI dalam Keamanan Obat Antidiabetik

Teknologi	Sumber Data	Fokus Analisis	Keunggulan Klinis
Supervised ML	Database ADR nasional	Prediksi sinyal risiko	Sensitivitas lebih tinggi
NLP	EHR dan teks bebas	Ekstraksi ADR	Otomasi dan efisiensi
Bayesian network	Laporan keamanan	Analisis kausalitas	Evaluasi lebih cepat
Generative AI	Dataset multidimensi	Prediksi kejadian langka	Deteksi risiko kompleks

Integrasi AI dalam Manajemen Farmakoterapi Diabetes

Integrasi AI dalam sistem manajemen diabetes mencakup clinical decision support system, prediksi komplikasi, dan monitoring kepatuhan terapi. Model deep learning

memprediksi risiko nefropati diabetik dan retinopati berdasarkan kombinasi parameter metabolik dan citra diagnostik (Tan et al., 2025a) (Nimri et al., 2025).

Algoritme prediktif digunakan untuk mengidentifikasi pasien dengan risiko inappropriate dosing akibat penurunan fungsi ginjal atau interaksi obat sehingga mendukung optimalisasi terapi pada populasi geriatri 19. Integrasi AI dengan wearable devices memungkinkan pemantauan aktivitas fisik, pola makan, dan respons glikemik secara longitudinal.

Clinical decision support berbasis AI menyediakan rekomendasi terapi lini kedua atau ketiga berdasarkan profil risiko kardiovaskular dan metabolik pasien. Pendekatan tersebut mendukung peran farmasis dalam medication therapy management berbasis data dan luaran klinis.

Tabel 3. Aplikasi AI dalam Keamanan Obat Antidiabetik

Domain	Aplikasi	Dampak pada Luaran
Prediksi komplikasi	DL berbasis data klinis dan imaging	Deteksi dini nefropati dan retinopati
Clinical decision support	Algoritme rekomendasi terapi	Pemilihan obat berbasis risiko
Monitoring kepatuhan	Analitik wearable dan EHR	Stabilitas kontrol glikemik
Identifikasi dosing berisiko	ML berbasis eGFR dan komorbid	Pencegahan toksisitas

Keterbatasan Metodologis dan Arah Pengembangan

Keterbatasan metodologis pada penelitian kecerdasan artifisial dalam farmakoterapi antidiabetik terutama berkaitan dengan dominasi desain retrospektif dan penggunaan dataset sekunder yang tervalidasi secara internal saja (Nagar et al., 2025) (Barbieri et al., 2026). Validasi eksternal pada populasi berbeda masih terbatas sehingga kemampuan generalisasi model terhadap variasi praktik klinis global belum sepenuhnya terkonfirmasi. Ukuran sampel pada beberapa studi juga relatif kecil dibanding kompleksitas variabel metabolik yang dianalisis, sehingga risiko overfitting dan optimism bias tetap relevan dalam interpretasi hasil.

Heterogenitas dataset menjadi tantangan signifikan dalam pengembangan model

prediktif. Variasi karakteristik populasi, perbedaan protokol terapi, ketidaksamaan sistem pencatatan elektronik, serta inkonsistensi definisi luaran klinis memengaruhi stabilitas performa algoritme antar pusat layanan kesehatan. Standarisasi parameter seperti definisi hipoglikemia, target HbA1c, dan klasifikasi komorbiditas belum sepenuhnya seragam di berbagai studi, sehingga komparabilitas hasil menjadi terbatas.

Aspek transparansi algoritme dan interpretabilitas klinis juga memerlukan perhatian khusus. Model berbasis deep learning sering beroperasi sebagai black box sehingga rasionalisasi klinis atas rekomendasi dosis atau prediksi risiko tidak selalu mudah dipahami oleh tenaga kesehatan. Keterbatasan interpretabilitas tersebut berimplikasi pada tingkat kepercayaan klinisi dan potensi hambatan adopsi dalam praktik farmasi rutin. Pendekatan explainable modeling diperlukan agar hubungan antara variabel klinis dan keluaran prediksi dapat ditelusuri secara rasional dan farmakologis.

