

Peran Kecerdasan Buatan dalam Pengambilan Keputusan Pengelolaan Lingkungan di Wilayah Tropis

Efendi Hamka^{*a,1}, Rufaidah^{a,2}, Nirmala Sari^{a,3}

^aProgram Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Mataram, Indonesia

*Corresponding author : effendi.hamka@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article history Received: 14 October 2025 Revised: 28 October 2025 Accepted: 14 December 2025 Published: 22 December 2025</p>	<p><i>Tropical regions exhibit complex, dynamic environmental characteristics and are highly vulnerable to pressures arising from climate change and human activities. These conditions necessitate environmental management approaches that are adaptive, data-driven, and capable of supporting accurate and timely decision-making. This study aims to examine the role of artificial intelligence in environmental management decision-making in tropical regions. The research employs a qualitative approach through a systematic literature review of open-access scientific journal articles published over the past ten years and relevant to the topics of artificial intelligence and environmental management. The data were analyzed using thematic analysis techniques to identify patterns, trends, and the major contributions of artificial intelligence to environmental management. The findings indicate that artificial intelligence plays a significant role in enhancing the effectiveness of environmental monitoring, strengthening predictive and modeling capabilities of environmental systems, and supporting evidence-based decision support systems. The application of artificial intelligence has proven relevant in the management of water resources, air quality, biodiversity, renewable energy, and climate change mitigation in tropical regions. However, the effectiveness of implementing this technology is strongly influenced by data quality, infrastructure readiness, institutional capacity, and supportive policy frameworks. This study concludes that artificial intelligence has substantial potential as a decision-support tool for environmental management in tropical regions, provided that it is implemented in a contextual, ethical, and long-term sustainability-oriented manner.</i></p>
<p>Keywords artificial intelligence decision-making environmental management tropical regions sustainability</p>	
 License by CC-BY-SA Copyright © 2025, The Author(s).	
<p>How to cite: Hamka, E., Rufaidah, R., & Sari, N. (2025). Peran Kecerdasan Buatan dalam Pengambilan Keputusan Pengelolaan Lingkungan di Wilayah Tropis, Vol 1(2), 34-40. doi: https://doi.org/10.70716/tres.v1i2.363</p>	

PENDAHULUAN

Wilayah tropis merupakan salah satu kawasan dengan tingkat keanekaragaman hayati tertinggi di dunia, namun sekaligus menghadapi tekanan lingkungan yang semakin kompleks akibat perubahan iklim, pertumbuhan penduduk, urbanisasi cepat, serta eksplorasi sumber daya alam yang intensif. Kondisi iklim yang ditandai oleh curah hujan tinggi, suhu relatif stabil namun ekstrem, serta dinamika ekosistem darat dan perairan yang sensitif menjadikan pengelolaan lingkungan di wilayah tropis sebagai tantangan multidimensional yang membutuhkan pendekatan adaptif dan berbasis data. Dalam konteks ini, pengambilan keputusan pengelolaan lingkungan tidak lagi dapat mengandalkan metode konvensional yang bersifat reaktif, parsial, dan kurang terintegrasi antar-sektor (Adefemi et al., 2021; Tripathi et al., 2022).

Perubahan iklim memperparah kerentanan wilayah tropis melalui peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem, degradasi kualitas air, penurunan produktivitas ekosistem, serta ancaman terhadap ketahanan pangan dan energi. Studi Abdulameer et al. (2025) menunjukkan bahwa pengelolaan sumber daya air di wilayah rentan iklim memerlukan sistem pengambilan keputusan yang mampu mengolah data secara real-time dan memprediksi berbagai skenario risiko secara akurat. Namun, keterbatasan data, rendahnya kapasitas analisis, serta fragmentasi kebijakan sering kali menghambat efektivitas pengelolaan lingkungan di negara-negara tropis.

