TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

Peran Kecerdasan Buatan dalam Inovasi Instrumen Keuangan Hijau untuk Pembangunan Berkelanjutan

Axel Giovanni[1,*], Ghiyats Furqan Dewantara[2], Afif Musthafa[2], Budi Hartono[1], Namira Rahma Putri[1], 'Atikah Nur Fadlilah[1], Galuh Witantri[1], Erika Kurniasari[1]

[1]Fakultas Ekonomi, Program Studi Manajemen, Universitas Tidar, Kota Magelang, Indonesia
[2]Fakultas Ekonomi, Program Studi Akuntansi, Universitas Tidar, Kota Magelang, Indonesia
Email: [1,*]axelgiovanni@untidar.ac.id, [2]ghiyatsdewantara@untidar.ac.id, [3]afifm@untidar.ac.id, [4]hartono.budi@untidar.ac.id, [5]namira.rahma.putri@students.untidar.ac.id, [6]atikah.nur.fadlilah@students.untidar.ac.id, [7]galuh.witantri@students.untidar.ac.id, [8]erika.kurniasari@students.untidar.ac.id
Email Penulis Korespondensi: axelgiovanni@untidar.ac.id

Abstrak–Perubahan iklim mendorong urgensi transisi menuju ekonomi rendah karbon. Dalam hal ini keuangan hijau menjadi instrumen penting dalam memitigasi perubahan iklim. Namun, implementasinya keuangan hijau menghadapi tantangan seperti kompleksitas data, asimetri informasi, dan risiko *greenwashing*. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis peran kecerdasan buatan (AI) dalam memperluas adopsi, efektivitas, dan inovasi instrumen keuangan hijau di kalangan *stakeholders*. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) terhadap 61 artikel dari basis data Scopus yang dianalisis menggunakan kerangka PICo dan penilaian kualitas CASP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AI secara fundamental dapat mendukung 1) kebutuhan dan tantangan *stakeholders*, 2) akurasi, transparansi, dan efisiensi, 3) memitigasi risiko *greenwashing*. Kebutuhan dan tantangan stakeholder mampu diatasi AI dengan meningkatkan akurasi prediksi risiko dan analisis pasar, serta mengoptimalkan portofolio hijau. Mekanisme AI terbukti mampu meningkatkan akurasi melalui model prediktif canggih, memperkuat transparansi dengan *Explainable AI* (XAI) dan *blockchain*, serta mendorong efisiensi melalui otomatisasi dan optimisasi sumber daya. Secara signifikan, integrasi AI memperkuat dampak positif investasi berkelanjutan dan berfungsi sebagai alat mitigasi yang kuat terhadap risiko *greenwashing* dengan memverifikasi klaim lingkungan secara objektif dan meningkatkan akuntabilitas. AI menjadi teknologi transformatif untuk mengakselerasi ekosistem keuangan hijau yang efektif dan kredibel.

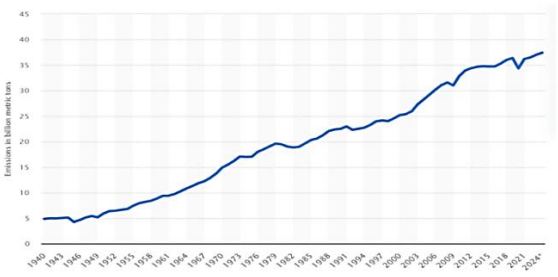
Kata Kunci: Kecerdasan Buatan; Keuangan Hijau; Potensi Kebijakan; *Systematic Literature Review*

Abstract–Climate change is driving the urgency of transitioning to a low-carbon economy. In this regard, green finance is an important instrument in mitigating climate change. However, the implementation of green finance faces challenges such as data complexity, information asymmetry, and the risk of greenwashing. This study aims to systematically examine the role of artificial intelligence (AI) in expanding the adoption, effectiveness, and innovation of green finance instruments among stakeholders. The method used is a Systematic Literature Review (SLR) of 61 articles from the Scopus database, analyzed using the PICo framework and CASP quality assessment. The results of the study indicate that AI can fundamentally support 1) stakeholder needs and challenges, 2) accuracy, transparency, and efficiency, and 3) mitigating the risk of greenwashing. Stakeholder needs and challenges can be addressed by AI through improved accuracy in risk prediction and market analysis, as well as optimizing green portfolios. AI mechanisms have proven capable of improving accuracy through advanced predictive models, strengthening transparency with Explainable AI (XAI) and blockchain, and driving efficiency through automation and resource optimization. Significantly, AI integration strengthens the positive impact of sustainable investments and serves as a powerful mitigation tool against greenwashing risks by objectively verifying environmental claims and enhancing accountability. AI emerges as a transformative technology to accelerate an effective and credible green financial ecosystem.

Keywords: Artificial Intelligence; Green Finance; Policy Potential; Systematic Literature Review

1. PENDAHULUAN

Keuangan hijau merupakan mekanisme pendanaan yang berfokus pada proyek-proyek lingkungan secara berkelanjutan dengan mempertimbangkan aspek lingkungan dan sosial dalam proses pengambilan keputusan (Martin, 2023). Saat ini isu mengenai perubahan iklim menjadi menjadi perhatian dunia dan memerlukan strategi penanganan yang komprehensif. Dampak dari perubahan iklim dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, kepunahan spesies, dan mengancam mata pencaharian masyarakat (Fu et al., 2024). Terjadinya anomali perubahan iklim disebabkan oleh meningkatnya kadar karbon dioksida dan gas rumah kaca secara terus menerus (McKinsey Global Institute, 2020). Peningkatan kadar karbon dioksida dunia menunjukkan peningkatan yang signifikan setiap tahunnya, yang mana seperti terlihat dalam Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Tren Peningkatan Kadar Karbon Dioksida di Atmosfer Global Tahunan (1940-2024)

Copyright © 2025 the author, Page 277
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

Gambar 1 menunjukkan bahwa peningkatan kadar karbon dioksida semakin mengkhawatirkan dan diprediksi akan terus meningkat di masa yang akan datang. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Tiseo pada tahun 2025, peningkatan kadar karbon dioksida didominasi oleh negara Cina dan Amerika Serikat. Hal ini dikarenakan kedua negara tersebut memiliki kegiatan industri dan aktivitas transportasi yang pesat dalam beberapa dekade terakhir (Tiseo, 2024). Untuk memitigasi fenomena tersebut dibutuhkan suatu instrumen keuangan berkelanjutan yang tepat, salah satunya yaitu keuangan hijau.

Keuangan hijau menjadi salah satu aspek utama dalam mendukung transisi menuju ekonomi rendah karbon. Dalam mendukung upaya tersebut, instrumen-instrumen keuangan hijau menjadi suatu alat yang penting dalam menyalurkan investasi ke dalam proyek-proyek yang berkelanjutan, seperti *green bonds, green loans, impact investing, green investment, green equity*, dan *green credit* (Louis Eyo-Udo et al., 2024; Niyazbekova et al., 2024; Chiţimiea et al., 2021; Saeedi & Ashraf, 2024). Namun, dalam implementasinya menghadapi kendala seperti kompleksitas data lingkungan, asimetri informasi, risiko *greenwashing*, dan skalabilitas yang terbatas (Sule et al., 2024; Li, 2024; Okeke et al., 2024).

Dalam konteks ini, kecerdasan buatan dinilai mampu mengatasi kendala-kendala tersebut melalui kemampuannya untuk mengolah data dalam skala besar dan bersifat *real-time*, memprediksi risiko iklim, mengoptimalisasi portofolio hijau, meningkatkan transparansi dan aksesibilitas data, dan menghasilkan wawasan yang dapat mendukung pengambilan keputusan keuangan (Raman et al., 2024; Setiawan et al., 2021). Akan tetapi, pemanfaatan kecerdasan buatan ini belum terintegrasi secara sistematis dalam ekosistem keuangan hijau terutama yang berkaitan dengan kebutuhan para *stakeholders* seperti pemerintah, lembaga keuangan, perusahaan, investor, dan masyarakat. (Yan Zeng et al., 2025).

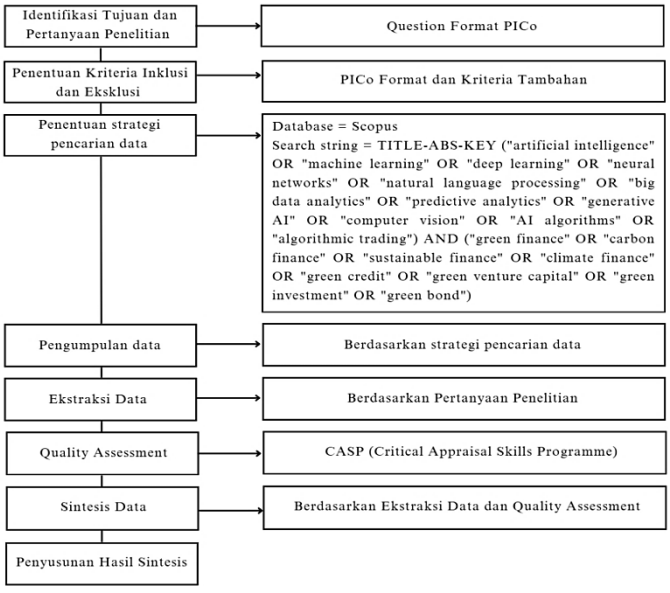
Oleh karena itu, tinjauan literatur yang sistematis dan komprehensif sangat diperlukan untuk memetakan lanskap penelitian saat ini, mengidentifikasi praktik terbaik, dan merumuskan kerangka kerja yang solid bagi para pemangku kepentingan. Tanpa sintesis pengetahuan yang terstruktur, integrasi AI dalam keuangan hijau berisiko berjalan secara sporadis dan tidak efektif, sehingga dapat memperlambat upaya mitigasi krisis iklim yang mendesak. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini akan dipandu oleh serangkaian pertanyaan kunci.

