

## **Transformasi Industri Menuju Keberlanjutan: Tinjauan Sistematis Teknologi Digital yang Berdampak**

Yusrizal<sup>1</sup>, Aldhi Albadri<sup>2</sup>, Hanifatul Rahmi<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknologi Dumai

<sup>2</sup>Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Teknologi Dumai

Email : [yusrizal@sttdumai.ac.id](mailto:yusrizal@sttdumai.ac.id)<sup>1,2,3</sup>

### **ABSTRAK**

Keberlanjutan industri merupakan tantangan utama dalam era globalisasi dan digitalisasi saat ini. Dalam rangka mendorong transformasi industri menuju keberlanjutan, pemanfaatan teknologi digital menjadi faktor krusial. Artikel ini memberikan tinjauan literatur sistematis tentang bagaimana teknologi digital mempengaruhi keberlanjutan industri. Melalui prosedur yang sistematis dan transparan, penelitian ini mengidentifikasi, menganalisis, dan menginterpretasikan teknologi digital yang berdampak besar dalam upaya mencapai keberlanjutan industri. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi seperti *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), dan *Blockchain* memiliki dampak yang signifikan dalam mendorong efisiensi, pengurangan emisi, dan peningkatan produktivitas dalam berbagai sektor industri. Namun, tantangan seperti isu keamanan, privasi, dan hambatan adopsi teknologi juga diidentifikasi. Penelitian ini memberikan panduan yang berharga bagi peneliti, praktisi, dan pembuat kebijakan dalam mendorong adopsi teknologi digital untuk keberlanjutan industri.

**Kata Kunci:** Keberlanjutan Industri, Transformasi Digital, Efisiensi, Adopsi Teknologi

### **ABSTRACT**

Industrial sustainability is a major challenge in the current era of globalization and digitalization. In order to promote the transformation of industry towards sustainability, the utilization of digital technology has become a crucial factor. This article provides a systematic literature review on how digital technologies impact industrial sustainability. Using a structured and transparent procedure, the study identifies, analyzes, and interprets the digital technologies that have a significant influence on efforts to achieve sustainable industry. The findings reveal that technologies such as *Artificial Intelligence* (AI), the *Internet of Things* (IoT), and *Blockchain* play a significant role in enhancing efficiency, reducing emissions, and improving productivity across various industrial sectors. However, challenges such as security issues, privacy concerns, and technological adoption barriers are also highlighted. This study offers valuable insights for researchers, practitioners, and policymakers to foster the adoption of digital technologies for industrial sustainability.

**Keywords:** Industrial Sustainability, Digital Transformation, Efficiency, Technology Adoption

### **PENDAHULUAN**

Dalam konteks ekonomi global, industri memainkan peran yang sangat krusial dalam menunjang pertumbuhan. Akan tetapi, praktik-praktik dari industri konvensional telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap berbagai problematika lingkungan, termasuk perubahan iklim, polusi, dan kerusakan ekosistem [1]; [2]; [3]). Oleh karenanya, agenda keberlanjutan industri menjadi topik yang sangat penting pada abad ke-21 ini. Konsep industri berkelanjutan merujuk pada pengembangan dan pengoperasian sistem industri yang mengintegrasikan prinsip-prinsip efisiensi sumber daya, pengurangan emisi, dan nilai-nilai sosial ([4]; [5]; [6]; [2]; [7]).

Di era digitalisasi ini, teknologi menjadi agen utama transformasi di sektor-sektor industri yang beragam. Teknologi digital seperti Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*), *Internet of Things* (IoT), dan *Blockchain* berpotensi memegang peran yang sangat sentral dalam membantu industri mencapai tujuan-tujuan keberlanjutan mereka. Teknologi-teknologi tersebut dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi operasional, mereduksi limbah dan emisi, serta merancang model-model bisnis baru yang lebih berkelanjutan ([4]; [5]; [1]; [2]; [8]).

