

EDITORIAL

Pemanfaatan Kecerdasan Buatan dibidang Kesehatan Lingkungan dalam Upaya Mencapai Tujuan Pembangunan yang Berkelanjutan

Utilisation of Artificial Intelligence in Environmental Health to Achieve Sustainable Development Goals

Indra Martias¹, Rinaldi Daswito¹

¹ Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Tanjungpinang

E-mail Korespondensi: indramartias@poltekkes-tanjungpinang.ac.id

ABSTRACT

The utilization of artificial intelligence (AI) in the field of environmental health is one of the important innovations for achieving sustainable development goals (SDGs). AI has enormous potential in monitoring air quality, managing waste, and mitigating environmental disasters such as forest fires and water pollution. However, the application of this technology in Indonesia still faces various challenges, including limited digital infrastructure, a lack of standardized environmental data, a lack of experts, and an inadequate regulatory framework. These barriers hinder the full potential of AI in supporting more effective and efficient environmental management. Synergies between the government, academia, the private sector, and society are necessary to overcome these challenges and create an ecosystem conducive to AI development. We must take strategic steps that support technological innovation, increase investment in digital infrastructure, and build human resource capacity. With this collaborative approach, AI can play a significant role in strengthening efforts to maintain environmental health, improve people's quality of life, and accelerate the achievement of sustainable development goals in Indonesia. This article provides a comprehensive insight into the potential, challenges, and solutions of AI implementation in environmental health as part of a sustainable development strategy.

Keywords: Artificial Intelligence, Environmental Health, Sustainable Development

ABSTRAK

Pemanfaatan kecerdasan buatan (artificial intelligence/AI) di bidang kesehatan lingkungan merupakan salah satu inovasi penting untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (sustainable development goals/SDGs). AI memiliki potensi yang sangat besar dalam memantau kualitas udara, mengelola limbah, dan memitigasi bencana lingkungan seperti kebakaran hutan dan pencemaran air. Namun, penerapan teknologi ini di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk infrastruktur digital yang terbatas, kurangnya data lingkungan yang terstandardisasi, kurangnya tenaga ahli, dan kerangka kerja regulasi yang tidak memadai. Hambatan-hambatan ini menghalangi potensi penuh AI dalam mendukung pengelolaan lingkungan yang lebih efektif dan efisien. Sinergi antara pemerintah, akademisi, sektor swasta, dan masyarakat diperlukan untuk mengatasi tantangan-tantangan ini dan menciptakan ekosistem yang kondusif untuk pengembangan AI. Kita harus mengambil langkah-langkah strategis yang mendukung inovasi teknologi, meningkatkan investasi dalam infrastruktur digital, dan membangun kapasitas sumber daya manusia. Dengan pendekatan kolaboratif ini, AI dapat memainkan peran yang signifikan dalam memperkuat upaya menjaga kesehatan lingkungan, meningkatkan kualitas hidup masyarakat, dan mempercepat pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Artikel ini memberikan wawasan yang komprehensif mengenai potensi, tantangan, dan solusi implementasi AI dalam kesehatan lingkungan sebagai bagian dari strategi pembangunan berkelanjutan.

Kata kunci: Kecerdasan Buatan, Kesehatan Lingkungan, Pembangunan Berkelanjutan

PENDAHULUAN

Kesehatan lingkungan menjadi perhatian dunia terutama di tengah ancaman perubahan iklim, urbanisasi yang pesat, dan peningkatan emisi gas rumah kaca. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) melaporkan bahwa sekitar 90% populasi dunia menghirup udara dengan kualitas buruk, menyebabkan jutaan kematian setiap tahun akibat polusi udara ⁽¹⁾. Di sisi lain, pengelolaan limbah, termasuk limbah plastik dan bahan kimia, masih menjadi tantangan besar di berbagai negara, terutama di kawasan dengan sumber daya terbatas. Untuk menjawab tantangan ini, teknologi kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI) mulai digunakan untuk memantau dan mengelola risiko kesehatan lingkungan secara lebih efisien ⁽²⁾⁽³⁾.