Arah pengembangan ke depan menekankan validasi prospektif multisenter dengan desain pragmatik yang merefleksikan praktik klinis nyata (Pande et al., 2025) (Jafar & Pasqua, 2024). Integrasi data multimodal yang mencakup continuous glucose monitoring, electronic health records, data genomik, serta parameter gaya hidup diproyeksikan meningkatkan presisi model dan relevansi klinis. Kolaborasi multidisipliner antara farmasis, klinisi, ahli farmakometri, dan ilmuwan data menjadi faktor strategis dalam memastikan bahwa inovasi berbasis AI dapat ditranslasikan menjadi sistem pendukung keputusan yang aman, akuntabel, dan berbasis bukti dalam terapi antidiabetik.

DISKUSI

Hasil scoping review menunjukkan bahwa pemanfaatan kecerdasan artifisial untuk optimasi dosis antidiabetik berkembang secara signifikan melalui penerapan machine learning, deep learning, dan reinforcement learning. Model seperti random forest, mixed effects random forest, GPBoost, dan neural network telah digunakan untuk memodelkan hubungan dosis respons yang bersifat kompleks dan non linear, termasuk identifikasi

fenomena plateau yang sulit dideteksi melalui pendekatan statistik konvensional (Zou et al., 2023) (Hayakawa et al., 2025). Melalui pendekatan tersebut, pola respons farmakodinamik terhadap terapi antidiabetik dapat dianalisis secara lebih presisi sehingga individualisasi terapi berbasis karakteristik klinis pasien dapat ditingkatkan.

Terapi insulin berbasis reinforcement learning telah dirancang untuk menghasilkan rekomendasi dosis adaptif melalui pemrosesan umpan balik kadar glukosa kontinu. Sistem tersebut mengoptimalkan kontrol glikemik melalui mekanisme pembelajaran berbasis reward yang terintegrasi dengan data continuous glucose monitoring. Efektivitas strategi ini didukung oleh meta analisis uji klinis terkontrol teracak yang menunjukkan peningkatan time in range serta penurunan HbA1c dibandingkan pendekatan standar klinis (Elmotia et al., 2025) (Panagiotou et al., 2025). Temuan tersebut mengindikasikan bahwa algoritme adaptif berpotensi meningkatkan akurasi titrasi insulin secara individual.

Peran kecerdasan artifisial pada aspek keamanan obat terlihat melalui peningkatan efisiensi sistem pharmacovigilance. Teknik natural language processing telah dimanfaatkan untuk mengekstraksi laporan adverse drug reaction dari electronic health records dan individual case safety reports secara cepat dan sistematis (Salas et al., 2022) (Aronson, 2022). Pendekatan berbasis Bayesian juga telah diterapkan untuk mempercepat penilaian kausalitas ADR dari beberapa hari menjadi hitungan jam, terutama pada evaluasi obat antidiabetik dengan profil risiko spesifik seperti SGLT2 inhibitor (Algarvio et al., 2025). Generative AI turut digunakan untuk memetakan pola risiko multidimensional sehingga kapasitas deteksi sinyal keamanan menjadi lebih komprehensif (Mishra & Gupta, 2025).