Walaupun potensi dari teknologi digital dalam mendukung keberlanjutan industri telah banyak diakui, masih terdapat kebutuhan akan pemahaman yang lebih mendalam mengenai bagaimana teknologi-teknologi tersebut dapat diimplementasikan secara efektif dan dampak yang dapat dihasilkannya. Penelitian ini memegang signifikansi yang besar karena berusaha mengisi kekosongan pengetahuan tersebut dengan menyajikan tinjauan literatur yang sistematis mengenai penerapan teknologi digital dalam upaya transformasi industri menuju keberlanjutan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan tinjauan literatur sistematis yang menyeluruh pada studi-studi terkait teknologi digital yang berdampak pada keberlanjutan industri. Dalam konteks ini, penelitian ini berfokus pada teknologi-teknologi utama seperti *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), dan *Blockchain*.

#### **METODOLOGI PENELITIAN**

Kajian ini menggunakan metode *systematic literature review* ([9]; [10]). Pencarian literatur dilakukan melalui beberapa database akademik ternama, seperti Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, Springer, dan JSTOR. Kata kunci seperti "Industri Berkelanjutan", "Transformasi Digital", "Teknologi Digital", "*Artificial Intelligence* (AI)", "*Internet of Things* (IoT)", "*Blockchain*", dan "Tinjauan Sistematis" digunakan dalam variasi kombinasi untuk memastikan pencarian yang komprehensif. Setelah penelusuran awal, judul dan abstrak dari setiap dokumen ditinjau untuk memastikan relevansi mereka terhadap tujuan penelitian. Kriteria inklusi dan eksklusi diterapkan pada tahap ini. Dokumen yang relevan kemudian menjalani peninjauan penuh untuk analisis lebih lanjut. Kriteria inklusi dan eksklusi dalam penelitian ini dirancang untuk memastikan bahwa hanya studi yang relevan dan berkualitas tinggi yang dimasukkan dalam tinjauan literatur. Berikut ini adalah kriteria inklusi dan eksklusi yang digunakan:

##### **Kriteria Inklusi:**

Studi yang membahas tentang penggunaan teknologi digital (*Artificial Intelligence*, *Internet of Things*, *Blockchain*) dalam konteks industri. Studi yang memberikan wawasan tentang bagaimana teknologi digital berdampak pada keberlanjutan industri, baik dari segi efisiensi sumber daya, pengurangan emisi, atau nilai-nilai sosial. Studi yang dipublikasikan dalam 10 tahun terakhir untuk memastikan relevansi dan aktualitas data. Studi yang dipublikasikan dalam bahasa Inggris. Studi yang terbit dalam jurnal berpeer-review untuk memastikan kredibilitas dan kualitas penelitian.

##### **Kriteria Eksklusi:**

Studi yang tidak relevan dengan fokus penelitian, yaitu dampak teknologi digital terhadap keberlanjutan industri. Studi yang tidak menyediakan data yang cukup atau tidak memenuhi standar penelitian ilmiah. Studi yang berfokus pada teknologi yang bukan dalam kategori *Artificial Intelligence*, *Internet of Things*, atau *Blockchain*. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dan disintesis. Metode analisis tematik digunakan untuk mengidentifikasi tema umum, pola, dan hubungan dalam data. Penelitian ini berusaha untuk memastikan transparansi dan reproduktivitas dalam prosesnya, selaras dengan prinsip-prinsip penelitian kualitatif.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### **Teknologi Digital yang Berdampak pada Keberlanjutan Industri**

Teknologi digital telah mendorong perubahan signifikan dalam cara industri beroperasi dan mencapai tujuan keberlanjutan mereka. Berikut ini adalah tiga teknologi digital utama yang berdampak pada keberlanjutan industri:

1. Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence, AI*):

AI memungkinkan perusahaan untuk mengotomatiskan proses mereka dan membuat keputusan berbasis data yang lebih cerdas. Misalnya, dengan machine learning, perusahaan dapat menganalisis pola dalam data produksi mereka dan mengidentifikasi cara untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi limbah. Selain itu, AI juga dapat digunakan dalam prediksi permintaan produk, yang membantu perusahaan menghindari overproduction dan waste ([5]; [11]).

