

## EDITORIAL

## Transformasi Perawatan Kaki Diabetik: Integrasi Teknologi Digital dan *Artificial Intelligence* Untuk Masa Depan Keperawatan

*Transformation of Diabetic Foot Care: Integration of Digital Technology and Artificial Intelligence for the Future of Nursing*

Rima Nova Putri<sup>1</sup>, Rian Yuliyana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Keperawatan, Poltekkes Kemenkes Tanjungpinang

E-mail Korespondensi: [rimaenpe87@gmail.com](mailto:rimaenpe87@gmail.com)

### ABSTRACT

*The use of digital technology and artificial intelligence (AI) is accelerating the transformation of diabetic foot care. This presents significant opportunities in areas such as early detection, remote care monitoring, and more accurate clinical decision-making. Various innovations such as mobile applications, telehealth, machine learning algorithms, and wearable devices have shown potential in improving the quality of care, accelerating healing, and reducing the rate of complications and amputations. However, the implementation of these technologies poses various challenges, such as the availability of clinical validation, data security and privacy issues, the readiness and competence of healthcare workers, and the disparity in digital access across regions. This editorial discusses the opportunities, challenges, and impacts on healthcare, research, and policy from the integration of digital technology and AI in diabetic foot care. The editorial emphasizes the need for interdisciplinary collaboration, strong regulations, digital literacy competencies, and ongoing research to ensure the safe, effective, and inclusive adoption of digital technology and AI in nursing practice. The integration of digital technology and AI have significant potential to optimize the quality of diabetic foot care and improve outcomes for diabetes patients in the future.*

**Keywords:** Artificial Intelligence, Diabetic Foot, Digital Health, Health transformation in Nursing

### ABSTRAK

Penggunaan teknologi digital dan kecerdasan buatan (AI) mempercepat transformasi perawatan kaki diabetik. Hal ini memberikan peluang signifikan dalam berbagai hal seperti: deteksi dini, pemantauan perawatan jarak jauh, dan pengambilan keputusan klinis yang lebih akurat. Berbagai macam inovasi seperti aplikasi pada seluler, *telehealth*, algoritma *machine learning*, serta perangkat *wearable* telah menunjukkan potensi dalam meningkatkan kualitas perawatan, mempercepat penyembuhan, dan menekan angka komplikasi serta amputasi. Meskipun demikian, implementasi teknologi ini memiliki berbagai tantangan seperti: ketersediaan validasi klinis, isu keamanan dan privasi data, kesiapan dan kompetensi tenaga kesehatan, dan kesenjangan akses digital di berbagai daerah. Editorial ini membahas peluang, tantangan, dan dampak pada pelayanan kesehatan, penelitian dan kebijakan dari integrasi teknologi digital dan AI dalam perawatan kaki diabetik. Editorial ini menekankan perlunya kolaborasi lintas disiplin, regulasi yang kuat, kompetensi literasi digital, serta penelitian berkelanjutan untuk memastikan bahwa teknologi digital dan AI dapat diadopsi secara aman, efektif, dan inklusif dalam pelayanan praktik keperawatan. Integrasi teknologi digital dan AI memiliki potensi besar untuk mengoptimalkan kualitas pelayanan keperawatan kaki diabetik dan meningkatkan *outcome* pasien diabetes di masa depan.

**Kata kunci:** Kaki Diabetik, Kecerdasan Buatan, Teknologi Digital, Transformasi Perawatan

## PENDAHULUAN

Dunia saat ini menghadapi tantangan global dalam masalah kesehatan akibat bencana yang dihasilkan penyakit kronis diabetes melitus.<sup>(1)</sup> Diabetes melitus merupakan penyakit kronis yang terjadi di seluruh dunia dan menghasilkan berbagai komplikasi yang serius.<sup>(2)</sup> Kaki diabetik merupakan salah satu komplikasi serius pada pasien diabetes melitus.<sup>(3)</sup>