Secara spesifik, penelitian ini berupaya untuk menjawab bagaimana kebutuhan dan tantangan *stakeholders* dalam mengadopsi keuangan hijau dapat diatasi melalui AI. Selanjutnya, kajian ini akan mendalami mekanisme apa yang dimungkinkan oleh AI untuk meningkatkan akurasi, transparansi, dan efisiensi keuangan hijau. Pada akhirnya, penelitian ini akan mengkaji bagaimana integrasi AI dalam keuangan hijau dapat memperkuat dampak positif yang nyata dan mengurangi risiko *greenwashing*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan paradigma kuantitatif dengan menggunakan *Systematic Literature Review* (SLR). Pemilihan alat analisis ini sejalan dengan tujuan penelitian yaitu untuk menyintesis secara sistematis peran kecerdasan buatan dalam memperluas adopsi, efektivitas, dan inovasi instrumen keuangan hijau pada kalangan *stakeholders*, serta mengidentifikasi potensi kebijakan yang dapat mendukung pemanfaatan kecerdasan buatan untuk memitigasi kerusakan lingkungan. Alat analisis pada penelitian ini mengadopsi prosedur yang dikembangkan oleh Lame (2019) seperti yang tertera pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Penelitian

Copyright © 2025 the author, Page 278
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

Gambar 2 diatas merupakan prosedur dalam metode *sistematic literature review* yang dimulai dari penentuan tujuan dan pertanyaan penelitian, penentuan kriteria inklusi dan eksklusi, penentuan strategi pencarian data, pengumpulan data, ekstraksi data, penilaian kualitas, sintesis data, serta interpretasi hasil sintesis.

2.2 Pencarian Literatur

Pengumpulan data dokumen publikasi ilmiah yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan basis data Scopus dengan kata kunci ("artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "neural networks" OR "natural language processing" OR "big data analytics" OR "predictive analytics" OR "generative AI" OR "computer vision" OR "AI algorithms" OR "algorithmic trading") AND ("green finance" OR "carbon finance" OR "sustainable finance" OR "climate finance" OR "green credit" OR "green venture capital" OR "green investment" OR "green bond"). Kata kunci yang telah di-*generate* tersebut menggabungkan topik kecerdasan buatan dan keuangan hijau, sehingga akan menghasilkan dataset yang berisi dokumen yang relevan dengan tujuan penelitian (Witantri et al., 2024). Kemudian, dataset tersebut dilakukan ekstraksi data berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang mengacu pada format pertanyaan *Population, Intervention or Phenomena of Interest, and Context* (PICo) yang dikembangkan oleh James Cook University dan direkomendasikan oleh Munn et al. (2018) seperti yang disajikan dalam Tabel 1. Penggunaan format ini didasarkan dengan pertimbangan atas tujuan serta tipologi penelitian, yaitu "*expert opinion/policy reviews*" yang bertujuan untuk meninjau dan mensintesis pandangan para ahli, pernyataan, serta kebijakan yang dipaparkan dalam hasil penelitian ilmiah.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Berdasarkan PICO *Framework*

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Population	Studi yang melibatkan *stakeholders* dalam keuangan hijau seperti pemerintah, lembaga keuangan, perusahaan, investor, dan masyarakat.	Studi yang tidak melibatkan *stakeholder* yang secara langsung terlibat dalam implementasi atau pengelolaan keuangan hijau.
Intervention or Phenomena of Interest	Studi yang berfokus mengkaji peran kecerdasan buatan dalam mempercepat implementasi keuangan hijau.	Studi yang hanya berfokus mengkaji peran kecerdasan buatan tanpa adanya kaitannya terhadap implementasi keuangan hijau maupun instrumen keuangan hijau.
Context	Studi yang berfokus dalam upaya mitigasi kerusakan lingkungan melalui instrumen keuangan keberlanjutan.	Studi yang tidak mengkaji upaya mitigasi kerusakan lingkungan melalui instrumen keuangan keberlanjutan.

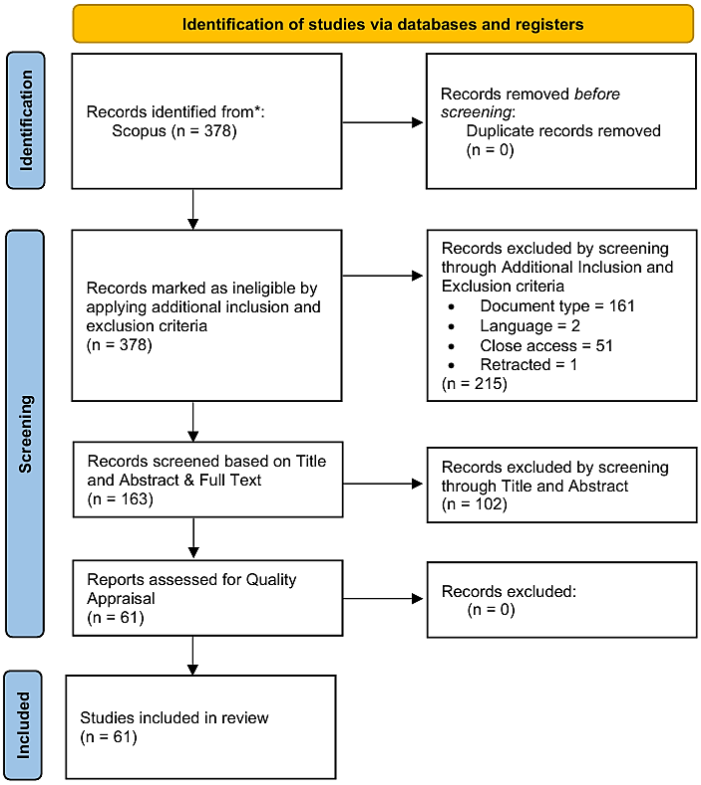
Berdasarkan tabel 1, dijelaskan bahwa studi yang memenuhi kriteria inklusi harus memenuhi tiga persyaratan utama. Pertama, studi wajib melibatkan stakeholder dalam keuangan hijau, seperti pemerintah, lembaga keuangan, perusahaan, investor, dan masyarakat, dikarenakan mereka merupakan pihak yang terlibat langsung dalam implementasi praktik tersebut. Kedua, studi yang ada harus secara eksplisit meneliti kontribusi kecerdasan buatan (AI) dalam mempercepat adopsi keuangan hijau, seperti analisis penerapan AI pada instrumen green bond, ESG reporting, atau manajemen risiko lingkungan. Dan ketiga, studi yang diikutsertakan harus berfokus pada upaya mitigasi kerusakan lingkungan melalui instrumen keuangan keberlanjutan, seperti mekanisme pendanaan hijau, kebijakan rendah karbon, dan isu keberlanjutan lainnya.

Penelitian ini hanya menggunakan tipe dokumen berupa *article* dan *review article*. Hal ini dikarenakan tipe dokumen tersebut dianggap sebagai *certified knowledge*, karena telah melewati prosedur evaluasi yang ketat, sehingga memberikan hasil yang kredibel (Danvila-del-Valle et al., 2019). Selain itu, dalam merepresentasikan aspek *universality*, penelitian ini hanya menyintesis dokumen yang berbahasa inggris (Indarti et al., 2020). Proses ekstraksi data dilakukan oleh empat peneliti secara terpisah untuk menghasilkan ekstraksi data yang terstandarisasi dari masing-masing pengulas secara independen dan mencegah terjadinya subjektivitas dalam hasil ulasan (Bonfield et al., 2017). Hasil ulasan dari masing-masing pengulas didiskusikan dalam proses *brainstorming* dengan penulis pertama, yang mana merupakan seorang ahli dalam bidang terkait untuk menentukan keputusan final sebelum dilakukan proses *quality assessment* dan sintesis data (Witantri et al., 2025).

Berdasarkan relevansi dari kriteria inklusi dan eksklusi pada saat proses screening, maka didapatkan sebanyak 61 artikel yang berhasil untuk dimasukkan ke dalam sampel penelitian. Gambar 3. menunjukkan ilustrasi proses *screening* penelitian ini. Proses screening dimulai dari pencarian literatur menggunakan kata kunci yang sudah ditetapkan sebelumnya. Melalui pencarian literatur pada database Scopus didapatkan sebanyak 378 studi. Dataset yang diunduh dalam format csv. tersebut kemudian dilakukan *screening* berdasarkan kriteria tambahan berupa *document type*, *language*, *close access*, dan *retracted file*. Dalam proses ini, sebanyak 215 studi dikecualikan (*exclude*), karena tidak memenuhi kriteria tambahan tersebut. Terakhir, sebanyak 102 studi dikecualikan berdasarkan *screening Title and Abstract*. Oleh karena itu, studi final yang menjadi sampel penelitian dan dilakukan proses penilaian kualitas didapatkan sebanyak 61 studi.

Copyright © 2025 the author, Page 279
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176



Gambar 3. Diagram PRISMA

2.3 Penilaian Kualitas

Proses sintesis data dilakukan dengan mengacu pada hasil penilaian kualitas menggunakan *Critical Appraisal Skills Programme* (CASP). Alat penilaian kualitas ini digunakan untuk menilai kualitas dokumen dalam kemampuannya menjawab pertanyaan penelitian (Long et al., 2020; Aburas & Alshammari, 2020). Akan tetapi, dalam penilaian kualitas ini tidak akan mengecualikan dokumen publikasi ilmiah manapun. Hal ini dikarenakan penilaian kualitas CASP ini dilakukan untuk memetakan studi berdasarkan kualitas sehingga membantu dalam proses penyusunan sintesis dengan memprioritaskan temuan dari studi berkualitas tinggi tanpa mengecualikan temuan relevan dari studi yang berkualitas lebih rendah (Long et al., 2020). Proses penilaian kualitas ini menggunakan basis 10 pertanyaan CASP berikut.

1. Apakah tujuan penelitian telah dinyatakan dengan jelas?
2. Apakah metodologi kualitatif sesuai?
3. Apakah desain penelitian sesuai untuk mencapai tujuan penelitian?
4. Apakah landasan teoretis penelitian jelas, konsisten, dan secara konseptual koheren?
5. Apakah strategi perekrutan sesuai dengan tujuan penelitian?
6. Apakah data dikumpulkan dengan cara yang sesuai untuk menjawab masalah penelitian?
7. Apakah hubungan antara peneliti dan peserta telah dipertimbangkan dengan cukup?
8. Apakah masalah etika telah dipertimbangkan?
9. Apakah analisis data cukup ketat?
10. Apakah terdapat pernyataan yang jelas mengenai temuan?