Pemanfaatan Kecerdasan Buatan (AI) dalam industri berkelanjutan telah mengubah paradigma cara perusahaan beroperasi dan mempengaruhi strategi mereka untuk mencapai keberlanjutan. Salah satu contoh paling penting adalah penggunaan AI dalam optimasi proses ([5]; [12]; [13]; [3]). AI mampu menganalisis data operasional secara real-time dan mengidentifikasi pola atau anomali yang tidak akan mungkin ditemukan oleh manusia. Misalnya, algoritma machine learning mampu menganalisis data dari sensor pada jalur produksi untuk memprediksi kemungkinan kegagalan perangkat atau untuk mengoptimalkan parameter operasional dan dengan demikian mengurangi pemborosan energi dan material ([5]; [12]).

Selain itu, AI juga memainkan peran penting dalam manajemen rantai pasokan berkelanjutan. Dengan AI, perusahaan dapat lebih akurat memprediksi permintaan produk, yang membantu dalam perencanaan produksi dan pengurangan overstock. Sistem berbasis AI juga mampu melacak dan memantau seluruh rantai pasokan untuk memastikan kepatuhan terhadap standar lingkungan dan etika, dan untuk mengidentifikasi risiko dan peluang keberlanjutan ([14]; [12]).

Tidak kalah pentingnya, AI juga berpotensi besar dalam bidang pemeliharaan prediktif. Dengan menggunakan teknologi seperti machine learning dan analisis data besar, perusahaan dapat memantau kondisi mesin secara real-time dan memprediksi kapan pemeliharaan atau perbaikan mungkin diperlukan, sehingga mengurangi downtime dan memperpanjang umur peralatan ([1]; [13]; [2]).

Meski Kecerdasan Buatan (AI) menawarkan peluang besar untuk peningkatan keberlanjutan dalam teknik industri, penerapannya tidak lepas dari tantangan. Salah satu tantangan utama adalah tingginya kebutuhan energi dalam operasional AI ([23]; [2]; [19]). Proses pelatihan dan implementasi algoritma AI sering memerlukan daya komputasi yang tinggi, yang dapat menghasilkan jejak karbon yang signifikan ([1]). Oleh karena itu, meski AI dapat membantu mencapai efisiensi operasional, implikasi lingkungan dari penggunaannya sendiri perlu dipertimbangkan.

Tantangan lainnya adalah isu bias data. AI belajar dan membuat prediksi berdasarkan data yang diberikan kepadanya. Jika data tersebut mengandung bias, baik secara sengaja maupun tidak, AI akan memperkuat bias tersebut dalam prediksi atau keputusannya, yang bisa berdampak negatif pada keberlanjutan [7]).

Selain itu, penerapan AI dalam skala industri memerlukan infrastruktur teknologi yang canggih dan tenaga kerja yang memiliki keterampilan dalam bidang AI dan data analisis ([12]; [20]; [7]). Dalam banyak kasus, pengembangan dan pemeliharaan infrastruktur ini dapat menjadi tantangan, terutama bagi perusahaan kecil dan menengah.

2. **Internet of Things (IoT)**

IoT adalah jaringan perangkat yang saling terhubung dan berbagi data. Dalam konteks industri, IoT memungkinkan pelacakan dan pengoptimalan real-time dari operasi dan proses manufaktur. Sensor yang terpasang pada mesin dan peralatan dapat mengirimkan data tentang kinerja dan kondisi mereka, memungkinkan perbaikan yang tepat waktu dan perawatan prediktif yang dapat mengurangi downtime dan memperpanjang umur peralatan [2]).

Pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dalam teknik industri berkelanjutan membuka berbagai peluang untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas sambil mengurangi dampak lingkungan. IoT, dengan konektivitasnya yang luas dan pertukaran data real-time, dapat membantu dalam memonitor, mengendalikan, dan mengoptimalkan proses produksi dalam skala yang belum pernah ada sebelumnya ([1]; [8]).