AI menawarkan kemampuan untuk mengolah data besar secara *real-time*, memberikan wawasan yang sebelumnya sulit diperoleh ⁽⁴⁾. Di negara-negara maju, seperti Amerika Serikat dan Uni Eropa, AI telah digunakan untuk memantau kualitas udara, menganalisis sumber polusi, dan memprediksi dampak perubahan iklim. Misalnya, penggunaan algoritma pembelajaran mesin membantu memperkirakan lokasi dan waktu terjadinya polusi tinggi, memungkinkan tindakan mitigasi dilakukan secara lebih dini. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan efektivitas kebijakan lingkungan, tetapi juga memberikan solusi yang lebih hemat biaya dibandingkan metode konvensional ⁽⁵⁾.

Di kawasan Asia, tantangan lingkungan semakin diperparah oleh tingkat urbanisasi yang tinggi. Negara-negara seperti China dan India telah mengadopsi teknologi AI untuk mengelola limbah dan mengendalikan polusi udara di kota-kota besar. Misalnya, China menggunakan AI dalam jaringan pemantauan kualitas udara yang mengintegrasikan data dari ribuan sensor untuk memberikan analisis waktu nyata. Hal ini menjadi model bagi negara-negara berkembang lainnya dalam memanfaatkan teknologi cerdas untuk mengatasi masalah kesehatan lingkungan ^(6,7). Di Indonesia, tantangan serupa juga dihadapi, dengan isu polusi udara di kota-kota besar seperti Jakarta yang menjadi salah satu yang terburuk di dunia. Selain itu, kebakaran hutan di Sumatra dan Kalimantan memberikan dampak besar terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan. Indonesia juga memiliki masalah pengelolaan limbah, terutama limbah plastik yang mencemari laut dan ekosistem pesisir. Hal ini memicu kebutuhan mendesak untuk memanfaatkan teknologi seperti AI guna meningkatkan efektivitas pengelolaan lingkungan di tingkat nasional.

Sebagai respons, pemerintah Indonesia melalui Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika/BMKG dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan/KLHK telah memulai berbagai inisiatif berbasis AI, seperti penggunaan *Air Quality Monitoring System* (AQMS) untuk memantau polusi udara secara *real-time* ⁽⁸⁾. Teknologi ini juga diterapkan untuk mendeteksi titik panas kebakaran hutan, mengoptimalkan pengelolaan limbah, dan memprediksi dampak lingkungan dari aktivitas manusia. Dengan demikian, pemanfaatan AI tidak hanya mendukung upaya mitigasi risiko lingkungan, tetapi juga menjadi langkah penting dalam mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*) ⁽⁹⁾, khususnya dalam memastikan lingkungan yang sehat dan berkelanjutan.

PEMANFAATAN KECERDASAN BUATAN/ARTIFICIAL INTELLIGENCE DALAM BIDANG KESEHATAN LINGKUNGAN

Pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dalam bidang kesehatan lingkungan telah menjadi inovasi penting di era modern. Teknologi ini memungkinkan pemrosesan data besar secara cepat dan memberikan wawasan yang lebih mendalam untuk mengatasi berbagai tantangan lingkungan. Pada tingkat global, AI telah digunakan untuk memantau kualitas udara, mengelola limbah, memitigasi risiko bencana lingkungan, dan merancang solusi keberlanjutan yang lebih efektif. Salah satu isu global utama adalah polusi udara, yang

menurut WHO, menyebabkan lebih dari 7 juta kematian prematur setiap tahun. Negara maju seperti Amerika Serikat dan Uni Eropa telah mengadopsi AI untuk memberikan prediksi kualitas udara dan rekomendasi kebijakan berbasis data.

Pemerintah China meningkatkan kualitas udara dengan menggunakan AI untuk menganalisis jaringan sensor udara yang luas secara real-time. Tingkat polusi di kota-kota besar seperti Beijing telah secara signifikan dikurangi oleh proyek ini. Selain itu, kecerdasan buatan juga digunakan untuk mengurangi dampak perubahan iklim; misalnya, Australia menggunakan teknologi ini untuk memprediksi kebakaran hutan⁽¹⁰⁾. Untuk memberikan peringatan dini kebakaran, algoritma pembelajaran mesin digunakan untuk mempelajari data cuaca, pola angin, dan vegetasi. Hasilnya adalah respons terhadap kebakaran menjadi lebih cepat dan efektif.