Keterangan : N: *No*, Y: *Yes*, C: *Cannot tell*(CASP, 2018)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Proses Screening dan Quality Assessment

Berdasarkan proses screening menggunakan kriteria inklusi yang telah ditetapkan, didapatkan sebanyak 61 studi. Studi yang memenuhi kriteria tersebut merupakan dokumen yang terpilih sebagai sampel dalam penelitian ini. Seluruh studi yang ditinjau dalam penelitian ini bersifat *open access* sehingga dapat diakses oleh publik dan telah dipublikasikan secara lengkap (*final*). Studi yang memenuhi syarat dan menjadi sampel penelitian tersebut kemudian dilakukan penilaian kualitas dengan menggunakan daftar periksa *Critical Appraisal Skills Programme* (CASP) yang terdiri dari sepuluh pertanyaan. Tabel 2. menunjukkan studi yang menjadi sampel penelitian sekaligus hasil dari *quality assessment* yang telah dilakukan.

Copyright © 2025 the author, Page 280
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

Tabel 2. Hasil Quality Assessment

Penulis, Tahun	Judul	Pertanyaan CASP									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Larosa F. et al, 2025	Large language models in climate and sustainability policy: limits and opportunities	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Wang F. et al, 2025	Impact of Green Finance on Chinese Urban Land Green Use Efficiency: An Empirical Study Based on a Quasinatural Experiment	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Winarto W. et al, 2025	Building an International Regulatory and Legal Framework for Green Digital Finance [Construindo um Quadro Regulatório e Legal Internacional para Finanças Digitais Verdes]	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	C	Y	Y
Dey D., 2024	Time series analysis of GSS bonds Part 2 – further univariate analysis of S&P Green Bond Index	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Du Z. et al, 2025	AI vs. ESG? Uncovering a Bidirectional Struggle in China's Sustainable Finance	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	C	Y	Y
Alonso-Robisco A. et al, 2025	Where and how machine learning plays a role in climate finance research	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Taghizadeh-Hesary F., 2025	The impact of artificial intelligence adoption and financial accessibility on energy sustainability	Y	Y	Y	Y	C	Y	N	N	Y	Y
Benghiat S. et al, 2025	Evaluating Predictive Models for Three Green Finance Markets: Insights from Statistical vs. Machine Learning Approaches	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	C	Y	Y
Baskaran D. et al, 2025	Future-proofing CO2 mitigation towards a circular economy: A systematic review on process integration and advanced tools	Y	Y	Y	Y	N	C	N	C	C	Y
Ma C.-Q. et al, 2025	Decoding the nexus: How fintech and AI stocks drive the future of sustainable finance	Y	Y	Y	Y	C	Y	N	N	Y	Y
Nepal R. et al, 2025	Can artificial intelligence technology innovation boost energy resilience? The role of green finance	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Wang X. et al, 2025	Environmental risk assessment and green transformation path for sustainable development in the banking industry of Kyrgyz republic and China	Y	Y	Y	Y	Y	Y	C	Y	Y	Y
Suárez Giri F. et al, 2024	Unveiling the blackbox within ESG ratings' blackbox: Toward a framework for analyzing AI adoption and its impacts	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y
Wang Q. et al, 2025	Does Artificial Intelligence (AI) enhance green economy efficiency? The role of green finance, trade openness, and R&D investment	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	Y
Alahmadi M., 2024	Optimizing Data Quality for Sustainable Development: An Integration of Green Finance with Financial Market Regulations	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Basher S. et al, 2025	How important are climate change risks for predicting clean energy stock prices? Evidence from machine learning predictive modeling and interpretation	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Xu B., 2025	Inclusive green finance approach to assess energy resilience: Integrating artificial intelligence (AI) utilization in energy strategy perspective	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Li T. et al, 2025	Blockchain Applications in Green Finance for Transparency and Accountability in Sustainable Investments	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Siriman N. et al, 2025	Green Finance and AI in India: A Synergistic Approach to Sustainable Development and	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	C	Y

Copyright © 2025 the author, Page 281
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

Penulis, Tahun	Judul	Pertanyaan CASP									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Climate Resilience										
Patro P. et al, 2025	Supply chain carbon finance indexing with generative AI and advanced data analytics techniques	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Wu B. et al, 2024	FinTech and Inclusive Green Growth: A Causal Inference Based on Double Machine Learning	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	C	Y	Y
Saeedi M. et al., 2024	The Role of Technology in Promoting Green Finance: A Systematic Literature Survey and the Development of a Framework	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	Y
Han C. et al, 2024	Financing and Management Strategies for Expanding Green Development Projects: A Case Study of Energy Corporation in China's Renewable Energy Sector Using Machine Learning (ML) Modeling	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Su C. et al, 2024	Unravelling Dynamics And Connectedness: Distinguishing The Influence Of Sustainable Finance And Artificial Intelligence On Energy Sustainability In China	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Lim T. 2024	Environmental, social, and governance (ESG) and artificial intelligence in finance: State-of-the-art and research takeaways	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	Y
Zhao H., 2023	Risk Management of Supply Chain Green Finance Based on Sustainable Ecological Environment	Y	Y	Y	C	N	Y	N	N	C	Y
Abdelhady A. et al, 2024	Green finance growth prediction model based on time-series conditional generative adversarial networks	Y	Y	Y	C	N	Y	N	N	Y	Y
Feng J. et al, 2024	Untying the nexus between environmental information disclosure, green finance, and green technological innovation: a multi-analytical (SEM-ANN) approach	Y	Y	Y	Y	Y	Y	C	Y	Y	Y
Zhang T., 2023	The Impact of Green Finance Development on Ecological Protection Based on Machine Learning	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Kocaarslan B. et al, 2024	The impact of liquidity conditions on the time-varying link between U.S. municipal green bonds and major risky markets during the COVID-19 crisis: A machine learning approach	Y	Y	Y	Y	C	Y	N	N	Y	Y
Ferrara M. et al, 2024	Machine Learning Predictive Modeling for assessing Climate Risk in Finance	Y	Y	Y	Y	C	Y	N	N	Y	Y
van der Heever W. et al, 2024	Understanding Public Opinion towards ESG and Green Finance with the Use of Explainable Artificial Intelligence	Y	Y	Y	Y	C	Y	N	N	Y	Y
Kocaarslan B. et al, 2023	The role of major markets in predicting the U.S. municipal green bond market performance: New evidence from machine learning models	Y	Y	Y	Y	C	Y	N	N	Y	Y
Fan S. et al, 2024	Does investor communication improve corporate social responsibility? A machine learning-based textual analysis	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y
Zhao C. et al, 2024	How does artificial intelligence promote renewable energy development? The role of climate finance	Y	Y	Y	Y	C	Y	N	N	Y	Y
Vu-Thi-nhu Q., 2024	Machine learning-based clustering analysis of the banking green credit for the renewable energy industry	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Wang B. et al, 2023	Fiscal Decentralization and County Natural Poverty: A Multidimensional Study Based on a	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y

Copyright © 2025 the author, Page 282
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

Penulis, Tahun	Judul	Pertanyaan CASP									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	BP Neural Network										
Metawa N. et al, 2023	Fraud-Free Green Finance: Using Deep Learning to Preserve the Integrity of Financial Statements for Enhanced Capital Market Sustainability	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Lu Y. et al, 2024	Research on User Default Prediction Algorithm Based on Adjusted Homogenous and Heterogeneous Ensemble Learning	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Sembiyeva L. et al, 2024	Applying Advanced Artificial Intelligence to Predict the Green Bond Market in Kazakhstan: Fostering Sustainable Financial Instruments and Environmental Objectives	Y	Y	Y	Y	Y	Y	C	N	Y	Y
Baals L.J. et al, 2024	Towards a new PhD Curriculum for Digital Finance	Y	Y	Y	Y	N	Y	C	C	Y	Y
Haase E. et al, 2024	Uncovering lobbying strategies in sustainable finance disclosure regulations using machine learning	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	C	Y	Y
Chen H. et al, 2023	Development of Environmental Action Plans for Adaptation to Climate Change: A Perspective of Air Quality Management	Y	Y	Y	Y	C	Y	C	N	Y	Y
Kuang M. et al, 2024	From bytes to sustainability: Asymmetric nexus between industrial artificial intelligence and green finance in advanced industrial AI nations	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Dey D., 2024	Time series analysis of GSS bonds	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Chang V. et al, 2024	Towards data and analytics driven B2B-banking for green finance: A cross-selling use case study	Y	Y	Y	Y	Y	Y	C	Y	Y	Y
Shi L. et al, 2024	The Promoting Role of Green Finance Reform and Innovation on the Sustainable Development of Low-Carbon Enterprises - An Analysis Based on Recursive Neural Networks	Y	Y	Y	Y	C	Y	C	C	C	Y
Soltani A., 2024	Exploring the interplay of foreign direct investment, digitalization, and green finance in renewable energy: Advanced analytical methods and machine learning insights	Y	Y	Y	Y	Y	Y	C	C	Y	Y
Anghel B.I. et al, 2024	Understanding Regulatory Changes: Deep Learning in Sustainable Finance and Banking	Y	Y	Y	Y	Y	Y	C	C	Y	Y
Xie M. et al., 2024	The Impact of Green Finance and Financial Technology on Regional Green Energy Technological Innovation Based on the Dual Machine Learning and Spatial Econometric Models	Y	Y	Y	Y	Y	Y	C	C	Y	Y
Hughes A. et al, 2021	Alternative esg ratings: How technological innovation is reshaping sustainable investment	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Feng T. et al, 2023	How Green Credit Policy Affects Commercial Banks' Credit Risk? Evidence and Federated Learning-Based Modeling From 26 Listed Commercial Banks in China	Y	Y	Y	Y	Y	Y	C	C	Y	Y
Zhang H. et al, 2023	The Optimization of Supply Chain Financing for Bank Green Credit Using Stackelberg Game Theory in Digital Economy Under Internet of Things	Y	Y	Y	Y	C	Y	N	Y	Y	Y
He F. et al, 2022	Evaluation of market risk and resource allocation ability of green credit business by deep learning under internet of things	Y	Y	Y	Y	C	Y	N	C	Y	Y
Zhang Y. et al, 2023	Research on enterprise digital agility based on machine learning: An evaluation of green financial technology	Y	Y	Y	Y	C	Y	N	Y	Y	Y

Copyright © 2025 the author, Page 283
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

Penulis, Tahun	Judul	Pertanyaan CASP									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zheng Y. et al, 2022	An Evaluation Model of an Urban Green Finance Development Level Based on the GA-Optimized Neural Network	Y	Y	Y	Y	C	Y	N	C	Y	Y
Brieva J., 2022	Datamining and its applications	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	Y	Y
Dwivedi D. et al, 2023	A Machine Learning Based Approach To Identify Key Drivers For Improving Corporate's Esg Ratings	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y
Tkachenko N., 2023	Opportunities for synthetic data in nature and climate finance	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Hemanand D. et al, 2022	Applications of Intelligent Model to Analyze the Green Finance for Environmental Development in the Context of Artificial Intelligence	Y	Y	Y	Y	N	C	N	Y	N	Y
Feng Y., 2022	Bank Green Credit Risk Assessment and Management by Mobile Computing and Machine Learning Neural Network under the Efficient Wireless Communication	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y

Hasil dari *quality assessment* ini secara umum menunjukkan bahwa seluruh publikasi ilmiah yang menjadi sampel penelitian memiliki kualitas yang baik. Hal ini didasarkan atas rekomendasi pengklasifikasian kualitas pada laman CASP bahwa apabila tiga pertanyaan pertama mendapatkan jawaban "Ya", maka publikasi tersebut memiliki kualitas yang baik dan dapat diandalkan (CASP, 2025).