Sebagai contoh, dalam koemungkinan implementasi sistem manufaktur yang cerdas. Sensor yang terpasang pada mesin dan peralatan dapat mengirimkan data tentang kinerja dan kondisi mereka secara real-time. Data ini kemudian dapat dianalisis untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya, memperpanjang umur peralatan melalui perawatan prediktif, dan bahkan mengotomatiskan penyesuaian parameter operasional untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi limbah ([1]).

Selain itu, dalam rantai pasokan, IoT memungkinkan visibilitas dan pelacakan produk dari bahan baku hingga produk jadi ([2]). Hal ini memungkinkan perusahaan untuk memastikan kepatuhan terhadap standar keberlanjutan di seluruh rantai pasokan mereka, dan memungkinkan pelanggan untuk memverifikasi klaim keberlanjutan produk.

Penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam teknik industri berkelanjutan, meskipun menawarkan peluang signifikan untuk peningkatan efisiensi dan transparansi, juga menimbulkan beberapa tantangan penting. Tantangan pertama adalah isu-isu keamanan dan privasi data ([12]; [23]). Dengan sejumlah besar data yang dikumpulkan, diproses, dan ditransmisikan oleh perangkat IoT, risiko pencurian data, penggunaan data yang tidak etis, atau serangan i terhadap infrastruktur menjadi nyata. Selain itu, banyak perangkat IoT saat ini tidak dirancang dengan keamanan yang memadai, yang semakin meningkatkan kerentanan ini.

Tantangan kedua adalah integrasi dan interoperabilitas. Dalam banyak kasus, perangkat IoT berasal dari berbagai vendor dan menggunakan standar komunikasi yang berbeda, membuat mereka sulit untuk berintegrasi dan berkomunikasi dengan satu sama lain ([20]). Hal ini dapat membatasi kemampuan untuk mendapatkan gambaran yang lengkap dan akurat dari operasi dan untuk mengoptimalkannya secara efektif.

Ketiga, implementasi IoT dalam skala industri memerlukan investasi besar dalam infrastruktur dan keterampilan ([17]). Perusahaan mungkin perlu memperbarui peralatan dan sistem mereka, dan melatih atau merekrut staf untuk mengelola dan menganalisis data IoT. Bagi banyak perusahaan, terutama perusahaan kecil dan menengah, ini bisa menjadi tantangan yang berarti.

3. **Blockchain:**

*Blockchain* adalah teknologi ledger terdistribusi yang memungkinkan transparansi dan keamanan data yang belum pernah ada sebelumnya. Dalam industri, *Blockchain* dapat digunakan untuk melacak dan memverifikasi asal-usul bahan dan produk, yang penting dalam memastikan kepatuhan terhadap standar keberlanjutan dan etika. Selain itu, *Blockchain* juga bisa mendukung transaksi dan kontrak yang aman dan transparan, seperti pembelian energi terbarukan atau perdagangan hak emisi karbon ([16]; [23]).

Teknologi *Blockchain* memiliki berbagai aplikasi potensial dalam mendukung keberlanjutan di sektor industri. Konsep dasar *Blockchain* adalah menyediakan buku besar terdistribusi yang tidak dapat diubah, yang dapat memberikan tingkat transparansi dan akuntabilitas yang belum pernah ada sebelumnya dalam transaksi dan proses bisnis.

Salah satu contoh paling jelas dari penggunaan *Blockchain* dalam teknik industri berkelanjutan adalah dalam manajemen rantai pasokan. Dengan *Blockchain*, setiap tahap dalam proses produksi dapat dicatat dan diverifikasi, menciptakan jejak audit yang tidak dapat diubah dari bahan baku hingga produk jadi. Ini tidak hanya dapat membantu perusahaan memastikan kepatuhan terhadap standar lingkungan dan sosial, tetapi juga memberikan jaminan kepada konsumen tentang klaim keberlanjutan produk ([4]; [21]; [24]).