Secara global prevalensi kaki diabetik pada diabetes melitus sekitar 6,3%.<sup>(4)</sup> Pasien diabetes melitus memiliki resiko untuk mengembangkan kaki diabetik selama hidupnya diperkirakan antara 19%-34%.<sup>(5)</sup> Di Indonesia, prevalensi kaki diabetik diperkirakan sebesar 15%,<sup>(6)</sup> dengan konsekuensi klinis yang meliputi ulkus kronis, infeksi berat, rawat inap berulang, biaya perawatan yang tinggi, dan risiko amputasi yang signifikan.<sup>(3)</sup>

Strategi pencegahan yang proaktif dan intervensi deteksi dini yang dapat diimplementasikan pada tingkat primer dan komunitas diperlukan untuk menekan angka morbiditas dan mortalitas kaki diabetik.<sup>(3)</sup> Percepatan adopsi teknologi digital dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/ AI*) dalam manajemen kaki diabetik terjadi pada rentang periode 2020-2025 ini. *AI* dan *machine learning algorithms* digunakan dalam berbagai tindakan seperti klasifikasi gambar luka, segmentasi ulkus, serta prediksi risiko penyembuhan luka.<sup>(7)</sup> Sementara itu, aplikasi seluler, *telehealth*, dan perangkat *wearable* seperti : *smart insoles* dan sensor suhu plantar, makin diujicobakan pada penelitian terkait monitoring perawatan berbasis rumah dan penguatan *self-care* pasien.<sup>(7,8)</sup>

Reviu sistematis dan meta-analisis terbaru juga menunjukkan bahwa beberapa modalitas tambahan seperti *extracorporeal shock wave therapy* (ESWT) memberikan hasil yang menjanjikan pada penyembuhan ulkus ketika dikombinasikan dengan perawatan standar.<sup>(9)</sup> Sedangkan, evaluasi terkait *cost-effectiveness* dan studi pragmatis terhadap *wearable/smart insole* mulai menunjukkan hasil untuk dapat diimplementasikan pada skala yang lebih luas. Namun, terdapat beberapa tantangan nyata terkait integrasi teknologi digital dan *AI* pada perawatan kaki diabetik seperti validasi klinis algoritma *AI*, isu privasi dan keamanan data pasien, kesenjangan akses teknologi di daerah terluar, serta kompetensi digital tenaga keperawatan agar teknologi dapat diintegrasikan secara aman dan efektif ke praktik sehari-hari.<sup>(9,10)</sup>

Editorial ini mengemukakan bahwa transformasi perawatan kaki diabetik idealnya tidak hanya menekankan teknologi semata. Namun, sebaiknya juga mengutamakan kompetensi perawat, protokol penggunaan, keamanan data dan riset terkait implementasi di berbagai daerah. Dengan demikian, teknologi dapat menjadi alat kerja perawat dan pasien, bukan hanya sekadar teknologi tanpa manfaat klinis yang terukur.

## PELUANG TEKNOLOGI DIGITAL DAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) PADA PERAWATAN KAKI DIABETIK

Ada beberapa peluang teknologi digital dan *artificial intelligence* pada perawatan kaki diabetik antara lain *machine learning*, *telehealth*, aplikasi berbasis seluler serta prediksi prognostik. *Machine learning algorithms* dan *AI* menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengklasifikasikan gambaran luka, segmentasi area ulkus, dan mengklasifikasikan tingkat keparahan luka pada kaki pasien diabetes melitus. Hal ini dapat mempercepat triase luka dan menentukan rujukan. Deteksi dini dan klasifikasi luka serta pengobatannya lebih cepat dan objektif sehingga memungkinkan langkah pencegahan lebih dini sebelum perkembangan kaki diabetik yang memerlukan amputasi.<sup>(7)</sup>