Integrasi kecerdasan artifisial dalam manajemen diabetes menunjukkan dampak terhadap prediksi glukosa, pengambilan keputusan terapi, dan deteksi komplikasi. Sistem closed loop yang menggabungkan reinforcement learning atau deep learning telah meningkatkan stabilitas glikemik melalui penyesuaian insulin otomatis berbasis data kontinu. Algoritme pada perangkat continuous glucose monitoring menghasilkan prediksi

glukosa real time dengan akurasi lebih tinggi dibanding model konvensional (Tan et al., 2025a) (Nimri et al., 2025). Manfaat tersebut juga teridentifikasi pada populasi lanjut usia dan pasien dengan gangguan fungsi ginjal yang memiliki risiko tinggi terhadap inappropriate dosing sehingga memerlukan personalisasi terapi yang ketat (Xie et al., 2026). Peningkatan jumlah publikasi ilmiah di bidang ini menunjukkan bahwa kecerdasan artifisial diposisikan sebagai komponen strategis dalam pengembangan manajemen diabetes berbasis bukti (Tao et al., 2025).

Sejumlah tantangan metodologis dan regulatori masih perlu dianalisis secara kritis. Bias data, keterbatasan transparansi algoritme, serta ketidakmerataan representasi populasi dapat memengaruhi validitas dan generalisasi model (Nagar et al., 2025). Sebagian model belum melalui validasi eksternal maupun uji klinis prospektif sehingga bukti berbasis praktik nyata masih terbatas. Aspek explainability, auditabilitas, dan interoperabilitas sistem data menjadi determinan penting dalam kesiapan implementasi klinis. Studi farmakovigilans berbasis real world data juga menekankan perlunya standar evaluasi yang lebih ketat untuk menjamin keamanan dan akuntabilitas sistem kecerdasan artifisial (Dimitsaki et al., 2024).

Pengembangan selanjutnya mengarah pada model multimodal, digital twin, dan federated AI yang diproyeksikan meningkatkan presisi personalisasi terapi serta memperkuat pemantauan risiko secara proaktif (Tan et al., 2025b). Implementasi yang aman dan berkelanjutan memerlukan validasi multisenter, integrasi electronic health records berkualitas tinggi, serta penerapan prinsip trustworthy AI yang memperhatikan aspek etis dan regulatori. Dengan pendekatan tersebut, kecerdasan artifisial berpotensi memperkuat optimasi dosis dan keamanan obat antidiabetik secara sistematis dalam praktik farmasi klinik berbasis bukti.

SIMPULAN

Kecerdasan artifisial memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan ketepatan dosis dan keamanan penggunaan obat antidiabetik. Berbagai model berbasis machine learning, deep learning, dan

reinforcement learning mendukung pengambilan keputusan klinis melalui analisis hubungan dosis respons yang kompleks dan dinamis. Integrasi teknologi komputasional dalam sistem farmakovigilans meningkatkan efisiensi deteksi serta evaluasi efek samping obat secara sistematis dan terstruktur.

Penerapan kecerdasan artifisial dalam manajemen diabetes mencakup penggunaan sistem closed loop insulin dan prediksi glukosa berbasis continuous glucose monitoring. Sistem tersebut meningkatkan stabilitas glikemik dan menurunkan risiko komplikasi. Pendekatan adaptif memungkinkan personalisasi terapi sesuai karakteristik klinis pasien.

Implementasi kecerdasan artifisial masih menghadapi tantangan yang berkaitan dengan kualitas dan representativitas data, potensi bias algoritmik, keterbatasan validasi prospektif, serta kompleksitas regulasi. Pengembangan model multimodal, penerapan prinsip explainable AI, dan pelaksanaan penelitian multisenter prospektif diperlukan untuk memastikan adopsi yang aman, etis, dan efektif. Keberhasilan transformasi terapi antidiabetik berbasis kecerdasan artifisial bergantung pada kesiapan sistem kesehatan dan tata kelola yang mendukung inovasi berbasis bukti.

SARAN

Penelitian selanjutnya perlu dilakukan melalui desain prospektif multisenter dengan populasi yang representatif agar validitas eksternal dan generalisasi model dapat ditingkatkan. Standarisasi variabel klinis, definisi luaran, serta parameter evaluasi kinerja algoritme perlu ditetapkan untuk meningkatkan komparabilitas antar studi. Validasi berbasis real world data juga perlu diperluas untuk memastikan kinerja model pada praktik klinis sehari-hari.