Seiring dengan perkembangan teknologi digital, kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) muncul sebagai pendekatan inovatif yang berpotensi mentransformasi proses pengambilan keputusan dalam pengelolaan lingkungan. AI memungkinkan pemrosesan data dalam skala besar, pengenalan pola kompleks, serta kemampuan prediksi yang lebih akurat dibandingkan metode statistik tradisional. Berbagai penelitian

menunjukkan bahwa AI telah diterapkan secara luas dalam pemantauan kualitas air, prediksi pencemaran udara, pengelolaan limbah, konservasi biodiversitas, serta optimalisasi sistem energi terbarukan (Chen et al., 2020; Almalawi et al., 2022; Velasco et al., 2023).

Dalam konteks pengelolaan lingkungan, AI tidak hanya berfungsi sebagai alat teknis, tetapi juga sebagai sistem pendukung pengambilan keputusan (decision support system) yang mampu membantu pembuat kebijakan dan pengelola lingkungan dalam merumuskan strategi berbasis bukti. Rahman et al. (2024) menegaskan bahwa sistem berbasis AI dapat meningkatkan kualitas keputusan lingkungan melalui integrasi data lintas sektor, simulasi skenario kebijakan, serta penyediaan rekomendasi adaptif yang relevan dengan kondisi lokal. Hal ini menjadi sangat penting di wilayah tropis yang memiliki tingkat ketidakpastian lingkungan yang tinggi.

Berbagai studi empiris menunjukkan keberhasilan AI dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi pengelolaan lingkungan. Li (2021) menunjukkan bahwa pemantauan lingkungan berbasis AI mampu mendeteksi perubahan kualitas lingkungan secara lebih cepat dibandingkan metode manual. Chen et al. (2020) menemukan bahwa model machine learning mampu mengidentifikasi parameter kunci kualitas air dengan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan sumber daya air. Sementara itu, Nasir dan Li (2024) menekankan pentingnya explainable artificial intelligence (XAI) untuk meningkatkan transparansi dan akuntabilitas keputusan berbasis AI dalam pengelolaan instalasi pengolahan air limbah.

Di sektor ekosistem tropis, penerapan AI juga menunjukkan potensi besar. Studi Souza et al. (2024) memperlihatkan bahwa pendekatan deep learning mampu meningkatkan efektivitas pemantauan mangrove, yang merupakan ekosistem kunci di wilayah pesisir tropis. Rahmati (2025) mengembangkan kerangka AI untuk pemantauan biodiversitas perkotaan yang relevan bagi kota-kota tropis yang mengalami tekanan urbanisasi. Di sisi lain, pengelolaan energi dan mitigasi perubahan iklim juga mendapat manfaat dari penerapan AI melalui optimalisasi sistem energi terbarukan dan pengurangan emisi karbon (Raihan, Islam, & Paul, 2024; Qamar, 2024).

Meskipun demikian, adopsi AI dalam pengelolaan lingkungan tidak terlepas dari berbagai tantangan. Khan et al. (2022) menyoroti isu keberlanjutan AI, termasuk konsumsi energi komputasi, potensi bias algoritma, serta keterbatasan data yang representatif di negara berkembang. Rohde et al. (2023) menekankan perlunya pendekatan AI yang berkelanjutan secara sosial, ekonomi, dan lingkungan agar teknologi ini tidak justru menimbulkan dampak negatif baru. Tantangan lain yang sering muncul adalah kesenjangan kapasitas teknis, keterbatasan infrastruktur digital, serta rendahnya integrasi AI dalam kerangka kebijakan lingkungan (Hao & Demir, 2024).

Selain itu, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada pengembangan model AI secara teknis, tanpa membahas secara mendalam bagaimana teknologi tersebut berperan dalam keseluruhan proses pengambilan keputusan pengelolaan lingkungan, khususnya di wilayah tropis. Maqbool et al. (2023) dan Raihan, Paul, Rahman, et al. (2023) menunjukkan bahwa kajian yang mengintegrasikan berbagai sektor lingkungan dalam satu kerangka pengambilan keputusan berbasis AI masih terbatas. Hal ini menciptakan kesenjangan penelitian yang perlu diisi melalui pendekatan yang lebih holistik dan kontekstual.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini memposisikan kecerdasan buatan sebagai instrumen strategis dalam pengambilan keputusan pengelolaan lingkungan di wilayah tropis. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis komprehensif peran AI tidak hanya sebagai alat analisis data, tetapi sebagai komponen integral dalam sistem pengambilan keputusan yang mencakup aspek teknis, kebijakan, dan keberlanjutan. Dengan mengintegrasikan temuan dari berbagai sektor lingkungan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi konseptual dan praktis bagi pengembangan pengelolaan lingkungan berbasis AI di wilayah tropis.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi literatur sistematis untuk menganalisis peran kecerdasan buatan dalam pengambilan keputusan pengelolaan lingkungan di