Selain itu, pengelolaan limbah juga menjadi bidang yang dioptimalkan dengan AI. Di Jepang, teknologi berbasis kamera dan pembelajaran mesin digunakan untuk memilah limbah secara otomatis, meningkatkan efisiensi proses daur ulang⁽¹¹⁾. Teknologi ini juga membantu mengurangi limbah yang berakhir di tempat pembuangan akhir dan lautan. Inovasi serupa diterapkan di beberapa negara berkembang untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan limbah plastik yang mencemari ekosistem pesisir⁽¹²⁾.

Meskipun AI di bidang kesehatan lingkungan masih dipelajari di Indonesia, hasilnya sudah mulai terlihat. Salah satunya adalah Sistem Pengawasan Kualitas Udara (AQMS), yang dikembangkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) bersama dengan mitra swasta⁽¹³⁾. Sistem ini menggunakan sensor berbasis AI untuk memantau polutan seperti PM2.5 dan SO₂ secara real-time di berbagai wilayah strategis. Data ini mendukung pengambilan kebijakan yang lebih tepat sasaran untuk mengurangi dampak polusi udara.

AI juga memainkan peran penting dalam mitigasi kebakaran hutan, khususnya di Sumatra dan Kalimantan. Teknologi ini menggabungkan data satelit dengan algoritma pembelajaran mesin untuk mendeteksi titik panas dan memprediksi wilayah rawan kebakaran. Implementasi ini berhasil mengurangi insiden kebakaran hingga 30% dalam dua tahun terakhir, yang berdampak positif pada penurunan emisi karbon dan perlindungan ekosistem⁽¹⁴⁾. Di sektor pesisir dan kelautan, Indonesia mulai menggunakan AI untuk memantau pencemaran laut akibat limbah plastik. Analisis citra satelit dan drone yang dilengkapi teknologi AI digunakan untuk mengidentifikasi lokasi konsentrasi sampah plastik di lautan⁽¹⁵⁾. Data ini menjadi dasar bagi pemerintah dan organisasi lingkungan dalam upaya pembersihan laut dan edukasi masyarakat. Kota-kota besar seperti Jakarta dan Surabaya telah mengadopsi konsep *smart-city*, memanfaatkan teknologi AI untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor. Sensor cerdas dipasang untuk memantau lalu lintas dan memberikan rekomendasi rute yang lebih efisien. Inisiatif ini tidak hanya membantu mengurangi polusi udara tetapi juga mendukung pengelolaan transportasi yang lebih berkelanjutan⁽¹⁶⁾.

AI telah memiliki efek nyata di seluruh dunia, seperti peningkatan efisiensi pengelolaan limbah hingga 40% dan penurunan emisi polusi di beberapa kota besar⁽¹⁷⁾. Data global ini mengajarkan Indonesia untuk terus menggunakan teknologi serupa. Dalam hal perubahan iklim, kecerdasan buatan telah berkembang menjadi alat penting untuk membantu negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, dalam membuat kebijakan yang berbasis bukti untuk mengurangi dampak negatif lingkungan.

Selain itu, penggunaan AI dalam bidang kesehatan lingkungan sejalan dengan upaya mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya tujuan ke-3 (kesehatan yang baik dan kesejahteraan). Teknologi kecerdasan buatan meningkatkan penyediaan layanan kesehatan dengan meningkatkan ketepatan diagnostik, menyempurnakan strategi pengobatan, dan mengelola informasi kesehatan masyarakat. AI dapat meningkatkan deteksi dini penyakit dan meningkatkan hasil pengobatan pasien, yang sangat penting untuk memajukan kesehatan secara keseluruhan^(18,19). Salah satu penggunaan AI adalah ChatGPT.