Salah satu tantangan utama dalam penggunaan *Blockchain* di bidang industri adalah konsumsi energi yang tinggi. *Blockchain*, khususnya yang menggunakan mekanisme bukti kerja (proof-of-work), memerlukan jumlah energi yang besar untuk menjalankan dan memverifikasi transaksi ([15]; [12]; [6]; [22]). Kecuali jika sumber energi yang digunakan adalah ramah lingkungan, ini dapat berdampak negatif terhadap upaya keberlanjutan, menghasilkan jejak karbon yang signifikan.

Tantangan lainnya adalah isu skalabilitas. Banyak protokol *Blockchain* saat ini mengalami kesulitan dalam menangani volume transaksi yang tinggi dengan cepat dan efisien. Ini bisa menjadi hambatan serius dalam konteks industri, di mana kecepatan dan efisiensi operasi adalah kunci.

Tantangan hukum dan regulasi juga harus diperhitungkan. Penerapan *Blockchain* dalam skala industri mungkin menemui hambatan hukum atau regulatori, terutama di yurisdiksi di mana peraturan mengenai teknologi ini masih belum jelas atau berkembang ([20]; [23]).

### **Pengaruh Teknologi Terhadap Keberlanjutan Industri**

Teknologi digital seperti Kecerdasan Buatan (AI), *Internet of Things* (IoT), dan *Blockchain* memiliki potensi besar untuk mendukung transisi menuju keberlanjutan industri. Teknologi ini dapat mempengaruhi berbagai aspek operasi industri dan memfasilitasi perubahan yang diperlukan untuk mencapai keberlanjutan.

Kecerdasan Buatan dapat mempengaruhi keberlanjutan industri melalui peningkatan efisiensi, pengurangan limbah, dan optimasi penggunaan sumber daya. Misalnya, AI dapat digunakan dalam analisis data besar untuk mengidentifikasi pola dan tren yang dapat membantu perusahaan membuat keputusan yang lebih berinformasi dan berkelanjutan. Dalam manufaktur, AI dapat membantu merancang proses yang lebih efisien dan hemat energi, atau dalam logistik, dapat mengoptimalkan rute pengiriman untuk mengurangi emisi (Kim et al., 2022).

*Internet of Things*, dengan kemampuannya untuk mengumpulkan, menganalisis, dan bertindak berdasarkan data real-time dari berbagai perangkat dan sistem, juga dapat berdampak signifikan terhadap keberlanjutan industri. IoT dapat membantu dalam pemantauan dan pengendalian konsumsi energi dan sumber daya lainnya, deteksi dan perbaikan efisiensi, dan mendukung implementasi model bisnis berkelanjutan seperti ekonomi sirkular dan servitisasi (Abosaq, 2021; Martínez et al., 2021; Odetoye & Odetoye, 2021).

Sementara itu, *Blockchain* dapat memberikan tingkat transparansi dan akuntabilitas yang belum pernah ada sebelumnya dalam rantai pasokan dan transaksi lainnya. Dengan memastikan integritas dan keaslian data, *Blockchain* dapat membantu perusahaan memverifikasi klaim keberlanjutan mereka dan membangun kepercayaan dengan stakeholder (Abosaq, 2021; Gambo & Musonda, 2021; Lim et al., 2021).

Namun, perlu diingat bahwa penggunaan teknologi ini harus didekati dengan hati-hati, mempertimbangkan dan mencoba mengatasi tantangan seperti konsumsi energi,

keamanan data, dan adopsi yang mungkin muncul. Selain itu, teknologi seharusnya bukanlah solusi semata-mata, tetapi harus digunakan dalam kombinasi dengan perubahan strategi, budaya, dan struktur organisasi yang lebih luas untuk mencapai keberlanjutan industri yang nyata dan berkelanjutan. Memastikan bahwa teknologi digital digunakan untuk mendukung, bukan menghambat, keberlanjutan industri memerlukan pemahaman yang mendalam tentang teknologi ini dan bagaimana mereka berinteraksi dengan sistem industri yang ada.