3.2 Kebutuhan dan tantangan stakeholder dalam mengadopsi keuangan hijau dapat diatasi melalui AI (RQ1)

Stakeholder memiliki kebutuhan mendasar dalam pasar keuangan, yaitu dibutuhkannya kemampuan untuk memprediksi pergerakan harga saham dan obligasi hijau di masa depan, mengidentifikasi tren dan pola dalam pergerakan harga, serta menentukan aset mana yang paling sesuai dengan tujuan investasi mereka (Sembiyeva et al., 2024). Selain itu, stakeholder memiliki kebutuhan kritis dalam *green finance*, terutama terkait pengelolaan manajemen risiko dan ketahanan yang tinggi untuk menjamin keamanan data investasi mereka (Chen et al., 2023). Hal ini dibutuhkan untuk meningkatkan kepercayaan investor serta dukungan bagi praktik keuangan berkelanjutan (Anghel & Lupu, 2024).

Menurut Q. Wang et al. (2025), terdapat tantangan struktural dalam keuangan hijau seperti kesenjangan pendanaan yang lebar, keterlibatan sektor swasta yang masih terbatas, dan ancaman praktik *greenwashing*. Praktik *greenwashing* ini berisiko menurunkan kepercayaan investor dan menghambat tujuan keuangan hijau (Metawa et al., 2023; Xie et al., 2024). Selain itu, menurut Hughes et al. (2021), *greenwashing* bahkan dapat berawal dari sistem peringkat tradisional, dikarenakan kurangnya standarisasi, serta transparansi dalam peringkat ESG, yang merupakan aspek penting dalam praktik *green finance*. Kurangnya inklusivitas sosial dalam pertumbuhan ekonomi hijau juga menjadi tantangan dalam penerapan ini (Wu et al., 2024). Baals et al. (2024) menyatakan bahwa penerapan *green finance* menghadapi tantangan kompleks berupa meningkatnya kompleksitas data keuangan dan rasa kurang percaya terhadap adopsinya. Potensi bias muncul akibat ketidakseimbangan informasi di antara pemangku kepentingan, asimetri informasi, serta kesenjangan antara bank dan perusahaan hijau, yang berisiko menyebabkan penilaian yang salah, kerugian kredit, dan risiko kredit tinggi (Feng et al., 2023; Xie et al., 2024). Disisi lain, terdapat tantangan signifikan yang meliputi kekurangan data dan pelaporan ESG, kekhawatiran atas representativitas dataset sintetik mengenai keakuratannya, serta kurangnya data tentang perusahaan klien yang meneliti proyek energi berkelanjutan (Dwivedi et al., 2023; Hemanand et al., 2022; Tkachenko, 2023). Menurut Chen et al. (2023), penerapan *green finance* menghadapi tantangan signifikan dalam hal transparansi data, terutama terkait pemantauan serta tata kelola yang transparan dan akuntabel. Tantangan utama lainnya adalah keterbatasan waktu dan biaya yang melekat pada sistem peringkat tradisional, sehingga menghambat efektivitasnya (Hughes et al., 2021). Dan yang terakhir, adopsi keuangan hijau juga memerlukan efisiensi tinggi, jangkauan luas, serta akuntabilitas dalam kebijakan iklim dan keberlanjutan (Larosa et al., 2025)

Adopsi *Artificial Intelligence* (AI), terutama melalui teknik *machine learning* dan *natural language processing* (NLP), dapat secara signifikan meningkatkan pemahaman terhadap kebutuhan dan tantangan pemangku kepentingan (Haase & Sassen, 2024). Bahkan kebutuhan untuk bertahan di kondisi ketidakpastian pasar energi dan keberlanjutan energi dapat diatasi dengan AI yang mampu menyediakan skenario aplikasi baru untuk keuangan berkelanjutan yang mengoptimalkan penilaian obligasi hijau dan manajemen risiko asuransi hijau (Su & Qin, 2024). Menurut Baals et al. (2024), adopsi AI dan ML menjadi solusi krusial dengan mensistematisasikan serta menyediakan penilaian yang andal untuk investasi hijau. Adopsi ML juga dapat mengatasi kebutuhan dalam meningkatkan kelincahan digital dan pengambilan keputusan perusahaan (T. Zhang, 2023) . Model AI juga menyediakan solusi bagi perusahaan yang tidak tercakup lembaga pemeringkat tradisional dengan memprediksi skor ESG untuk mereka (Dwivedi et al., 2023). Menurut Xie et al. (2024), *fintech* berbasis AI dapat meningkatkan akurasi penilaian risiko melalui verifikasi identitas,

Copyright © 2025 the author, Page 284
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

profil investasi, dan perilaku konsumen yang diperkuat. Integrasi AI dan *fintech* ini memungkinkan analisis hubungan dinamis antar pasar keuangan seperti pasar energi bersih dan obligasi hijau untuk menciptakan nilai ekonomi sekaligus mengelola risiko aset berkelanjutan secara lebih presisi (Q. Wang et al., 2025). Selain itu, model gabungan berbasis *Federated Learning* (FL) mengungguli model bank tunggal dalam menyajikan data kredit hijau, sehingga mengurangi risiko terkait dan memperbaiki sistem manajemen risiko kredit (T. Feng et al., 2023). Menurut He et al. (2022), model *neural network algorithm* dalam *deep learning* digunakan untuk mengevaluasi risiko pasar modal secara akurat, memungkinkan pengambilan keputusan terinformasi dan mitigasi ketidakstabilan keuangan.

Model *deep learning* seperti *Temporal Convolutional Network* (TCN) dapat meningkatkan akurasi deteksi fraud, menanamkan transparansi, dan memulihkan kepercayaan investor (Metawa et al., 2023). Solusi AI ini mengandalkan analisis data tidak terstruktur dari berbagai sumber internet, memberikan perspektif objektif, dan mengurangi kerentanan terhadap greenwashing serta bias (Hughes et al., 2021). Kemudian, risiko portofolio keuangan hijau yang minimal akan meningkatkan keberlanjutan rantai pasokan, mendeteksi penipuan keuangan, dan mengelola risiko lingkungan, sehingga dapat memastikan model transparan dan dapat dijelaskan untuk membangun kepercayaan *stakeholder* (Lim, 2024; Wang & Abdykadyrov, 2025). Metode *Artificial Intelligence of Things* (AIoT) berperan sebagai alat otomatisasi yang kuat, menghubungkan berbagai objek melalui protokol komunikasi dan jaringan untuk mencapai interaksi informasi, tata kelola, serta pemantauan secara *real-time*, sehingga memfasilitasi transparansi dan akuntabilitas dalam keuangan hijau maupun kegiatan investasi keuangan hijau (Chen et al., 2023)**.** Kurangnya inklusivitas sosial dalam pertumbuhan ekonomi hijau dapat ditingkatkan dengan AI sehingga ada pertumbuhan hijau Inklusif di wilayah dengan infrastruktur digital, regulasi lingkungan, dan tingkat keuangan hijau yang lebih tinggi (Wu et al., 2024, Taghizadeh-Hesary, 2025, Nepal et al., 2025). Terakhir, AI membantu mengatasi tiga tantangan utama dalam pengembangan keuangan hijau, yaitu manajemen risiko proyek, inovasi produk pembiayaan, dan kepatuhan regulasi (Saeedi & Ashraf, 2024). Tantangan adopsi keuangan hijau dengan mengembangkan indeks pendanaan karbon rantai pasok yang kuat untuk menilai kesiapan negara dapat diatasi dengan teknik seperti *Generative Adversarial Networks* (GAN) dan *Principal Component Analysis* (PCA) yang memungkinkan ekstraksi wawasan berharga dari data yang tidak ideal (Patro et al., 2025). Namun, tantangan signifikan terkait ketiadaan kerangka regulasi yang jelas dan kerentanan masalah keamanan data tetap perlu diantisipasi. Kedepan, pemanfaatan AI harus diarahkan untuk menciptakan sistem keuangan yang lebih berkelanjutan dan inklusif, serta mengoptimalkan penilaian risiko lingkungan secara komprehensif, sembari memperkuat fondasi regulasi dan keamanan siber (Winarto & Parwoto, 2025).

Secara keseluruhan, dalam adopsi praktik keuangan hijau dibutuhkan kemampuan untuk memprediksi harga, analisis tren dan klasifikasi aset keuangan hijau, serta kebutuhan dalam pengelolaan manajemen risiko yang tinggi untuk menjamin keamanan data investasi. Adapun tantangan dalam penerapan praktik ini adalah adanya kesenjangan pendanaan, maraknya praktik greenwashing, kurangnya inklusivitas sosial, kompleksitas data, rasa kurang percaya dan potensi bias, kurangnya transparansi data dan pelaporan ESG, serta keterbatasan waktu dan biaya. Oleh karena itu, penggunaan kecerdasan buatan (AI) menggunakan teknik seperti *machine learning, deep learning, federated learning*, dan *natural language processing*, dapat secara signifikan mengatasi kebutuhan dan tantangan tersebut.