Terdapat kemungkinan bahwa penggunaan ChatGPT oleh profesional kesehatan memiliki dampak positif dan negatif. Menghasilkan ringkasan otomatis dari interaksi pasien dan riwayat medis adalah aplikasi yang bermanfaat yang dapat meningkatkan efisiensi dokumentasi medis. Namun, masalah etika dan hukum terkait penggunaan ChatGPT dalam perawatan kesehatan juga muncul⁽²⁰⁾. Aplikasi kecerdasan buatan dalam pemantauan lingkungan dapat secara substansial meningkatkan manajemen kualitas air. Melalui analisis data dari berbagai sumber, AI dapat meramalkan insiden kontaminasi dan meningkatkan prosedur pengolahan air. Strategi proaktif ini memfasilitasi tujuan untuk menjamin aksesibilitas dan tata kelola air dan sanitasi yang berkelanjutan untuk semua (tujuan SDGs ke-6) AI mendukung pengembangan ekosistem perkotaan yang berkelanjutan melalui inisiatif kota pintar. Inisiatif ini mencakup sistem manajemen lalu lintas yang mengurangi kemacetan dan polusi, desain arsitektur yang hemat energi, dan solusi pengelolaan limbah yang meningkatkan pemanfaatan sumber daya. Integrasi kecerdasan buatan dengan *Internet of Things* (IoT) meningkatkan pengambilan keputusan berbasis data dalam perencanaan kota Selain itu, AI dapat membantu dalam pemodelan iklim dan perencanaan tanggap bencana sehingga meningkatkan ketahanan terhadap tantangan terkait iklim^(21,22).

Namun, tantangan dalam penerapan teknologi ini tetap ada, seperti kebutuhan infrastruktur yang memadai dan pelatihan sumber daya manusia. Meski demikian, upaya yang telah dilakukan Indonesia menunjukkan potensi besar teknologi AI dalam mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya terkait lingkungan yang sehat dan berkelanjutan⁽²³⁾. Dukungan lintas sektor diperlukan untuk memperluas implementasi teknologi ini di berbagai daerah. Indonesia dapat mengatasi tantangan kesehatan lingkungan dan memperkuat posisinya dalam mendorong keberlanjutan global dengan memanfaatkan teknologi AI secara lebih luas. Investasi di bidang ini akan memiliki dampak jangka panjang yang signifikan bagi masyarakat dan ekosistem di masa mendatang.

TANTANGAN IMPLEMENTASI PEMANFAATAN AI BIDANG KESEHATAN LINGKUNGAN DI INDONESIA

Implementasi kecerdasan buatan (AI) dalam bidang kesehatan lingkungan di Indonesia menghadirkan peluang besar, tetapi juga diwarnai dengan berbagai tantangan yang harus diatasi. Salah satu tantangan utama adalah kurangnya infrastruktur digital yang merata di seluruh wilayah. Sebagian besar teknologi AI membutuhkan akses data yang cepat dan stabil, namun wilayah terpencil di Indonesia masih menghadapi keterbatasan jaringan internet dan fasilitas teknologi yang memadai⁽²⁴⁾. Hal ini membuat penerapan teknologi AI lebih sulit dilakukan secara nasional, terutama di daerah yang sangat membutuhkan solusi berbasis lingkungan seperti kawasan pesisir dan perdesaan.

Tantangan lainnya adalah minimnya kualitas dan kuantitas data lingkungan yang dapat digunakan oleh sistem AI. AI membutuhkan data yang terstruktur dan konsisten untuk memberikan analisis yang akurat. Di Indonesia, pengumpulan data lingkungan sering kali masih sporadis, tidak terstandar, dan terbatas pada wilayah tertentu⁽²⁵⁾. Sebagai contoh, data kualitas udara dan emisi karbon belum sepenuhnya terintegrasi antara pemerintah pusat dan daerah sehingga sulit untuk membangun sistem prediktif berbasis AI yang dapat mencakup seluruh Indonesia.