AI, IoT, dan *Blockchain* dapat membantu mempercepat perubahan menuju operasi yang lebih efisien dan berkelanjutan, tetapi ini membutuhkan komitmen organisasi untuk berinvestasi dalam teknologi ini dan kemampuan untuk mengadaptasi operasi mereka sesuai. Peningkatan efisiensi melalui AI atau IoT, misalnya, dapat berarti peningkatan produktivitas dan pengurangan biaya, tetapi juga dapat memerlukan investasi yang signifikan dalam teknologi dan pelatihan. Demikian pula, peningkatan transparansi melalui *Blockchain* dapat membantu organisasi membangun kepercayaan dengan stakeholder mereka, tetapi ini juga dapat memerlukan perubahan dalam cara organisasi tersebut mengumpulkan, menyimpan, dan berbagi data.

### KESIMPULAN

Teknologi digital seperti Kecerdasan Buatan (AI), *Internet of Things* (IoT), dan *Blockchain* menjanjikan transformasi yang signifikan terhadap keberlanjutan industri. Mereka dapat berperan dalam meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi limbah dan emisi, mendukung model bisnis berkelanjutan, dan meningkatkan transparansi dan akuntabilitas. Namun, pemahaman yang mendalam dan pertimbangan yang cermat diperlukan untuk memastikan bahwa teknologi ini digunakan secara efektif dan etis. Meski teknologi ini memiliki potensi yang besar, mereka juga membawa sejumlah tantangan, termasuk konsumsi energi, isu keamanan dan privasi, hambatan hukum dan regulasi, serta tantangan dalam adopsi dan perubahan budaya. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang berhati-hati dan komprehensif dalam penerapannya. Selanjutnya, penting untuk menyadari bahwa teknologi digital seharusnya bukanlah solusi semata-mata untuk isu-isu keberlanjutan industri. Mereka harus digunakan dalam kombinasi dengan strategi, perubahan budaya, dan transformasi organisasi yang lebih luas untuk mencapai keberlanjutan yang sejati dan berkelanjutan.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bradu, P., Biswas, A., Nair, C., Sreevalsakumar, S., Patil, M., Kannampuzha, S., Mukherjee, A. G., Wanjari, U. R., Renu, K., Vellingiri, B., & Gopalakrishnan, A. V. (2022). Recent advances in green technology and Industrial Revolution 4.0 for a sustainable future. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20024-4>.
- [2] Martínez, I., Zalba, B., Trillo-Lado, R., Blanco, T., Cambra, D., & Casas, R. (2021). *Internet of Things* (IoT) as sustainable development goals (sdg) enabling technology towards smart readiness indicators (sri) for university buildings. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/su13147647>.
- [3] Zheng, P., Li, X., Peng, T., Wang, Y., & Zhang, G. (2020). Industrial smart product-service system development for lifecycle sustainability concerns. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 2(4). <https://doi.org/10.1049/IET-CIM.2020.0056>.
- [4] Abosag, N. H. (2021). *Blockchain* enabled IoTs towards achieving the Sustainable Development Goals. *3C Tecnología\_Glosas de Innovación Aplicadas a La Pyme*. <https://doi.org/10.17993/3ctecno.2021.specialissue7.23-33>.
- [5] Binder, C., Neureiter, C., & Lüder, A. (2022). Towards a domain-specific information architecture enabling the investigation and optimization of