3.3 Mekanisme yang dimungkinkan oleh AI untuk meningkatkan akurasi, transparansi, dan efisiensi keuangan hijau (RQ2)

AI meningkatkan akurasi dalam keuangan hijau terutama melalui peningkatan kemampuan prediksi dan analisis data yang mendalam. Model AI mampu melakukan prediksi risiko pinjaman hijau dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan model tradisional (X. Wang & Abdykadyrov, 2025; Shi & Shang, 2024). Hal ini dikarenakan model pembelajaran mesin dapat mengatasi keterbatasan interpretasi model tradisional (Lu et al., 2024; Basher & Sadorsky, 2025). Selain itu, tingkat akurasi yang tinggi menggunakan model pembelajaran mesin seperti *classification and regression trees* dan *random forests*, AI mampu memprediksi peringkat kredit perusahaan yang ramah lingkungan (Ferrara et al., 2024; Alahmadi, 2024). Penelitian yang dilakukan oleh Dey, (2024b), Sembiyeva et al. (2024), Abdelhady et al. (2024), dan Dey (2024), menggunakan model AI *time-series conditional Generative Adversarial Networks* untuk memprediksi arah pasar obligasi hijau secara akurat. Sedangkan penelitian Du & Chen (2025), menggunakan model AI untuk membantu memprediksi risiko pasar dan menganalisis informasi ESG perusahaan dalam membuat keputusan investasi yang lebih baik. Selain itu, AI juga dapat menyediakan penilaian risiko yang lebih akurat dan manajemen risiko dalam keuangan hijau, serta membantu mengatasi adanya asimetri informasi dengan menyediakan data yang diperlukan bagi lembaga keuangan dalam pengambilan keputusan yang tepat terkait alokasi kredit hijau (Nepal et al., 2025; F. Wang et al., 2025; Su & Qin, 2024). Mekanisme lain yang dimungkinkan AI adalah *artificial neural network* (ANN) yang telah digunakan untuk memprediksi scenario eksperimental termasuk pengurangan emisi karbon dioksida dan tingkat pertumbuhan ekonomi dengan akurasi yang sudah dievaluasi (Han & Yang, 2024). Sedangkan model *temporal convolutional network* (TCN) menunjukkan akurasi dan keandalan yang luar biasa dalam mendeteksi penipuan laporan keuangan, hal ini menunjukkan tingkat transparansi di pasar energi (Metawa et al., 2023).

AI meningkatkan transparansi dalam keuangan hijau melalui peningkatan pembagian informasi dan kemudahan interpretasi model. Platform yang didukung AI mampu memfasilitasi penilaian risiko dengan menyediakan analisis prediktif berdasarkan data historis dan *real-time* (Siriman et al., 2025). Dalam memastikan fleksibilitas dan kepercayaan data perusahaan, AI memfasilitasi pemantauan aliran dana secara *real-time* dan deteksi dini potensi risiko, sehingga dapat mencegah praktik tidak etis dan memastikan hanya proyek berkelanjutan yang benar-benar menerima dukungan

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

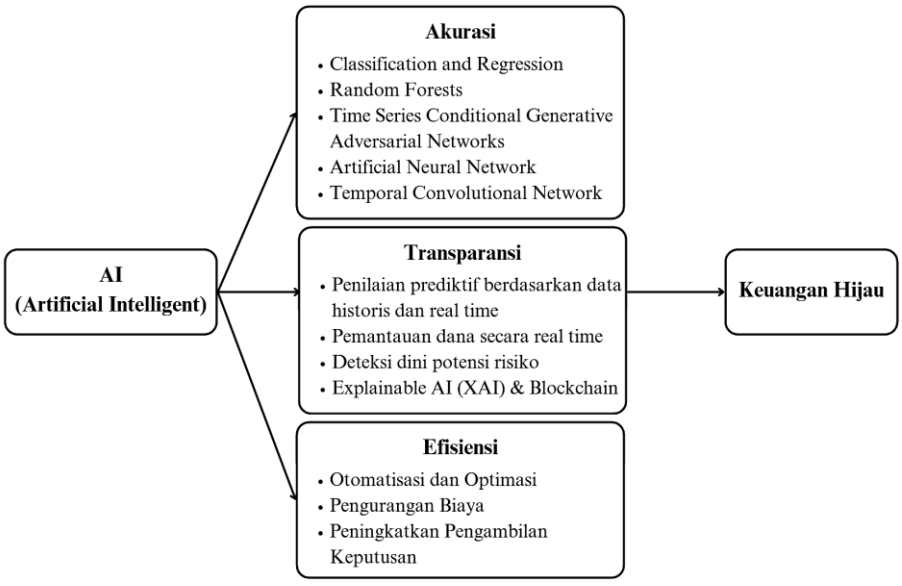
TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

keuangan hijau (F. Wang et al., 2025). Penggunaan AI dapat membantu memverifikasi keselarasan data dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (Larosa et al., 2025.). Namun, peningkatan volume data yang dimungkinkan oleh AI dapat menyebabkan divergensi peringkat ESG yang lebih besar, sehingga terdapat kebutuhan mendesak akan transparansi AI yang lebih tinggi (Suárez Giri & Sánchez Chaparro, 2024). Selain itu, metode pembuatan data sintesis harus didokumentasikan sepenuhnya untuk menjaga transparansi dan reproduksibilitas (Tkachenko, 2023). *Explainable AI* (XAI) mampu meningkatkan interpretasi, keandalan, dan tindakan model analisis sentimen dalam konteks ESG dan keuangan hijau (van der Heever et al., 2024; Kocaarslan & Mushtaq, 2023; Kocaarslan & Soytas, 2023). Metode X*AI* juga mampu mendeteksi potensi bias dan *overfitting* dengan mengidentifikasi ketergantungan pada fitur yang tidak relevan atau mengungkapkan ketergantungan kepentingan yang tidak terduga (Larosa et al., 2025; van der Heever et al., 2024). Temuan dari Winarto & Parwoto (2025) menyebutkan bahwa *blockchain* juga secara khusus disebutkan mampu meningkatkan transparansi dalam penerbitan obligasi hijau.

AI meningkatkan efisiensi dalam keuangan hijau melalui otomatisasi, optimasi, pengurangan biaya, dan peningkatan pengambilan keputusan. AI mengotomatiskan proses bisnis, berinteraksi dengan pelanggan dan karyawan, serta memperoleh wawasan melalui analisis data (Ma et al., 2025). Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Q. Wang et al. (2025), mengatakan bahwa AI mampu mengoptimalkan alokasi sumber daya dan meningkatkan efisiensi aliran informasi. Menurut Lim (2024) dan Y. Feng (2022), AI digunakan untuk manajemen operasional berkelanjutan yang efisien seperti manajemen rantai pasokan, logistik, dan pengiriman guna mengurangi jejak karbon. Inovasi teknologi AI memberikan cara-cara baru untuk mengoptimalkan dampak operasional di berbagai sektor industri energi, contohnya seperti di sektor pertanian, algoritma optimasi berbasis AI dapat meningkatkan hasil panen, alokasi sumber daya, dan pengendalian hama (Kuang et al., 2024). Sedangkan dalam sektor energi, AI dapat meningkatkan optimasi pembangkitan dan penggunaan listrik, prediksi kesalahan, dan penggabungan energi terbarukan (Xu, 2025). Penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al. (2023) menyebutkan bahwa model penilaian kredit berbasis BPNN dapat membantu memprediksi kinerja inovasi ilmiah dan teknologi dalam keuangan hijau, hal ini memungkinkan untuk meningkatkan kenyamanan elektronik perusahaan.

Efisiensi dalam keuangan hijau juga dapat ditingkatkan melalui peran AI dalam mengatasi inefisiensi seperti biaya transaksi yang tinggi dan kurangnya mekanisme komunikasi informasi praktis dalam keuangan hijau (Nepal et al., 2025). Pengurangan biaya transaksi dan produksi tersebut dapat teratasi karena AI menggunakan platform digital, sehingga dapat meminimalkan biaya transaksi dan produksi (Q. Wang et al., 2025). Selain itu, AI berkontribusi pada peningkatan efisiensi energi yang berkelanjutan dengan terus-menerus mengoptimalkan proses dan melakukan penyesuaian berdasarkan data yang berkembang (Zhao et al., 2024). Dalam meningkatkan efisiensi staff di semua tingkatan kantor keuangan hijau, penggunaan AI dinilai mampu mengatasi hal tersebut (T. Zhang, 2023). Penggunaan *Back Propagation Neural Network* (BPNN) juga memiliki keuntungan dalam melakukan adaptasi dan kemampuan belajar mandiri yang memungkinkan dalam menganalisis status promosi keuangan hijau perkotaan secara efektif, ilmiah, dan rasional (Zheng & Ye, 2022).

Secara keseluruhan, AI menyediakan alat dan metodologi canggih yang secara fundamental mengubah cara keuangan hijau dalam beroperasi, menjadikannya lebih akurat dalam prediksinya, lebih transparan dalam operasinya, dan lebih efisien dalam pengalokasian sumber daya dan manajemen risiko (Taghizadeh-Hesary, 2025; Baskaran & Byun, 2025; Benghiat & Lahmiri, 2025; Alonso-Robisco et al., 2025). AI meningkatkan akurasi prediksi risiko dan analisis pasar, mendorong transparansi melalui pemantauan *real-time* dan *Explainable AI* (XAI), serta meningkatkan efisiensi dengan mengotomatisasi proses dan mengurangi biaya transaksi. Berikut ilustrasi yang menggambarkan mekanisme AI dalam meningkatkan akurasi, transparansi, dan efisiensi keuangan hijau.



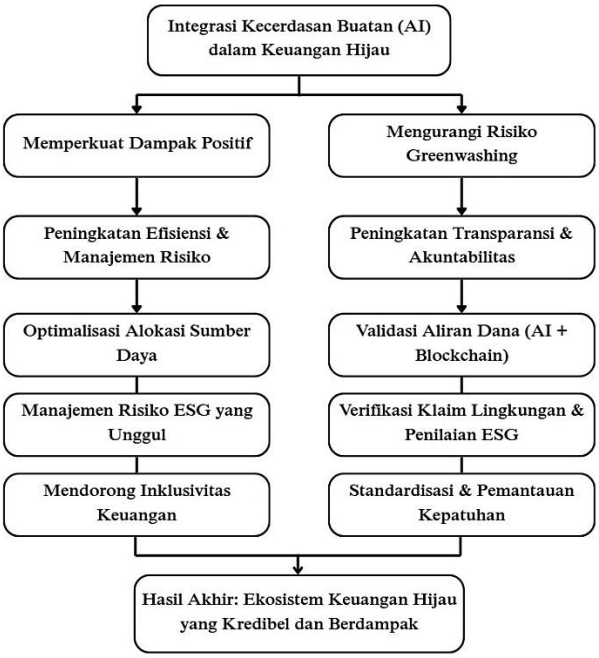
Gambar 4. Mekanisme AI untuk Meningkatkan Akurasi, Transparansi, dan Efisiensi Keuangan Hijau

Copyright © 2025 the author, Page 286
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

3.4 Integrasi AI dalam keuangan hijau dapat memperkuat dampak positif yang nyata dan mengurangi risiko *greenwashing* (RQ3)

Dalam era transisi menuju ekonomi yang berkelanjutan, keuangan hijau menjadi instrumen penting untuk mendorong tercapainya perekonomian yang ramah lingkungan sekaligus bertanggung jawab secara sosial (Siriman et al. 2025; J. Feng et al., 2024). Namun, meningkatnya minat terhadap keuangan hijau juga disertai tantangan yang serius, salah satunya adalah risiko *greenwashing* (Winarto & Parwoto, 2025; Brieva, 2022). *Greenwashing* merupakan penyalahgunaan klaim keberlanjutan yang menyesatkan publik (van der Heever et al., 2024). Untuk mengatasi tantangan ini sekaligus meningkatkan efektivitas keuangan hijau, pemanfaatan teknologi mutakhir seperti kecerdasan buatan (AI) menjadi solusi yang semakin relevan dan strategis (van der Heever et al., 2024). Integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam ekosistem keuangan hijau merepresentasikan sebuah paradigma transformatif dengan potensi ganda, yaitu untuk mengamplifikasi dampak positif dari investasi berkelanjutan dan untuk memitigasi risiko disinformasi lingkungan (*greenwashing*) (Du & Chen, 2025). Flowchart berikut ini menjelaskan bagaimana integrasi AI memperkuat dampak positif dan mengurangi risiko *greenwashing*.