Pengembangan model kecerdasan artifisial perlu diarahkan pada integrasi data multimodal yang mencakup rekam medis elektronik, continuous glucose monitoring, parameter laboratorium, serta data gaya hidup. Penerapan prinsip explainable AI perlu diprioritaskan agar interpretabilitas klinis dan

kepercayaan tenaga kesehatan terhadap sistem pendukung keputusan dapat ditingkatkan. Mekanisme audit algoritme dan pemantauan kinerja secara berkala juga perlu diimplementasikan untuk menjaga keamanan dan akurasi sistem.

Institusi pelayanan kesehatan dan regulator perlu menyusun kerangka tata kelola yang jelas terkait validasi, sertifikasi, keamanan data, dan tanggung jawab hukum dalam penggunaan kecerdasan artifisial. Kolaborasi antara farmasis, klinisi, ilmuwan data, dan pembuat kebijakan perlu diperkuat untuk memastikan bahwa inovasi teknologi selaras dengan kebutuhan klinis dan prinsip keselamatan pasien.

Penguatan kapasitas sumber daya manusia melalui pelatihan literasi data dan pemahaman dasar kecerdasan artifisial perlu dilakukan agar implementasi sistem dapat berjalan efektif. Dengan langkah tersebut, pemanfaatan kecerdasan artifisial dalam optimasi dosis dan keamanan obat antidiabetik dapat diterapkan secara bertanggung jawab dan berkelanjutan dalam sistem pelayanan kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Algarvio, R. C., Conceição, J., Rodrigues, P. P., Ribeiro, I., & Ferreira-da-Silva, R. (2025). Artificial intelligence in pharmacovigilance: a narrative review and practical experience with an expert-defined Bayesian network tool. *International Journal of Clinical Pharmacy*, 47(4), 932–944. <https://doi.org/10.1007/s11096-025-01975-3>
- Aronson, J. K. (2022). Artificial Intelligence in Pharmacovigilance: An Introduction to Terms, Concepts, Applications, and Limitations. *Drug Safety*, 45(5), 407–418. <https://doi.org/10.1007/s40264-022-01156-5>
- Bai, B., Liu, X., & Li, H. (2026). Federated multimodal AI for precision-equitable diabetes care. *Frontiers in Digital Health*, 7. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2025.1678047>
- Barbieri, M. A., Battini, V., Carnovale, C., Cocco, M., Papoutsis, D. G., Heckmann, N. S., Dong, G., Rossi, A., Peker, S., Van Manen, R. P., Thapar, S., & Sessa, M. (2026). Artificial intelligence in pharmacovigilance signal management: a review of tools, implementations, research, and regulatory landscape. *Expert Opinion on Drug Safety*, 25(2), 207–222. <https://doi.org/10.1080/14740338.2025.2545926>
- Bellapu, D., & Darwin, R. (2025). Sodium glucose co-transporter 2 inhibitors safety depending on their adverse drug reactions and glucose monitoring parameters in type 2 diabetes mellitus. *Indian Journal of Pharmacology*, 57(5), 329–333. https://doi.org/10.4103/ijp.ijp_924_24
- Dave, R., Irfan, N., Dave, S., & Bandil, D. (2025). AI and its role in predictive preclinical models for drug efficacy testing. In *Artificial Intelligence in Biomedical and Modern Healthcare Informatics* (pp. 157–163). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21870-5.00015-7>
- Demirkol, D., Koçoğlu, F., Aktaş, Ş., & Selçukcan Erol, Ç. (2022). A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN DIABETES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE. *Journal of Istanbul Faculty of Medicine / İstanbul Tıp Fakültesi Dergisi*, 85(2), 249–257. <https://doi.org/10.26650/IUITFD.928111>
- Dimitsaki, S., Natsiavas, P., & Jaulent, M.-C. (2024). Applying AI to Structured Real-World Data for Pharmacovigilance Purposes: Scoping Review. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e57824. <https://doi.org/10.2196/57824>
- Elmotia, K., Abouyaala, O., Bougrine, S., & Ouahidi, M. L. (2025). Effectiveness of AI-driven interventions in glycemic control: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Primary Care Diabetes*, 19(4), 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.pcd.2025.05.004>
- Ghislat, G., Hernandez-Hernandez, S., Piyawajanusorn, C., & Ballester, P. J. (2024). Data-centric challenges with the application and adoption of artificial intelligence for drug discovery. *Expert Opinion on Drug Discovery*, 19(11), 1297–1307. <https://doi.org/10.1080/17460441.2024.2403639>
- Hayakawa, T., Akimoto, H., Nagashima, T., Minagawa, K., Takahashi, Y., & Asai, S. (2025). Association between daily dose of dipeptidyl peptidase-4 inhibitors and change in glycated hemoglobin in patients with type 2 diabetes: interpretation of mixed-effects machine-learning models using electronic medical records. *BMC Pharmacology and Toxicology*, 26(1), 214. <https://doi.org/10.1186/s40360-025-01055-2>
- Hossmann, S., Ballhausen, H., & Rothenbühler, M. (2025). Rahmenbedingungen der künstlichen Intelligenz in der Diabetologie. *Die*