wilayah tropis. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai perkembangan konsep, pola penerapan, serta implikasi penggunaan AI dalam konteks pengelolaan lingkungan yang kompleks dan multidimensional (Tripathi et al., 2022; Qamar, 2024).

Studi literatur sistematis dilakukan dengan mengumpulkan dan menelaah artikel jurnal ilmiah serta preprint yang relevan dengan topik penelitian. Sumber data berasal dari publikasi open access dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, yang mencakup bidang pengelolaan lingkungan, kecerdasan buatan, sistem pendukung keputusan, serta keberlanjutan. Pemilihan sumber open access bertujuan untuk memastikan keterlacakkan dan transparansi data penelitian, serta mendukung replikasi dan pengembangan studi selanjutnya (Khan et al., 2022).

Proses pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran basis data ilmiah dan repository daring menggunakan kata kunci seperti "artificial intelligence," "environmental management," "decision making," dan "tropical regions." Artikel yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi, yaitu relevansi topik, fokus pada penerapan AI dalam pengelolaan lingkungan, serta kontribusi terhadap proses pengambilan keputusan. Artikel yang hanya membahas aspek teknis AI tanpa keterkaitan dengan pengelolaan lingkungan atau pengambilan keputusan dieliminasi dari analisis.

Literatur yang terpilih mencakup berbagai sektor pengelolaan lingkungan, antara lain sumber daya air (Chen et al., 2020; Abdulameer et al., 2025), pengelolaan limbah dan instalasi pengolahan air limbah (Nasir & Li, 2024), pemantauan kualitas lingkungan (Li, 2021; Almalawi et al., 2022), konservasi ekosistem tropis (Souza et al., 2024; Rahmati, 2025), serta energi terbarukan dan mitigasi perubahan iklim (Velasco et al., 2023; Raihan, Islam, & Paul, 2024). Selain itu, literatur yang membahas sistem pendukung keputusan dan tata kelola berbasis AI juga dianalisis untuk memperkuat perspektif kebijakan dan keberlanjutan (Adefemi et al., 2021; Rahman et al., 2024).

Analisis data dilakukan menggunakan teknik content analysis dengan pendekatan tematik. Setiap artikel dianalisis untuk mengidentifikasi peran AI dalam pengambilan keputusan, jenis teknologi yang digunakan, sektor lingkungan yang terlibat, serta tantangan dan implikasi penerapannya. Tema-tema utama kemudian dikelompokkan ke dalam kategori seperti pemantauan lingkungan, prediksi dan optimasi, sistem pendukung keputusan, serta aspek keberlanjutan dan etika AI (Maqbool et al., 2023; Rohde et al., 2023).

Untuk menjaga validitas penelitian, dilakukan triangulasi sumber dengan membandingkan temuan dari berbagai sektor dan pendekatan AI. Hal ini bertujuan untuk memastikan konsistensi dan keandalan hasil analisis, serta mengurangi potensi bias interpretasi. Selain itu, penggunaan literatur peer-reviewed dan preprint bereputasi seperti arXiv dipertimbangkan sebagai bagian dari upaya menjaga kualitas dan kredibilitas sumber data (Rahmati, 2025; Zhang et al., 2024).