Gambar 5. Peran Ganda AI dalam Keuangan Hijau

Kontribusi AI terwujud melalui peningkatan kapabilitas analitis untuk efisiensi dan manajemen risiko, serta penguatan infrastruktur transparansi dan akuntabilitas (Sembiyeva et al., 2024). Kontribusi utama AI dalam memperkuat dampak positif keuangan hijau terletak pada kemampuannya untuk meningkatkan efisiensi operasional dan strategis secara fundamental (T. Li et al., 2025). Melalui teknik canggih seperti *machine learning* dan *deep learning*, AI mampu menganalisis beragam data untuk memprediksi kelayakan kredit proyek hijau dengan lebih akurat (Vu-Thi-nhu, 2024). Hal ini memungkinkan alokasi sumber daya yang efisien ke perusahaan dan proyek yang benar-benar bertanggung jawab terhadap lingkungan, seperti proyek energi terbarukan yang dikelompokkan berdasarkan potensi keberhasilan tertinggi, sehingga mempercepat pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (Fan et al., 2024; Baskaran & Byun, 2025). Melalui analisis kumpulan data berskala besar (*big data*), AI dapat melakukan analisis prediktif untuk optimalisasi alokasi sumber daya. Sebagai contoh, dalam penelitian Q. Wang et al., (2025) pada sektor perikanan, model AI dapat memprediksi dinamika populasi ikan dengan akurasi tinggi, yang mengarah pada strategi penangkapan yang lebih berkelanjutan. Kemudian dalam penelitian Patro et al., (2025) pada sektor energi, AI mengoptimalkan efisiensi proses produksi dan pemanfaatan energi dengan memprediksi permintaan dan penawaran secara dinamis. Kemampuan automasi dan prediktif ini juga secara signifikan mempersingkat siklus penelitian dan pengembangan (R&D) teknologi hijau, yang pada akhirnya menekan biaya dan mempercepat laju inovasi (Xu, 2025).

Selanjutnya, AI secara substansial meningkatkan kapabilitas institusi keuangan dalam penilaian dan manajemen risiko, terutama yang berkaitan dengan faktor Lingkungan, Sosial, dan Tata Kelola (ESG) (Chang et al., 2024). Model AI mampu mengidentifikasi, mengukur, dan memprediksi risiko-risiko kompleks seperti dampak finansial dari perubahan iklim, isu ketenagakerjaan dalam rantai pasok, atau kerentanan infrastruktur energi terhadap peristiwa cuaca ekstrem (Xu, 2025). Dengan demikian, AI memungkinkan pengambilan keputusan investasi yang lebih terinformasi dan rasional (Wu et al., 2024). Di samping itu, AI mendorong inklusivitas keuangan dengan menjadi fondasi bagi platform pinjaman digital (Lim, 2024); Xie et al., 2024). Platform ini menggunakan data alternatif untuk menilai kelayakan kredit, sehingga mampu menjembatani kesenjangan pendanaan bagi proyek-proyek hijau berskala kecil dan usaha di daerah pedesaan yang sebelumnya tidak terjangkau oleh sistem keuangan konvensional (Siriman et al., 2025).

Copyright © 2025 the author, Page 287
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

Kecerdasan buatan (AI) berperan sebagai instrumen mitigasi risiko *greenwashing* dengan meningkatkan kredibilitas dan akuntabilitas pelaporan lingkungan (Winarto & Parwoto, 2025). Dalam penelitian yang dilakukan oleh T. Li et al., (2025), sinergi antara AI dan teknologi *blockchain* menghadirkan sebuah ekosistem yang transparan untuk pemantauan aliran dana hijau. Sifat *blockchain* yang terdesentralisasi, tidak dapat diubah (*immutable*), dan dapat dilacak (*traceable*) memungkinkan pemangku kepentingan untuk memvalidasi aliran investasi dan dampak lingkungan yang diklaim secara *real-time* (Xie et al., 2024). Ini secara efektif mengurangi asimetri informasi dan membangun kepercayaan investor, karena setiap klaim hijau dapat diverifikasi secara independen, memastikan bahwa pendanaan dialokasikan secara eksklusif untuk proyek yang memenuhi kriteria keberlanjutan (F. Wang et al., 2025). Selain itu, dengan menganalisis komunikasi perusahaan dan data operasional secara objektif, AI dapat memverifikasi klaim lingkungan, menghilangkan asimetri informasi antara pemodal dan perusahaan, serta meningkatkan pengawasan dari investor dan publik (Soltani, 2024; T. Zhang, 2023). Peningkatan akuntabilitas ini memastikan bahwa investasi hijau benar-benar mendanai inisiatif berkelanjutan, bukan hanya klaim kosong, sehingga memperkuat integritas seluruh ekosistem keuangan hijau (He et al., 2022). Namun dalam implementasinya, Basher & Sadorsky, (2025) dalam penelitiannya menyoroti adanya kesenjangan dalam akuntabilitas pasar saat ini.

Lebih lanjut, AI merevolusi proses penilaian dan pelaporan ESG dengan menyediakan analisis yang lebih akurat dan objektif (Lim, 2024). Algoritma AI mampu memproses dan menganalisis volume besar data tidak terstruktur, seperti berita media, laporan LSM, dan sentimen publik di media sosial. Hal ini berguna untuk menghasilkan penilaian kinerja keberlanjutan perusahaan dari perspektif "luar ke dalam" (*outside-in*) (Hughes et al., 2021). Pendekatan ini melengkapi laporan yang diterbitkan sendiri oleh perusahaan, yang sering kali rentan terhadap bias (Siriman et al., 2025). AI juga dapat digunakan untuk mensimulasikan aktivitas *greenwashing* guna membangun model deteksi yang lebih baik, mengotomatiskan pemantauan kepatuhan terhadap regulasi, dan membantu standardisasi metrik data lingkungan (Tkachenko, 2023). Dengan demikian, AI berfungsi sebagai mekanisme validasi yang kuat untuk memastikan integritas klaim keberlanjutan.

Dengan demikian, AI berfungsi sebagai mekanisme validasi yang kuat untuk memastikan integritas klaim keberlanjutan. Peran ganda inilah yang menempatkan AI sebagai katalisator transformatif, yang secara simultan mampu mengarahkan investasi ke proyek paling berdampak seraya membangun benteng pertahanan terhadap praktik *greenwashing*. Kemampuannya untuk memaksimalkan efisiensi alokasi modal sekaligus menjaga integritas pasar menjadikan AI pilar fundamental dalam mengakselerasi transisi menuju ekonomi berkelanjutan yang kredibel dan dapat diverifikasi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengkaji peran strategis kecerdasan buatan (AI) dalam memperluas adopsi, efektivitas, dan inovasi dalam ekosistem keuangan hijau. Hasil analisis literatur menunjukkan bahwa AI mampu menjawab berbagai kebutuhan dan tantangan fundamental yang dihadapi oleh para pemangku kepentingan, termasuk investor, lembaga keuangan, pemerintah, dan perusahaan dengan dengan meningkatkan akurasi prediksi risiko, analisis data, dan standardisasi ESG. Mekanisme AI secara fundamental meningkatkan akurasi melalui model-model prediktif, memperkuat transparansi menggunakan *Explainable AI* (XAI) dan *blockchain*, serta mendorong efisiensi melalui otomatisasi dan optimisasi sumber daya. Dengan demikian, AI tidak hanya memperkuat dampak positif dari investasi berkelanjutan, tetapi juga berfungsi sebagai alat mitigasi yang kuat terhadap risiko *greenwashing* dengan memverifikasi klaim lingkungan secara objektif dan meningkatkan akuntabilitas. Secara praktis, studi ini menekankan bagi pemegang kepentingan seberapa pentingnya untuk mengembangkan alat AI untuk pemantauan real-time investasi hijau didukung oleh transparansi algoritma dan keamanan siber yang tidak hanya memperkuat dampak positif dari investasi berkelanjutan, tetapi juga sebagai mekanisme validasi yang kuat untuk memastikan integritas klaim keberlanjutan. Dari perspektif kebijakan, pemerintah dan lembaga keuangan diharapkan mampu berkolaborasi untuk mengembangkan regulasi dan mekanisme pendanaan yang tepat untuk mendorong adopsi AI dalam ekosistem keuangan hijau. Studi ini memiliki keterbatasan fokus pada literatur berbahasa inggris yang terindeks Scopus yang dapat mengabaikan inovasi regional dan dominasi studi konseptual dibandingkan analisis empiris. Oleh karena itu, penelitian di masa depan disarankan untuk berfokus pada uji coba model AI di dunia nyata dan menggunakan dasar empiris untuk memperkuat dasar bukti. Meskipun potensi yang dimiliki AI besar, penelitian di masa depan sangat disarankan untuk berfokus pada pengembangan kerangka regulasi yang jelas guna memastikan implementasi AI yang etis dan aman. Prioritas lainnya adalah memperkuat keamanan siber untuk melindungi data sensitif. Selain itu, penelitian selanjutnya diharapkan untuk mendukung penggunaan *Explainable AI* (XAI) dalam meningkatkan transparansi model, mendorong standardisasi metrik ESG secara global, serta mengevaluasi dampak sosial dari adopsi AI untuk menjamin terwujudnya pertumbuhan hijau yang adil dan inklusif.