- Diabetologie*, 21(6), 687–694.
<https://doi.org/10.1007/s11428-025-01356-4>
- Jacobs, P. G., Herrero, P., Facchinetti, A., Vehi, J., Kovatchev, B., Breton, M. D., Cinar, A., Nikita, K. S., Doyle, F. J., Bondia, J., Battelino, T., Castle, J. R., Zarkogianni, K., Narayan, R., & Mosquera-Lopez, C. (2024). Artificial Intelligence and Machine Learning for Improving Glycemic Control in Diabetes: Best Practices, Pitfalls, and Opportunities. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 17, 19–41.
<https://doi.org/10.1109/RBME.2023.3331297>
- Jafar, A., & Pasqua, M. (2024). Postprandial glucose-management strategies in type 1 diabetes: Current approaches and prospects with precision medicine and artificial intelligence. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 26(5), 1555–1566.
<https://doi.org/10.1111/dom.15463>
- Jain, A., Salas, M., Aimer, O., & Adenwala, Z. (2025). Safeguarding Patients in the AI Era: Ethics at the Forefront of Pharmacovigilance. *Drug Safety*, 48(2), 119–127.
<https://doi.org/10.1007/s40264-024-01483-9>
- Mishra, H. P., & Gupta, R. (2025). Leveraging Generative AI for Drug Safety and Pharmacovigilance. *Current Reviews in Clinical and Experimental Pharmacology*, 20(2), 89–97.
<https://doi.org/10.2174/0127724328311400240823062829>
- Nagar, A., Gobburu, J., & Chakravarty, A. (2025). Artificial intelligence in pharmacovigilance: advancing drug safety monitoring and regulatory integration. *Therapeutic Advances in Drug Safety*, 16.
<https://doi.org/10.1177/20420986251361435>
- Nimri, R., Phillip, M., Clements, M. A., & Kovatchev, B. (2025). Closed-Loop, Artificial Intelligence-Based Decision Support Systems, and Data Science. *Diabetes Technology & Therapeutics*, 27(S1), S64–S78.
<https://doi.org/10.1089/dia.2025.8805.rev>
- Oh, S. H., Lee, S. J., & Park, J. (2022). Effective data-driven precision medicine by cluster-applied deep reinforcement learning. *Knowledge-Based Systems*, 256, 109877.
<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.109877>
- Othman, Z. K., Nabashaho, P. M., Ojugbeli, E., Olpengs, D., Mustaf Ahmed, M., & Lucero-Priso III, D. E. (2025). Advancing pharmacovigilance through artificial intelligence: A review of applications and ethical considerations. *Annals of Tropical Research*, 47(2), 290.
<https://doi.org/10.32945/atr47218.2025>
- Panagiotou, M., Strømmen, K., Brigato, L., de Galan, B. E., & Mougiakakou, S. (2025). Role of artificial intelligence in enhancing insulin recommendations and therapy outcomes. *Die Diabetologie*, 21(6), 695–703.
<https://doi.org/10.1007/s11428-025-01332-y>
- Pande, A., Kumar, A., & Anjankar, A. (2025). Harnessing artificial intelligence for theragnostic applications: Current landscape and future directions. *Multidisciplinary Reviews*, 8(7), 2025218.