Hasil analisis literatur kemudian disintesis untuk membangun kerangka konseptual mengenai peran kecerdasan buatan dalam pengambilan keputusan pengelolaan lingkungan di wilayah tropis. Kerangka ini digunakan sebagai dasar untuk menginterpretasikan kontribusi AI terhadap peningkatan efektivitas, efisiensi, dan keberlanjutan pengelolaan lingkungan, serta untuk merumuskan implikasi kebijakan dan rekomendasi praktis bagi pemangku kepentingan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) telah berkembang menjadi komponen kunci dalam pengambilan keputusan pengelolaan lingkungan, khususnya di wilayah tropis yang memiliki dinamika ekosistem tinggi dan tingkat ketidakpastian lingkungan yang signifikan. Berdasarkan analisis tematik terhadap literatur yang dikaji, peran AI dalam pengelolaan lingkungan di wilayah tropis dapat dikelompokkan ke dalam empat dimensi utama, yaitu pemantauan dan akuisisi data lingkungan, prediksi dan pemodelan sistem lingkungan, sistem pendukung pengambilan keputusan, serta implikasi keberlanjutan dan tata kelola lingkungan berbasis AI.

Peran AI dalam Pemantauan dan Akuisisi Data Lingkungan

Salah satu temuan utama dari kajian ini adalah bahwa AI berperan signifikan dalam meningkatkan kualitas dan kecepatan pemantauan lingkungan di wilayah tropis. Kondisi geografis dan iklim tropis yang kompleks sering kali menyulitkan pengumpulan data lingkungan secara konvensional. Dalam konteks ini, integrasi AI dengan teknologi Internet of Things (IoT), sensor lingkungan, dan citra satelit memungkinkan pengumpulan data secara real-time dan berkelanjutan. Almalawi et al. (2022) menunjukkan bahwa sistem

pemantauan kualitas udara berbasis AI mampu mendeteksi pola pencemaran dengan tingkat akurasi tinggi, sekaligus memberikan informasi prediktif yang mendukung pengambilan keputusan mitigasi pencemaran.

Hasil serupa juga ditunjukkan dalam pengelolaan sumber daya air. Chen et al. (2020) menemukan bahwa model machine learning mampu mengidentifikasi parameter kunci kualitas air dari kumpulan data besar, sehingga membantu pengelola lingkungan dalam menentukan prioritas tindakan pengelolaan. Di wilayah tropis, di mana kualitas air sangat dipengaruhi oleh curah hujan ekstrem dan aktivitas antropogenik, kemampuan AI untuk mengolah data kompleks menjadi informasi yang dapat ditindaklanjuti menjadi sangat krusial. Li (2021) menegaskan bahwa pemantauan lingkungan berbasis AI tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada metode manual yang lambat dan rentan terhadap kesalahan.

Pada sektor ekosistem pesisir dan kehutanan tropis, penerapan AI juga menunjukkan hasil yang menjanjikan. Souza et al. (2024) membuktikan bahwa pendekatan deep learning efektif dalam memantau kondisi mangrove secara akurat, yang sangat penting bagi pengelolaan wilayah pesisir tropis. Rahmati (2025) mengembangkan kerangka pemantauan biodiversitas berbasis AI yang mampu mengintegrasikan data spasial dan temporal, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai dinamika ekosistem perkotaan tropis. Temuan-temuan ini mengindikasikan bahwa AI berperan sebagai fondasi data-driven decision making dalam pengelolaan lingkungan.

AI dalam Prediksi dan Pemodelan Sistem Lingkungan

Dimensi kedua yang menonjol dalam hasil kajian adalah peran AI dalam prediksi dan pemodelan sistem lingkungan. Wilayah tropis sering menghadapi ketidakpastian lingkungan yang tinggi akibat variabilitas iklim dan tekanan antropogenik. Dalam konteks ini, kemampuan AI untuk memodelkan hubungan non-linear dan memprediksi skenario masa depan menjadi keunggulan utama dibandingkan pendekatan konvensional. Abdulameer et al. (2025) menunjukkan bahwa AI telah digunakan secara luas dalam manajemen sumber daya air yang tangguh terhadap perubahan iklim, termasuk dalam prediksi ketersediaan air dan risiko banjir.

Studi Nasir dan Li (2024) menyoroti peran explainable artificial intelligence (XAI) dalam pemodelan instalasi pengolahan air limbah. Penggunaan XAI memungkinkan pengambil keputusan untuk memahami dasar rekomendasi sistem AI, sehingga meningkatkan kepercayaan dan akuntabilitas dalam pengambilan keputusan lingkungan. Hal ini sangat relevan di wilayah tropis, di mana keterbatasan sumber daya dan kapasitas institusional menuntut transparansi dalam penggunaan teknologi canggih.