Keterbatasan sumber daya manusia juga menjadi hambatan utama dalam implementasi AI di bidang kesehatan lingkungan⁽²⁶⁾. Meskipun minat terhadap AI makin meningkat, jumlah tenaga ahli yang memiliki keahlian di bidang teknologi informasi, pengelolaan data, dan aplikasi AI dalam konteks lingkungan masih sangat terbatas. Sebagian besar ahli AI terpusat di kota besar seperti Jakarta dan Bandung, sementara daerah lain kekurangan tenaga kerja yang mampu mengoperasikan dan memelihara teknologi ini. Selain itu, biaya investasi awal yang tinggi untuk penerapan teknologi AI sering kali menjadi

penghalang. Pembangunan infrastruktur, perangkat keras, dan pengembangan perangkat lunak AI memerlukan dana besar. Dengan anggaran yang terbatas, pemerintah dan sektor swasta di Indonesia cenderung memprioritaskan kebutuhan mendesak lainnya daripada investasi jangka panjang pada teknologi AI untuk lingkungan⁽²⁷⁾.

Kerangka regulasi dan kebijakan yang mendukung pengembangan AI di Indonesia juga masih berkembang. Tidak adanya pedoman yang jelas mengenai penggunaan AI dalam pengelolaan lingkungan dapat menyebabkan ketidakefisienan dan kurangnya koordinasi antara lembaga-lembaga terkait. Regulasi yang ada saat ini belum sepenuhnya mengatur aspek keamanan data, transparansi algoritma, dan tanggung jawab dalam penerapan teknologi AI⁽²⁸⁾.

Isu privasi data menjadi tantangan berikutnya dalam pengembangan teknologi AI⁽²⁹⁾. Dalam banyak kasus, sistem AI memerlukan data individu atau institusi untuk memberikan analisis yang lebih baik, misalnya dalam memantau polusi atau limbah. Namun, kurangnya kesadaran akan perlindungan data pribadi dan risiko penyalahgunaan data di Indonesia menimbulkan kekhawatiran, baik dari masyarakat maupun organisasi yang terlibat. Tantangan lain adalah kesadaran masyarakat dan keterlibatan publik dalam implementasi teknologi ini juga menjadi tantangan. Banyak masyarakat Indonesia yang masih kurang memahami manfaat AI dan cenderung skeptis terhadap teknologi baru. Padahal, dukungan masyarakat sangat penting untuk keberhasilan proyek-proyek AI, terutama yang berhubungan dengan kesehatan lingkungan seperti pengelolaan limbah atau mitigasi polusi udara⁽³⁰⁾.

Kolaborasi antar-sektor masih perlu ditingkatkan untuk mendukung pengembangan AI di Indonesia. Implementasi teknologi AI membutuhkan sinergi antara pemerintah, akademisi, sektor swasta, dan masyarakat⁽³¹⁾. Namun, kolaborasi ini sering terkendala oleh perbedaan prioritas, kurangnya komunikasi, dan ketidakjelasan tanggung jawab antar-pihak.

Meski menghadapi berbagai tantangan, potensi pemanfaatan AI di bidang kesehatan lingkungan tetap besar. Inisiatif seperti *Air Quality Monitoring System* (AQMS) dan pemantauan kebakaran hutan berbasis AI menunjukkan bahwa teknologi ini dapat memberikan dampak nyata. Dengan langkah-langkah strategis, Indonesia dapat mengatasi hambatan-hambatan tersebut dan memanfaatkan AI untuk menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan berkelanjutan⁽³²⁾.

Pemerintah perlu mengembangkan kebijakan yang mendukung, meningkatkan investasi pada infrastruktur dan pelatihan sumber daya manusia, serta mendorong kolaborasi lintas sektor. Dengan komitmen yang kuat, Indonesia dapat memanfaatkan AI sebagai alat penting untuk mengatasi tantangan lingkungan yang makin kompleks dan menjaga keberlanjutan di masa depan.