REFERENCES

Abdelhady, A. S., Dahmani, N., AbouEl-Magd, L. M., Darwish, A., & Hassanien, A. E. (2024). Green finance growth prediction model based on time-series conditional generative adversarial networks. *PLoS ONE*, *19*(7). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306874

Copyright © 2025 the author, Page 288
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

Aburas, W., & Alshammari, T. M. (2020). Pharmacists' roles in emergency and disasters: COVID-19 as an example. In *Saudi Pharmaceutical Journal*, 28 (12), 1797–1816. Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.jsps.2020.11.006

Alahmadi, M. (2024). Optimizing Data Quality for Sustainable Development: An Integration of Green Finance with Financial Market Regulations. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(23). https://doi.org/10.3390/su162310418

Alonso-Robisco, A., Bas, J., Carbo, J. M., de Juan, A., & Marques, J. M. (2025). Where and how machine learning plays a role in climate finance research. *Journal of Sustainable Finance and Investment*, *15*(2), 456–497. https://doi.org/10.1080/20430795.2024.2370325

Anghel, B. I., & Lupu, R. (2024). Understanding Regulatory Changes: Deep Learning in Sustainable Finance and Banking. *Journal of Risk and Financial Management*, *17*(7). https://doi.org/10.3390/jrfm17070295

Baals, L. J., Osterrieder, J. R., Hadji-Misheva, B., & Liu, Y. (2024). Towards a new PhD Curriculum for Digital Finance. *Open Research Europe*, *4*. https://doi.org/10.12688/openreseurope.16513.1

Basher, S. A., & Sadorsky, P. (2025). How important are climate change risks for predicting clean energy stock prices? Evidence from machine learning predictive modeling and interpretation. *Journal of Climate Finance*, *10*. https://doi.org/10.1016/j.jclimf.2024.100058

Baskaran, D., & Byun, H. S. (2025). Future-proofing CO2 mitigation towards a circular economy: A systematic review on process integration and advanced tools. In *Environmental Science and Ecotechnology* (Vol. 26). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.ese.2025.100587

Benghiat, S., & Lahmiri, S. (2025). Evaluating Predictive Models for Three Green Finance Markets: Insights from Statistical vs. Machine Learning Approaches. *Computation*, *13*(3). https://doi.org/10.3390/computation13030076

Bonfield, M., Fearnside, L., & Cramp, F. (2017). A Personal Experience of Performing a Systematic Literature Review. *Journal of Allied Health*, *47*(3), 167–171. https://www.jstor.org/stable/48722081

Brieva, J. (2022). Datamining and its applications. *Journal of Artificial Intelligence and Technology*, *2*(3), 77–79. https://doi.org/10.37965/jait.2022.0125

Critical Appraisal Skills Programme. (2018). CASP Checklist. CASP UK. https://casp-uk.net/casp-tools-checklists/

Critical Appraisal Skills Programme. (2025). How do i score my answers when using a CASP checklist?. CASP UK. https://casp-uk.net/faqs/

Chang, V., Hahm, N., Xu, Q. A., Vijayakumar, P., & Liu, L. (2024). Towards data and analytics driven B2B-banking for green finance: A cross-selling use case study. *Technological Forecasting and Social Change*, *206*. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123542

Chen, H. S., Tam, K. I., Zhao, Y. L., Yuan, L., Wang, W., Lin, M., & Chiang, P. C. (2023). Development of Environmental Action Plans for Adaptation to Climate Change: A Perspective of Air Quality Management. *Aerosol and Air Quality Research*, *23*(10). https://doi.org/10.4209/aaqr.220377

Chiţimiea, A., Minciu, M., Manta, A. M., Ciocoiu, C. N., & Veith, C. (2021). The drivers of green investment: A bibliometric and systematic review. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(6). https://doi.org/10.3390/su13063507

Danvila-del-Valle, I., Estévez-Mendoza, C., & Lara, F. J. (2019). Human resources training: A bibliometric analysis. *Journal of Business Research*, *101*, 627–636. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.02.026

Dey, D. (2024a). Time series analysis of GSS bonds. In *British Actuarial Journal* (Vol. 29). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/S1357321724000011

Dey, D. (2024b). Time series analysis of GSS bonds Part 2 – further univariate analysis of S&P Green Bond Index. In *British Actuarial Journal* (Vol. 29). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/S1357321724000217

Du, Z., & Chen, C. (2025). AI vs. ESG? Uncovering a Bidirectional Struggle in China's Sustainable Finance. *Sustainability (Switzerland)*, *17*(9). https://doi.org/10.3390/su17094238

Dwivedi, D., Batra, S., & Pathak, Y. K. (2023). A MACHINE LEARNING BASED APPROACH TO IDENTIFY KEY DRIVERS FOR IMPROVING CORPORATE'S ESG RATINGS. *Journal of Law and Sustainable Development*, *11*(1). https://doi.org/10.37497/sdgs.v11i1.242

Fan, S., Kong, D., Lu, J., & Yu, H. (2024). Does investor communication improve corporate social responsibility? A machine learning-based textual analysis. *China Journal of Accounting Research*, *17*(3). https://doi.org/10.1016/j.cjar.2024.100370

Feng, J., Yu, C., & Xufeng, W. (2024). Untying the nexus between environmental information disclosure, green finance, and green technological innovation: a multi-analytical (SEM-ANN) approach. *Frontiers in Environmental Science*, *12*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1360901

Feng, T., Xu, J., Zhou, Z., & Luo, Y. (2023). How Green Credit Policy Affects Commercial Banks' Credit Risk? Evidence and Federated Learning-Based Modeling From 26 Listed Commercial Banks in China. *Journal of Cases on Information Technology*, *26*(1). https://doi.org/10.4018/JCIT.333858

Feng, Y. (2022). Bank Green Credit Risk Assessment and Management by Mobile Computing and Machine Learning Neural Network under the Efficient Wireless Communication. *Wireless Communications and Mobile Computing*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/3444317

Ferrara, M., Ciano, T., Capriotti, A., & Muzzioli, S. (2024). Machine Learning Predictive Modeling for assessing Climate Risk in Finance. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, *20*, 852–862. https://doi.org/10.37394/232015.2024.20.80

Fu, C., Lu, L., & Pirabi, M. (2024). Advancing green finance: a review of climate change and decarbonization. *Digital Economy and Sustainable Development*, *2*(1). https://doi.org/10.1007/s44265-023-00026-x

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

Haase, E., & Sassen, R. (2024). Uncovering lobbying strategies in sustainable finance disclosure regulations using machine learning. *Journal of Environmental Management*, *356*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120562

Han, C., & Yang, L. (2024). Financing and Management Strategies for Expanding Green Development Projects: A Case Study of Energy Corporation in China's Renewable Energy Sector Using Machine Learning (ML) Modeling. *Sustainability (Switzerland)* , *16*(11). https://doi.org/10.3390/su16114338

He, F., Wang, M., & Zhou, P. (2022). Evaluation of market risk and resource allocation ability of green credit business by deep learning under internet of things. *PLoS ONE*, *17*(4 April). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266674

Hemanand, D., Mishra, N., Premalatha, G., Mavaluru, D., Vajpayee, A., Kushwaha, S., & Sahile, K. (2022). Applications of Intelligent Model to Analyze the Green Finance for Environmental Development in the Context of Artificial Intelligence. *Computational Intelligence and Neuroscience*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/2977824

Hughes, A., Urban, M. A., & Wójcik, D. (2021). Alternative esg ratings: How technological innovation is reshaping sustainable investment. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(6). https://doi.org/10.3390/su13063551

Indarti, N., Lukito-Budi, A. S., & Islam, A. M. (2020). A systematic review of halal supply chain research: to where shall we go? In *Journal of Islamic Marketing* (Vol. 12, Issue 9, pp. 1930–1949). Emerald Group Holdings Ltd. https://doi.org/10.1108/JIMA-05-2020-0161

Kocaarslan, B., & Mushtaq, R. (2023). The impact of liquidity conditions on the time-varying link between U.S. municipal green bonds and major risky markets during the COVID-19 crisis: A machine learning approach, 184. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113911

Kocaarslan, B., & Soytas, U. (2023). The role of major markets in predicting the U.S. municipal green bond market performance: New evidence from machine learning models, 196, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122820

Kuang, M., Kuang, D., Rasool, Z., Saleem, H. M. N., & Ullah, M. I. (2024). From bytes to sustainability: Asymmetric nexus between industrial artificial intelligence and green finance in advanced industrial AI nations. *Borsa Istanbul Review*, *24*(5), 886–897. https://doi.org/10.1016/j.bir.2024.03.010

Lame, G. (2019). Systematic literature reviews: An introduction. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, *2019-August*, 1, 1633–1642. https://doi.org/10.1017/dsi.2019.169

Larosa, F., Hoyas, S., -Martinez, G., Nerini, F., & Vinuesa, R. (2025). *Large language models in climate and sustainability policy: limits and opportunities*, 20(7), 1-10. http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/addd36

Li, T., Lau, W. T., & Dato Haji Yahya, M. H. (2025). Blockchain Applications in Green Finance for Transparency and Accountability in Sustainable Investments. *Sustainability (Switzerland)*, *17*(6). https://doi.org/10.3390/su17062520

Li, Y. (2024). Promoting Sustainable Investment Through Designing and Pricing Green Financial Derivatives. Highlights in *Business, Economics and Management GEFHR*, 43, 63-69. http://dx.doi.org/10.54097/n6h8k824

Lim, T. (2024). Environmental, social, and governance (ESG) and artificial intelligence in finance: State-of-the-art and research takeaways. *Artificial Intelligence Review*, *57*(4). https://doi.org/10.1007/s10462-024-10708-3

Long, H. A., French, D. P., & Brooks, J. M. (2020). Optimising the value of the critical appraisal skills programme (CASP) tool for quality appraisal in qualitative evidence synthesis. *Research Methods in Medicine & Health Sciences*, *1*(1), 31–42. https://doi.org/10.1177/2632084320947559

Louis Eyo-Udo, N., Agho, M. O., Onukwulu, E. C., Sule, A. K., & Azubuike, C. (2024). Advances in green finance solutions for combating climate change and ensuring sustainability. *Gulf Journal of Advance Business Research*, *2*(6), 338–375. https://doi.org/10.51594/gjabr.v2i6.53