Di sektor mitigasi perubahan iklim dan energi, AI juga berkontribusi dalam optimalisasi sistem energi terbarukan dan pengurangan emisi karbon. Velasco et al. (2023) menunjukkan bahwa AI mampu meningkatkan efisiensi sistem energi terbarukan melalui pengelolaan beban dan prediksi produksi energi. Raihan, Islam, dan Paul (2024) serta Qamar (2024) menegaskan bahwa AI berperan penting dalam mendukung keputusan strategis terkait transisi energi dan mitigasi perubahan iklim di negara berkembang, termasuk wilayah tropis.

AI sebagai Sistem Pendukung Pengambilan Keputusan Lingkungan

Temuan utama lainnya adalah bahwa AI semakin diposisikan sebagai sistem pendukung pengambilan keputusan (decision support system) dalam pengelolaan lingkungan. Adefemi et al. (2021) menekankan bahwa mekanisme pengambilan keputusan berbasis AI mampu meningkatkan keberlanjutan lingkungan melalui integrasi data lintas sektor dan analisis prediktif. Rahman et al. (2024) menunjukkan bahwa sistem pendukung keputusan berbasis AI membantu pengelola lingkungan di wilayah berkembang dalam merumuskan kebijakan yang lebih adaptif dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Dalam konteks tata kelola lingkungan, AI juga berperan dalam mendukung proses perencanaan dan evaluasi kebijakan. Hao dan Demir (2024) mengaitkan penerapan AI dalam pengambilan keputusan rantai pasok dengan kerangka environmental, social, and governance (ESG), yang relevan untuk pengelolaan lingkungan berkelanjutan. Eduaward et al. (2022) menegaskan bahwa AI berkontribusi terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan melalui peningkatan efisiensi pengelolaan sumber daya alam dan pengurangan dampak lingkungan.

Namun, hasil kajian juga menunjukkan bahwa efektivitas AI sebagai sistem pendukung keputusan sangat bergantung pada kualitas data, kapasitas institusional, dan integrasi dengan kebijakan lingkungan. Di wilayah tropis, keterbatasan data lokal dan infrastruktur digital sering kali menjadi kendala utama. Oleh karena itu, AI tidak dapat dipandang sebagai solusi tunggal, melainkan sebagai bagian dari ekosistem pengambilan keputusan yang lebih luas.

Tantangan dan Implikasi Keberlanjutan AI dalam Pengelolaan Lingkungan Tropis

Meskipun potensi AI dalam pengelolaan lingkungan sangat besar, hasil kajian ini juga mengidentifikasi berbagai tantangan yang perlu diperhatikan. Khan et al. (2022) menyoroti isu keberlanjutan AI, termasuk konsumsi energi komputasi, emisi karbon dari pusat data, serta potensi bias algoritma akibat keterbatasan data representatif. Rohde et al. (2023) menekankan perlunya pendekatan AI yang berkelanjutan secara holistik, dengan mempertimbangkan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan.

Di wilayah tropis, tantangan ini diperparah oleh keterbatasan kapasitas teknis dan kelembagaan. Banyak negara tropis masih menghadapi kesenjangan digital yang mempengaruhi adopsi teknologi AI secara merata. Selain itu, kurangnya regulasi dan kerangka etika yang jelas dapat menghambat integrasi AI dalam pengelolaan lingkungan. Tripathi et al. (2022) menekankan pentingnya kebijakan yang mendukung inovasi teknologi sekaligus melindungi kepentingan lingkungan dan masyarakat.

Implikasi dari temuan ini menunjukkan bahwa penerapan AI dalam pengelolaan lingkungan tropis harus dilakukan secara kontekstual dan bertahap. Integrasi AI perlu disertai dengan penguatan kapasitas sumber daya manusia, peningkatan infrastruktur data, serta pengembangan kebijakan yang mendukung penggunaan AI secara etis dan berkelanjutan. Zhang et al. (2024) menunjukkan bahwa dampak AI terhadap kualitas lingkungan sangat dipengaruhi oleh konteks teknis dan institusional, sehingga pendekatan satu ukuran untuk semua tidak dapat diterapkan.