Perawatan jarak jauh dan *telehealth* dapat mengurangi beban kunjungan tatap muka, dan memungkinkan tindak lanjut lebih sering. Pada beberapa studi, hal ini berhubungan dengan penurunan angka amputasi serta perbaikan kontrol glikemik dan biaya perawatan. *Telehealth* juga membuka akses layanan untuk daerah terpencil.<sup>(11)</sup> Pada

beberapa penelitian, kombinasi aplikasi berbasis seluler dengan *education-behavioral models* telah meningkatkan *self-efficacy* dan kepatuhan perawatan kaki (*self-care*), yang berdampak pada penurunan kejadian ulkus kaki diabetik berulang. Selain itu, aplikasi seluler dengan algoritma sederhana dapat membantu pasien untuk melakukan pemeriksaan mandiri secara berkala.<sup>(12)</sup>

Teknologi lain seperti rediksi prognostik dan pengambilan keputusan klinik dengan model digital melalui *machine learning algorithms* mampu menggabungkan gambaran, parameter klinis, dan biomarker untuk memperkirakan penyembuhan luka, risiko amputasi, dan kebutuhan intervensi bedah.<sup>(13)</sup>

#### **TANTANGAN TEKNOLOGI DIGITAL DAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) PADA PERAWATAN KAKI DIABETIK**

Teknologi digital dan *artificial intelligence* pada perawatan kaki diabetik memiliki beberapa tantangan dalam penggunaannya yang harus diantisipasi oleh pengguna antara lain kualitas dan representasi data, transparansi, validasi klinis dan regulasi, privasi dan keamanan data pengguna, kesenjangan akses dan literasi digital serta peran tenaga keperawatan dalam perubahan *workflow*. Kualitas dan representativitas data dimana penggunaan model AI sangat tergantung pada dataset pelatihan. Banyak studi yang masih menggunakan sampel kecil atau dataset yang tidak representatif (bias rasial/etnis, demografi, kualitas gambar). Ketidakseimbangan data dan anotasi yang tidak konsisten menghambat generalisasi model ke populasi luas.<sup>(13)</sup>

Tantangan lainnya adalah transparansi, validasi klinis, dan regulasi. Banyak aplikasi komersial tidak menerbitkan metode segmentasi atau database pelatihan mereka sehingga sulit untuk mengecek klaim performa. Integrasi ke alur klinis memerlukan uji klinis prospektif, validasi multisentris, serta kepatuhan regulasi.<sup>(12)</sup> Selanjutnya, privasi dan keamanan data pengguna biasanya diperlukan seperti foto kaki diabetik. Pengumpulan foto kaki pasien, telekonsultasi, dan penggunaan *cloud* memunculkan risiko privasi. Solusi harus memenuhi standar perlindungan data kesehatan dan desain yang mengurangi risiko identitas/pencurian data.<sup>(13)</sup>

Salah satu tantangan yang masih dirasakan adalah adanya kesenjangan akses dan literasi digital. Kesenjangan akses dan literasi digital ini berhubungan erat dengan akses ekonomi, infrastruktur (internet), dan *literasi digital*, khususnya di negara berpenghasilan rendah/menengah. Ini menuntut pendekatan yang inklusif dan opsi non-digital tetap tersedia.<sup>(12)</sup> Tantangan selanjutnya adalah peran tenaga keperawatan dan perubahan *workflow*. AI bukan pengganti profesi keperawatan, tetapi mengubah tugas dan kompetensi yang dibutuhkan dari penilaian manual menjadi interpretasi hasil AI, advokasi pasien, edukasi, dan koordinasi perawatan jarak jauh. Perubahan ini membutuhkan pelatihan, protokol baru, dan pengakuan kompetensi.<sup>(13)</sup>

#### **DAMPAK PADA PELAYANAN KEPERAWATAN KESEHATAN, PENELITIAN DAN PEMBUAT KEBIJAKAN**

Penggunaan teknologi digital dan *artificial intelligence* (AI) pada perawatan kaki diabetik memiliki banyak dampak pada pelayanan keperawatan kesehatan, penelitian dan pembuat kebijakan. Pelayanan keperawatan kesehatan memiliki dampak yang baik antara lain peran tenaga kesehatan yang berkembang. Perawat akan lebih banyak berfungsi sebagai fasilitator *telemonitoring*, navigator teknologi, dan pengambil keputusan berbasis data sehingga memerlukan keterampilan digital dan pemahaman dasar AI.<sup>(11)</sup>