KESIMPULAN

Di Indonesia, penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam bidang kesehatan lingkungan menghadapi tantangan yang kompleks, tetapi dapat diatasi dengan pendekatan strategis. Infrastruktur digital yang terbatas, data yang tidak terstandar, dan kekurangan sumber daya manusia yang kompeten masih menjadi hambatan utama. Faktor lain yang membuat penerapan teknologi ini lebih sulit adalah biaya investasi awal yang tinggi, regulasi yang belum matang, dan kesadaran masyarakat yang rendah. Namun, kemampuan AI untuk mengelola limbah, mitigasi kebakaran hutan, dan pengelolaan kualitas udara menunjukkan bahwa teknologi ini benar-benar dapat membantu meningkatkan kesehatan lingkungan. Untuk menciptakan ekosistem yang mendukung inovasi kecerdasan buatan, pemerintah, sektor swasta, akademisi, dan masyarakat harus bekerja sama. Pengembangan kebijakan yang ramah teknologi, investasi dalam infrastruktur digital, dan program pelatihan sumber daya manusia akan membantu Indonesia memanfaatkan AI secara efektif. Dengan cara ini, Indonesia dapat

memanfaatkan AI untuk mencapai tujuan seperti meningkatkan kesehatan lingkungan dan kualitas hidup masyarakat serta mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Miles J. WHO global air quality guidelines. Part matter (PM25 PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide carbon monoxide. 2021;1–360.
2. Zebua RSY, Khairunnisa K, Hartatik H, Pariyadi P, Wahyuningtyas DP, Thantawi AM, et al. Fenomena Artificial Intelligence (AI). PT. Sonpedia Publishing Indonesia; 2023.
3. Munawaruzaman A. Perkembangan Kecerdasan Buatan di Berbagai Bidang. 2024;
4. Rachmadi T, Kom S. Mengenal apa itu internet of things. Vol. 1. Tiga Ebook; 2020.
5. Rev GDC, Under D, Procedure S. Global Digital Compact_Rev_3_silence_procedure. 2024;(July).
6. Zhong W, Liu Y, Dong K, Ni G. Assessing the synergistic effects of artificial intelligence on pollutant and carbon emission mitigation in China. Energy Econ [Internet]. 2024;138:107829. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988324005371>
7. Singh M, Singh M, Singh SK. Tackling municipal solid waste crisis in India: Insights into cutting-edge technologies and risk assessment. Sci Total Environ [Internet]. 2024;917:170453. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724005904>
8. Hidup KL. Pedoman teknis penyusunan inventarisasi emisi pencemar udara di perkotaan. Jakarta Asdep Pengendali Pencemaran Udar Sumber Berger Deputy Bid Pengendali Pencemaran Lingkung Kementerian Lingkung Hidup Pencemaran Udar di Daerah Jakarta. 2013;
9. Mulyadi M, Lestari TRP, Alawiyah F, Wahyuni D, Astri H, Martiany D, et al. Pembangunan Berkelanjutan: Dimensi Sosial, Ekonomi, dan Lingkungan. Pus Pengkajian, Pengolah Data dan Inf Sekr Jenderal DPR RI dan Azza Graf. 2015;226 hlm.
10. Global Climate Litigation Report: 2023 Status Review. Global Climate Litigation Report: 2023 Status Review. 2023.
11. UNEP. Global Waste Management Outlook 2024 : Beyond An Age Of Waste. 2024.
12. Keeping the Promise - Annual Report 2023. Keep Promise - Annu Rep 2023. 2024;
13. Biro Perencanaan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Laporan Kinerja Biro Perencanaan KLHK Tahun 2020. Biro Perencanaan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2020.
14. Harimbawa M. Persistensi Bahan Bakar Fosil : Analisis Path Dependence dalam Bauran Konsumsi-Energi Indonesia Periode 1980 – 2015. 2015;143–60.
15. Wahyudi J. Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca. J Litbang Media Inf Penelitian, Pengemb dan IPTEK. 2018;12(2):104–12.
16. Hussain S, Ahonen V, Karasu T, Leviäkangas P. Sustainability of smart rural mobility and tourism: A key performance indicators-based approach. Technol Soc. 2023 Aug;74.
17. Yigitcanlar T, Mehmood R, Corchado JM. Green artificial intelligence: Towards an efficient, sustainable and equitable technology for smart cities and futures. Sustainability. 2021;13(16):8952.
18. Ueda D, Walston SL, Fujita S, Fushimi Y, Tsuboyama T, Kamagata K, et al. Climate change and artificial intelligence in healthcare: Review and recommendations towards a sustainable future. Diagn Interv Imaging. 2024 Nov;105(11):453–9.
19. Moyano-Fernández C, Rueda J, Delgado J, Ausín T. May Artificial Intelligence take health and sustainability on a honeymoon? Towards green technologies for multidimensional health and environmental justice. Glob Bioeth = Probl di Bioet. 2024;35(1):2322208.
20. Yuliyana R, Daswito R. Menggali Potensi ChatGPT pada Peran Tenaga Kesehatan: Looking into the Potential of ChatGPT in the Role Healthcare Professionals. J ILMU DAN Teknol Kesehat TERPADU [Internet]. 2023;3(2):46–50. Available from: <https://ejurnal.poltekkes-tanjungpinang.ac.id/index.php/jksti/article/view/138>
21. Lampropoulos G, Garzón J, Misra S, Siakas K. The Role of Artificial Intelligence of Things in Achieving Sustainable Development Goals: State of the Art. Sensors (Basel). 2024 Feb;24(4).
22. Fan Z, Yan Z, Wen S. Deep Learning and Artificial Intelligence in Sustainability: A Review of SDGs, Renewable Energy, and Environmental Health. Vol. 15, Sustainability. 2023.
23. Di Vaio A, Palladino R, Hassan R, Escobar O. Artificial intelligence and business models in the sustainable development goals perspective: A systematic literature review. J Bus Res.