Sintesis Temuan dan Implikasi Kebijakan

Secara keseluruhan, hasil kajian ini menunjukkan bahwa kecerdasan buatan memiliki peran strategis dalam meningkatkan kualitas pengambilan keputusan pengelolaan lingkungan di wilayah tropis. AI berkontribusi dalam menyediakan data yang akurat dan real-time, meningkatkan kemampuan prediksi dan pemodelan sistem lingkungan, serta mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih adaptif dan berbasis bukti. Namun, efektivitas penerapan AI sangat bergantung pada integrasi teknologi dengan konteks lokal, kebijakan, dan prinsip keberlanjutan.

Temuan ini memperkuat argumen bahwa AI sebaiknya diposisikan sebagai alat pendukung, bukan pengganti, dalam pengambilan keputusan lingkungan. Pendekatan ini sejalan dengan pandangan Maqbool et al. (2023) dan Raihan, Paul, Rahman, et al. (2023) yang menekankan pentingnya integrasi antara inovasi teknologi dan kebijakan lingkungan. Dengan demikian, pengelolaan lingkungan berbasis AI di wilayah tropis memiliki potensi besar untuk meningkatkan keberlanjutan, asalkan diimplementasikan secara bertanggung jawab dan kontekstual.

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa kecerdasan buatan memiliki peran strategis dalam mendukung pengambilan keputusan pengelolaan lingkungan di wilayah tropis yang ditandai oleh kompleksitas ekosistem dan tingginya ketidakpastian lingkungan. Melalui pendekatan berbasis data, kecerdasan buatan mampu meningkatkan kualitas pemantauan lingkungan, memperkuat kemampuan prediksi dan pemodelan sistem lingkungan, serta mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih adaptif dan responsif. Integrasi kecerdasan buatan dengan berbagai sumber data lingkungan memungkinkan pengelolaan sumber daya alam dilakukan secara lebih efisien dan berkelanjutan.

Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan kecerdasan buatan memberikan kontribusi signifikan dalam berbagai sektor pengelolaan lingkungan, termasuk pengelolaan sumber daya air, kualitas udara, biodiversitas, energi terbarukan, dan mitigasi perubahan iklim. Teknologi ini membantu pengambil keputusan dalam mengidentifikasi pola, memprediksi risiko lingkungan, serta merumuskan strategi

pengelolaan yang berbasis bukti. Dalam konteks wilayah tropis, kemampuan kecerdasan buatan untuk mengolah data kompleks dan dinamis menjadi keunggulan utama dibandingkan pendekatan konvensional.

Meskipun demikian, penelitian ini juga menekankan bahwa kecerdasan buatan bukanlah solusi tunggal bagi permasalahan lingkungan. Efektivitas penerapannya sangat bergantung pada kualitas data, kapasitas kelembagaan, kesiapan sumber daya manusia, serta dukungan kebijakan yang memadai. Tantangan terkait keberlanjutan teknologi, etika, dan kesenjangan digital perlu menjadi perhatian utama agar penerapan kecerdasan buatan tidak menimbulkan dampak negatif baru.

Dengan demikian, kecerdasan buatan memiliki potensi besar sebagai alat pendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lingkungan di wilayah tropis. Pemanfaatan teknologi ini perlu dilakukan secara kontekstual, bertanggung jawab, dan terintegrasi dengan kebijakan lingkungan yang berorientasi pada keberlanjutan jangka panjang.