Penggunaan AI pada pasien dengan perawatan kaki diabetik membuat efisiensi pelayanan perawatan kesehatan dilihat dari penggunaan triase berbasis AI dan *telehealth*, sumber daya spesialis dapat dialokasikan ke kasus yang memang membutuhkan tindakan

segera sehingga menurunkan waktu tunggu dan biaya. Bukti meta-analisis menunjukkan *telehealth* dapat menurunkan amputasi dan biaya perawatan pada pasien kaki diabetik.<sup>(11)</sup>

Dampak langsung yang dirasakan oleh pasien, yaitu peningkatan kualitas hidup pasien. Pemantauan lebih intensif dan edukasi digital berpotensi meningkatkan kepatuhan perawatan kaki dan self efikasi sehingga mengurangi komplikasi dan memperbaiki *outcome* jangka panjang.<sup>(12)</sup> Hal ini bertolak belakang dengan kurangnya interaksi pasien dengan tenaga kesehatan sehingga kurang terjadinya bina hubungan saling percaya sehingga tidak dapat mengantikan pemahaman manusia yang mendalam tentang kebutuhan dan kekhawatiran pasien terhadap penyakitnya<sup>(14)</sup>

Dampak Penggunaan teknologi digital dan *Artificial intelligence* (AI) pada penelitian kesehatan adalah perlu dilakukan penelitian multisentris dan membangun data kondisi luka yang beragam dan standar, serta etnis dan usia yang bervariasi, uji klinis yang luas.<sup>(12)</sup> Dampak pembuat kebijakan kesehatan dengan meningkatnya penggunaan digital dan AI perlu dibuat standar penggunaan AI pada pelayanan kesehatan khususnya perawatan kaki diabetik, perlindungan data digital, dan kebijakan pembiayaan.<sup>(12)</sup>

## KESIMPULAN

Transformasi perawatan kaki diabetik melalui integrasi teknologi digital dan kecerdasan buatan membuka peluang besar untuk meningkatkan deteksi dini, mempercepat pengambilan keputusan klinis, dan memperluas akses layanan bagi pasien di berbagai konteks pelayanan kesehatan. Bukti-bukti terbaru menunjukkan bahwa AI, *telehealth*, aplikasi seluler, serta pemantauan berbasis sensor dapat menurunkan komplikasi serius, memperbaiki kualitas hidup, dan mendukung efisiensi sistem kesehatan. Namun demikian, pemanfaatan teknologi ini juga membawa tantangan penting, mulai dari validitas algoritma, keamanan data, kesenjangan akses digital hingga kesiapan tenaga keperawatan dalam mengadopsi peran baru di era digital.

Oleh karena itu, transformasi ini harus dibangun di atas kebijakan yang kuat, penelitian yang berkelanjutan, dan peningkatan kapasitas tenaga kesehatan. Diperlukan kerangka regulasi yang jelas, standar data yang terukur, serta investasi dalam literasi dan infrastruktur digital. Selain itu, penelitian masa depan perlu berfokus pada validasi klinis, analisis *cost-effectiveness*, dan pengembangan intervensi keperawatan yang berbasis teknologi namun tetap humanis. Dengan kolaborasi antara peneliti, klinisi, pembuat kebijakan, dan tenaga keperawatan, inovasi digital dapat diimplementasikan secara aman, efektif, dan inklusif sehingga benar-benar memberikan dampak nyata dalam menurunkan risiko ulkus, amputasi, dan beban penyakit diabetes di masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Perez JS, Hudson H, Araneta J, Bedell B, Aikins A de G, Dugas LR, et al. Colliding crises: The global diabetes pandemic meets climate change—A scoping review. Vol. 22, Journal of Climate Change and Health. Elsevier Masson s.r.l.; 2025.
2. Novia Putri R, Deliana M, Pusparianda D, Studi PD, Kemenkes Tanjungpinang P. Kadar Glukosa Darah, Diet dan Terapi Antihyperglikemia Pada Pasien Diabetes Melitus dengan Ulkus Diabetikum yang di Rawat Rumah Sakit Blood Glucose Level, Diet and Antihyperglycemic Therapy in Patient with Diabetes and Diabetic Ulcers in Hospital. JITKT;
3. Dias de Oliveira TC, de Oliveira AF, Araújo L de C, Moreira de Sena MP, Fagundes V de C, Rabelo Paixão PA, et al. Digital Health Technologies for Diabetic Foot Ulcers: A Systematic Review of Clinical Evidence, Access Inequities, and Public Health Integration. Vol. 22, International Journal of Environmental Research and Public Health. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2025.
4. Zhang P, Lu J, Jing Y, Tang S, Zhu D, Bi Y. Global epidemiology of diabetic foot ulceration: a systematic review and meta-analysis†. Vol. 49, Annals of Medicine. Taylor and Francis Ltd;