<https://doi.org/10.31893/multirev.2025218>
- Poweleit, E. A., Vinks, A. A., & Mizuno, T. (2023). Artificial Intelligence and Machine Learning Approaches to Facilitate Therapeutic Drug Management and Model-Informed Precision Dosing. *Therapeutic Drug Monitoring*, 45(2), 143–150.
<https://doi.org/10.1097/FTD.0000000000001078>
- Saikia, S., Prajapati, J. B., Prajapati, B. G., Padma, V. V., & Pathak, Y. V. (2022). The Role of Artificial Intelligence in Therapeutic Drug Monitoring and Clinical Toxicity. In *Recent Advances in Therapeutic Drug Monitoring and Clinical Toxicology* (pp. 67–85). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-12398-6_5
- Salas, M., Petracek, J., Yalamanchili, P., Aimer, O., Kasthuril, D., Dhingra, S., Junaid, T., & Bostic, T. (2022). The Use of Artificial Intelligence in Pharmacovigilance: A Systematic Review of the Literature. *Pharmaceutical Medicine*, 36(5), 295–306.
<https://doi.org/10.1007/s40290-022-00441-z>
- Syrowatka, A., Song, W., Amato, M. G., Foer, D., Edrees, H., Co, Z., Kuznetsova, M., Dulgarian, S., Seger, D. L., Simona, A., Bain, P. A., Purcell Jackson, G., Rhee, K., & Bates, D. W. (2022). Key use cases for artificial intelligence to reduce the frequency of adverse drug events: a scoping review. *The Lancet Digital Health*, 4(2), e137–e148.
[https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(21\)00229-6](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(21)00229-6)
- Tan, S., Lee-Barkey, Y. H., Kulzer, B., Hermanns, N., & Ehrmann, D. (2025a). Das Potenzial von künstlicher Intelligenz in der Diabetologie. *Die Diabetologie*, 21(6), 711–717.
<https://doi.org/10.1007/s11428-025-01362-6>
- Tan, S., Lee-Barkey, Y. H., Kulzer, B., Hermanns, N., & Ehrmann, D. (2025b). Das Potenzial von künstlicher Intelligenz in der Diabetologie. *Die Diabetologie*, 21(6), 711–717.
<https://doi.org/10.1007/s11428-025-01362-6>
- Tao, Y., Hou, J., Zhou, G., & Zhang, D. (2025). Artificial intelligence applied to diabetes complications: a bibliometric analysis.

- Frontiers in Artificial Intelligence*, 8. <https://doi.org/10.3389/frai.2025.1455341>
- Xie, T., Wang, Z., He, J., & Zhang, J. (2026). Applications of AI in the management of elderly diabetes patients. *Ageing Research Reviews*, 114, 102960. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2025.102960>
- Zale, A. D., Abusamaan, M. S., & Mathioudakis, N. (2024). Introduction to Artificial Intelligence in Diabetes. In *Diabetes Digital Health, Telehealth, and Artificial Intelligence* (pp. 249–261). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13244-5.00019-5>
- Zou, X., Liu, Y., & Ji, L. (2023). Review: Machine learning in precision pharmacotherapy of type 2 diabetes—A promising future or a glimpse of hope? *DIGITAL HEALTH*, 9. <https://doi.org/10.1177/20552076231203879>