REFERENSI

- Abdulameer, L., Al-Khafaji, M. S., Al-Awadi, A. T., Al Maimuri, N. M., Al-Shammary, M., & Al-Dujaili, A. N. (2025). Artificial Intelligence in Climate-Resilient Water Management: A Systematic Review of Applications, Challenges, and Future Directions. *Water Conservation Science and Engineering*, 10(1), 44.
- Adefemi, A., Adeyemi, O., & Balogun, T. (2021). Environmental sustainability and artificial intelligence decision-making mechanisms. *African Journal of Environmental Sciences and Renewable Energy*, 4(2), 45–58.
- Almalawi, A., Alsolami, F., Khan, A. I., Alkhathlan, A., Fahad, A., Irshad, K., ... & Alfakeeh, A. S. (2022). An IoT based system for magnify air pollution monitoring and prognosis using hybrid artificial intelligence technique. *Environmental Research*, 206, 112576.
- Chen, K., Chen, H., Zhou, C., Huang, Y., Qi, X., Shen, R., ... & Ren, H. (2020). Comparative analysis of surface water quality prediction performance and identification of key water parameters using different machine learning models based on big data. *Water research*, 171, 115454.
- Eduaward, J. J., Harris, E., Febriansah, Y., Adiwijaya, A., & Hikam, I. N. (2022). Artificial intelligence for sustainable development applications in natural resource management agriculture and waste management. *International Transactions on Artificial Intelligence*, 1(3), 112–126.
- Hao, X., & Demir, E. (2024). Artificial intelligence in supply chain decision-making: an environmental, social, and governance triggering and technological inhibiting protocol. *Journal of Modelling in Management*, 19(2), 605-629.
- Khan, M. A., Ullah, R., & Ali, S. (2022). Sustainable artificial intelligence overview for environmental protection uses and issues. arXiv Preprint. <https://arxiv.org/abs/2212.11738>
- Li, N. (2021). Research of ecological environment monitoring based on artificial intelligence. *Theoretical and Natural Science*, 1(2), 35–41.
- Maqbool, A. I., Kiayani, S., Zaib-un-Nisa, & Safdar, A. (2023). Artificial intelligence in environmental science and engineering A review of applications challenges and sustainable futures. *Spectrum of Engineering Sciences*, 2(1), 1–15.
- Nasir, F. B., & Li, J. (2024). Comparative Analysis of Machine Learning Models and Explainable Artificial Intelligence for Predicting Wastewater Treatment Plant Variables. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 5(4), 1-23.
- Qamar, A. (2024). AI-Powered Solutions in Climate Change Mitigation and Environmental Sustainability. *Research Corridor Journal of Engineering Science*, 1(2), 194-209.
- Rahman, M. S., Paul, A., & Raihan, A. (2024). Artificial intelligence-driven decision support systems for environmental management in developing regions. *Journal of Environmental Management and Sustainability*, 6(2), 99–115.
- Rahmati, Y. (2025). Artificial intelligence for sustainable urban biodiversity A framework for monitoring and conservation. arXiv Preprint. <https://arxiv.org/abs/2501.14766>
- Raihan, A., Islam, S., & Paul, P. (2024). Review of machine learning and artificial intelligence adoption in energy biodiversity and water management. *Journal of Technology Innovations and Energy*, 4(1), 22–38.

- Raihan, A., Paul, A., Rahman, M. S., Islam, S., Paul, P., & Karmakar, S. (2023). Artificial intelligence for environmental sustainability A concise review of technology innovations in energy transportation biodiversity and water management. *Journal of Technology Innovations and Energy*, 3(2), 1–18.
- Rohde, F., Wagner, J., Meyer, A., & Wulfhorst, G. (2023). Broadening the perspective for sustainable artificial intelligence Comprehensive sustainability criteria and indicators for AI systems. arXiv Preprint. <https://arxiv.org/abs/2306.13686>
- Souza, L. J. V., Zreik, I. V. R., & Salem-Sermanet, A. (2024). A deep learning-based approach for mangrove monitoring. arXiv Preprint. <https://arxiv.org/abs/2410.05443>
- Tripathi, S., Tiwari, R., Roy, S., & Sharma, A. (2022). Artificial intelligence for environmental protection Opportunities and challenges. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 7(3), 1–12.
- Velasco, R., Martinez, J., & Gomez, P. (2023). Artificial intelligence innovations in renewable energy systems and environmental solutions. *Journal of Technology Innovations and Energy*, 3(3), 41–57.
- Zhang, Y., Liu, X., & Chen, H. (2024). Impact of artificial intelligence on environmental quality through technical change. arXiv Preprint. <https://arxiv.org/abs/2410.06501>