2017. p. 106–16.
5. Edmonds M, Manu C, Vas P. The current burden of diabetic foot disease. *J Clin Orthop Trauma*. 2021 Jun 1;17:88–93.
  6. Berti Anggraini R, Nurvinanda R. FAKTOR-FAKTOR YANG BERHUBUNGAN DENGAN TERJADINYA ULKUS DIABETIKUM PADA PENDERITA DIABETES MELITUS [Internet]. Available from: <http://jurnal.globalhealthsciencegroup.com/index.php/IJNHS>
  7. Silva MA, Hamilton EJ, Russell DA, Game F, Wang SC, Baptista S, et al. Diabetic Foot Ulcer Classification Models Using Artificial Intelligence and Machine Learning Techniques: Systematic Review. Vol. 27, *Journal of Medical Internet Research*. JMIR Publications Inc.; 2025.
  8. Rodriguez-León C, Villalonga C, Munoz-Torres M, Ruiz JR, Banos O. Mobile and wearable technology for the monitoring of diabetes-related parameters: Systematic review. Vol. 9, *JMIR mHealth and uHealth*. JMIR Publications Inc.; 2021.
  9. Wu F, Qi Z, Pan B, Tao R. Extracorporeal shock wave therapy (ESWT) favors healing of diabetic foot ulcers: A systematic review and meta-analysis. *Diabetes Res Clin Pract*. 2024 Nov;217:111843.
  10. Hajizadeh M, Matijevich E, Bray E, Minty E, Liden B. Exploring the Value of Continuous Plantar Temperature Monitoring for Diabetic Foot Health Management: Observational, Prospective Cohort Study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2025 Sep 12;13:e73187.
  11. Zhuang H ren, Yu HP, Gu YJ, Li LJ, Yao J li. The Effect of Telemedicine Interventions on Patients with Diabetic Foot Ulcers: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Adv Wound Care (New Rochelle)*. 2025 Mar 1;14(3):133–42.
  12. Griffa D, Natale A, Merli Y, Starace M, Curti N, Mussi M, et al. Artificial Intelligence in Wound Care: A Narrative Review of the Currently Available Mobile Apps for Automatic Ulcer Segmentation. Vol. 4, *BioMedInformatics*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024. p. 2321–37.
  13. Guan H, Wang Y, Niu P, Zhang Y, Zhang Y, Miao R, et al. The role of machine learning in advancing diabetic foot: a review. Vol. 15, *Frontiers in Endocrinology*. Frontiers Media SA; 2024.
  14. Hedderich, Dennis M., Keicher, Matthias, Wiestler, Benedikt, Gruber, Martin J., Burwinkel, Hendrik, Hinterwimmer, Florian, Czempel, Tobias, Spiro, Judith E., Pinto Dos Santos, Daniel, & Heim, Dominik. (2021). Ai For Doctors—A Course To Educate Medical Professionals In Artificial Intelligence For Medical Imaging. *Healthcare*, 9(10), 1278. Mdpi. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34682958/>