Lu, Y., Wang, K., Sun, H., Qu, H., Chen, J., Liu, W., & Chang, C. (2024). Research on User Default Prediction Algorithm Based on Adjusted Homogenous and Heterogeneous Ensemble Learning. *Applied Sciences (Switzerland)*, *14*(13). https://doi.org/10.3390/app14135711

Ma, C. Q., Liu, X., Klein, T., & Ren, Y. S. (2025). Decoding the nexus: How fintech and AI stocks drive the future of sustainable finance. *International Review of Economics and Finance*, *98*. https://doi.org/10.1016/j.iref.2025.103877

Martin, V. (2023). Green Finance: Regulation and Instruments. *Journal of Central Banking Theory and Practice*, *12*(2), 185–209. https://doi.org/10.2478/jcbtp-2023-0019

McKinsey Global Institute. (2020). Climate Risk and Response: Physical Hazards and Socioeconomic Impacts. https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/climate-risk-and-response-physical-hazards-and-socioeconomic-impacts

Metawa, N., Boujlil, R., & Alsunbul, S. (2023). Fraud-Free Green Finance: Using Deep Learning to Preserve the Integrity of Financial Statements for Enhanced Capital Market Sustainability. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *13*(6), 610–617. https://doi.org/10.32479/ijeep.15197

Munn, Z., Stern, C., Aromataris, E., Lockwood, C., & Jordan, Z. (2018). What kind of systematic review should i conduct? A proposed typology and guidance for systematic reviewers in the medical and health sciences. In *BMC Medical Research Methodology* (Vol. 18, Issue 1). BioMed Central Ltd. https://doi.org/10.1186/s12874-017-0468-4

Nepal, R., Zhao, X., Dong, K., Wang, J., & Sharif, A. (2025). Can artificial intelligence technology innovation boost energy resilience? The role of green finance. *Energy Economics*, *142*. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.108159

Niyazbekova, S., Semenov, A., Syzdykova, E., Irisheva, A., Bikashev, D., & Varzin, V. (2024). Green loans and projects aimed at protecting the environment and increasing the sustainability of the economy. *BIO Web of Conferences*, *93*. https://doi.org/10.1051/bioconf/20249305012

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

Okeke, N. I., Bakare, O. A., & Achumie, G. O. (2024). Integrating policy incentives and risk management for effective green finance in emerging markets. *International Journal of Frontiers in Science and Technology Research*, *7*(1), 076–088. https://doi.org/10.53294/ijfstr.2024.7.1.0050

Patro, P. K., Quaye, E., Acquaye, A., Jayaraman, R., & Salah, K. (2025). Supply chain carbon finance indexing with generative AI and advanced data analytics techniques. *Journal of Cleaner Production*, *502*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145387

Raman, R., Ray, S., Das, D., & Nedungadi, P. (2024). Innovations and barriers in sustainable and green finance for advancing sustainable development goals. *Frontiers in Environmental Science*, *12*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1513204

Saeedi, M., & Ashraf, B. N. (2024a). The Role of Technology in Promoting Green Finance: A Systematic Literature Survey and the Development of a Framework. In *Journal of Risk and Financial Management* (Vol. 17, Issue 10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/jrfm17100472

Saeedi, M., & Ashraf, B. N. (2024b). The Role of Technology in Promoting Green Finance: A Systematic Literature Survey and the Development of a Framework. In *Journal of Risk and Financial Management* (Vol. 17, Issue 10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/jrfm17100472

Sembiyeva, L., Zhagyparova, A., Zhumadillayeva, A., Zholamanova, M., Bekbolsynova, A., & Zhanabergenova, M. (2024). Applying Advanced Artificial Intelligence to Predict the Green Bond Market in Kazakhstan: Fostering Sustainable Financial Instruments and Environmental Objectives. *Montenegrin Journal of Economics*, *20*(2), 237–250. https://doi.org/10.14254/1800-5845/2024.20-2.19

Setiawan, S., Ismalina, P., Nurhidajat, R., Tjahjaprijadi, C., & Munandar, Y. (2021). Green finance in indonesia's low carbon sustainable development. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *11*(5), 191–203. https://doi.org/10.32479/ijeep.11447

Shi, L., & Shang, M. (2024). The Promoting Role of Green Finance Reform and Innovation on the Sustainable Development of Low-Carbon Enterprises - An Analysis Based on Recursive Neural Networks. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, *9*(1). https://doi.org/10.2478/amns-2024-2885

Siriman, N., Shahid Ali, M., Ahmad Siddiqui, T., Rohin, G., Vejju, B., & Cherupelly, N. (2025). Green Finance and AI in India: A Synergistic Approach to Sustainable Development and Climate Resilience. In *International Journal of Environmental Sciences* (Vol. 11, Issue 1). https://www.theaspd.com/ijes.php

Soltani, A. (2024). Exploring the interplay of foreign direct investment, digitalization, and green finance in renewable energy: Advanced analytical methods and machine learning insights. *Energy Conversion and Management: X*, *24*. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100802

Su, C. W., & Qin, M. (2024). Unravelling Dynamics And Connectedness: Distinguishing The Influence Of Sustainable Finance And Artificial Intelligence On Energy Sustainability In China. *Buletin Ekonomi Moneter Dan Perbankan*, *27*(4), 741–766. https://doi.org/10.59091/2460-9196.2418

Suárez Giri, F., & Sánchez Chaparro, T. (2024). Unveiling the blackbox within ESG ratings' blackbox: Toward a framework for analyzing AI adoption and its impacts. *Business Strategy and Development*, *7*(4). https://doi.org/10.1002/bsd2.70038

Sule, A. K., Louis Eyo-Udo, N., Onukwulu, E. C., Agho, M. O., & Azubuike, C. (2024). Green finance solutions for banking to combat climate change and promote sustainability. *Gulf Journal of Advance Business Research*, *2*(6). https://doi.org/10.51594/gjabr.v6i2.54

Taghizadeh-Hesary, F. (2025). The impact of artificial intelligence adoption and financial accessibility on energy sustainability. *Energy Strategy Reviews*, *59*. https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101744

Tiseo, I. (2024). *Annual Carbon Dioxide (CO) Emission from 1940 to 2024 (in billion metric tons))*. https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/

Tkachenko, N. (2023). Opportunities for synthetic data in nature and climate finance. *Frontiers in Artificial Intelligence*, *6*. https://doi.org/10.3389/frai.2023.1168749

van der Heever, W., Satapathy, R., Park, J. M., & Cambria, E. (2024). Understanding Public Opinion towards ESG and Green Finance with the Use of Explainable Artificial Intelligence. *Mathematics*, *12*(19). https://doi.org/10.3390/math12193119

Vu-Thi-nhu, Q. (2024). Machine learning-based clustering analysis of the banking green credit for the renewable energy industry. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, *8*(12). https://doi.org/10.24294/jipd.v8i12.9817

Wang, F., Zhang, H., & Zhou, J. (2025). Impact of Green Finance on Chinese Urban Land Green Use Efficiency: An Empirical Study Based on a Quasinatural Experiment. *Land*, *14*(2). https://doi.org/10.3390/land14020332

Wang, Q., Sun, T., & Li, R. (2025). Does Artificial Intelligence (AI) enhance green economy efficiency? The role of green finance, trade openness, and R&D investment. *Humanities and Social Sciences Communications*, *12*(1). https://doi.org/10.1057/s41599-024-04319-0

Wang, X., & Abdykadyrov, K. Z. (2025). Environmental risk assessment and green transformation path for sustainable development in the banking industry of Kyrgyz republic and China. *Edelweiss Applied Science and Technology*, *9*(5), 1699–1710. https://doi.org/10.55214/25768484.v9i5.7267

Winarto, W. W. A., & Parwoto. (2025). Building an International Regulatory and Legal Framework for Green Digital Finance. *Revista Juridica Portucalense*, *37*, 190–213. https://doi.org/10.34625/issn.2183-2705(37)2025.ic-9

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 6, No 3, August 2025, page 277-292
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v6i3.8176

Witantri, G., Giovanni, A., Kurniasari, E., & Nurunnisa, I. A. (2025). Financial Risk Management Strategies in SME International Expansion: A Systematic Review. *SHS Web of Conferences*, *217*, 02003. https://doi.org/10.1051/shsconf/202521702003

Witantri, G., Giovanni, A., Kurniasari, E., Paska, Y. A., & Muji, M. b. (2024). Comprehensive Literature Review Of Blue Finance. *Bengkulu International Conference on Economics, Management, Business and Accounting (BICEMBA)*, *2*, 789–796. https://doi.org/10.33369/bicemba.2.2024.57

Wu, B., Ding, Y., Xie, B., & Zhang, Y. (2024). FinTech and Inclusive Green Growth: A Causal Inference Based on Double Machine Learning. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(22). https://doi.org/10.3390/su16229989

Xie, M., Zhao, S., & Lv, K. (2024). The Impact of Green Finance and Financial Technology on Regional Green Energy Technological Innovation Based on the Dual Machine Learning and Spatial Econometric Models. *Energies* , *17*(11). https://doi.org/10.3390/en17112521

Xu, B. (2025). Inclusive green finance approach to assess energy resilience: Integrating artificial intelligence (AI) utilization in energy strategy perspective. *Energy Strategy Reviews*, *59*. https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101696

Yan Zeng, X., Zhou, B., Zhang, H., & Lin Wu, M. (2025). The impact of green finance on carbon emissions: an empirical study based on bank competition heterogeneity and artificial intelligence pathway. *SSRN*. https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5092057

Zhang, T. (2023). The Impact of Green Finance Development on Ecological Protection Based on Machine Learning. *Ecological Chemistry and Engineering S*, *30*(1), 103–110. https://doi.org/10.2478/eces-2023-0008

Zhang, Y., Chen, H., & Ju, K. (2023). Research on enterprise digital agility based on machine learning: An evaluation of green financial technology. *Journal of Global Information Management*, *31*(9). https://doi.org/10.4018/JGIM.327006

Zhao, C., Dong, K., Wang, K., & Nepal, R. (2024). How does artificial intelligence promote renewable energy development? The role of climate finance. *Energy Economics*, *133*. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107493

Zheng, Y., & Ye, X. (2022). An Evaluation Model of an Urban Green Finance Development Level Based on the GA-Optimized Neural Network. *Mathematical Problems in Engineering*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/7847044

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License