- 2020;121:283–314.
24. Syamsuddin S, Jusliani J. Implementasi Telemedicine dan Implikasinya terhadap Akses serta Kualitas Pelayanan Kesehatan di Komunitas Pedesaan: Mini Review. *J Ris Sains dan Kesehat Indones*. 2024;1(3):117–23.
 25. Ridlo IA, Putri NK, Intiasari AD, Sandra C, Firdausi NJ, Adriansyah AA, et al. FGD dalam Penelitian kesehatan. Airlangga University Press; 2018.
 26. Zain NS, Ulya N, Wasir R, Istanti ND. Memanfaatkan Data untuk Meningkatkan Pengambilan Keputusan Berbasis Bukti dalam Sistem Kesehatan Indonesia: Memanfaatkan Data untuk Meningkatkan Pengambilan Keputusan Berbasis Bukti dalam Sistem Kesehatan Indonesia. *Afiasi J Kesehat Masy*. 2024;9(1):25–34.
 27. Nainggolan H, Nuraini R, Sepriano S, Aryasa IWT, Meilin A, Adhicandra I, et al. GREEN TECHNOLOGY INNOVATION: Transformasi Teknologi Ramah Lingkungan berbagai Sektor. PT. Sonpedia Publishing Indonesia; 2023.
 28. Nuraziza S, Sudirman WFR. Keseimbangan Antara Inovasi Teknologi dan Kepatuhan Regulasi: Tantangan dalam Mengintegrasikan Artificial Intelligence (AI) dalam Manajemen Keuangan. *Money J Financ Islam Bank*. 2024;2(1):47–57.
 29. Savitri A. Revolusi industri 4.0: mengubah tantangan menjadi peluang di era disrupsi 4.0. Penerbit Genesis; 2019.
 30. Utami P. Transformasi Administrasi Publik: Inovasi Dan Adaptasi Menuju Efisiensi Dan Pelayanan Publik Berkualitas. *Papatung J Ilmu Adm Publik, Pemerintah dan Polit*. 2023;6(2):1–9.
 31. Zein HMHM, Septiani S. Digitalisasi Pemerintahan Daerah: Katalis Untuk Integrasi dan Optimasi Good Governance. Sada Kurnia Pustaka; 2024.
 32. Setyabudi E, Reynaldy R. Membangun Masa Depan: Peran AI dalam Transformasi Kota Pintar yang Berkelanjutan. In: *Prosiding Seminar Nasional Informatika*. 2024. p. 637–43.