- flexible production systems by utilizing *Artificial Intelligence*. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 123(1–2). <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10141-2>.
- [6] Lim, C. H., Lim, S., How, B. S., Ng, W. P. Q., Ngan, S. L., Leong, W. D., & Lam, H. L. (2021). A review of industry 4.0 revolution potential in a sustainable and renewable palm oil industry: HAZOP approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110223>.
- [7] Tsang, Y. P., & Lee, C. K. M. (2022). *Artificial Intelligence* in industrial design: A semi-automated literature survey. In *Engineering Applications of Artificial Intelligence* (Vol. 112). <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104884>.
- [8] Odetoeye, O. A., & Odetoeye, T. E. (2021). Disruptive Engineering: Maximizing the Feedback Relationship between Industry 4.0 and the Nigerian Engineering Education Sector. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, 6(4). <https://doi.org/10.46792/fuoyejt.v6i4.672>.
- [9] Kosztyán, Z. T., Csizmadia, T., & Katona, A. I. (2021). SIMILAR - Systematic iterative multilayer literature review method. In *Journal of Informetrics* (Vol. 15, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.joi.2020.101111>.
- [10] Mengist, W., Soromessa, T., & Legese, G. (2020). Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. *MethodsX*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.100777>.
- [11] Yang, X., & Yu, X. (2020). Preventing patent risks in *Artificial Intelligence* industry for sustainable development: A multi-level network analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 12(20). <https://doi.org/10.3390/su12208667>.
- [12] Gambo, N., & Musonda, I. (2021). Effect of the Fourth Industrial Revolution on Road Transport Asset Management Practice in Nigeria. *Journal of Construction in Developing Countries*, 26(1). <https://doi.org/10.21315/jcdc2021.26.1.2>.
- [13] Kim, J., Seo, D., Moon, J., Kim, J., Kim, H., & Jeong, J. (2022). Design and Implementation of an HCPS-Based PCB Smart Factory System for Next-Generation Intelligent Manufacturing. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/app12157645>.
- [14] Atkins, D., Capria, E., Edström, K., Famprakis, T., Grimaud, A., Jacquet, Q., Johnson, M., Matic, A., Norby, P., Reichert, H., Rueff, J. P., Villeveille, C., Wagemaker, M., & Lyonard, S. (2022). Accelerating Battery Characterization Using Neutron and Synchrotron Techniques: Toward a Multi-Modal and Multi-Scale Standardized Experimental Workflow. *Advanced Energy Materials*, 12(17). <https://doi.org/10.1002/aenm.202102694>.
- [15] Chen, R., Meng, Q., & Jia, P. (2022). Container port drayage operations and management: Past and future. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102633>.
- [16] Duran, C. A., Fernandez-Campusano, C., Carrasco, R., Vargas, M., & Navarrete, A. (2021). Boosting the Decision-Making in Smart Ports by Using *Blockchain*. *IEEE Access*, 9. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3112899>.
- [17] Gajdzik, B. (2022). Frameworks of the Maturity Model for Industry 4.0 with Assessment of Maturity Levels on the Example of the Segment of Steel Enterprises in Poland. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/joitmc8020077>.
- [18] Leng, J., Ruan, G., Jiang, P., Xu, K., Liu, Q., Zhou, X., & Liu, C. (2020). *Blockchain*-empowered sustainable manufacturing and product lifecycle management in industry 4.0: A survey. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 132). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110112>.
- [19] Monyei, C. G., & Akpeji, K. O. (2020). Repurposing Electricity Access Research for the Global South: A Tale of Many Disconnects. In *Joule* (Vol. 4, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.11.013>.

- [20] Pérez-Rodríguez, R., Lorenzo-Martin, R., Trinchet-Varela, C. A., Simeón-Monet, R. E., Miranda, J., Cortés, D., & Molina, A. (2022). Integrating Challenge-Based-Learning, Project-Based-Learning, and Computer-Aided Technologies into Industrial Engineering Teaching: Towards a Sustainable Development Framework. *Integration of Education*, 26(2). <https://doi.org/10.15507/1991-9468.107.026.202202.198-215>.
- [21] Rusakova, E. P., & Inshakova, A. O. (2021). Industrial And Manufacturing Engineering In Digital Legal Proceedings In The Asia-Pacific Region: A New Level Of Quality Based On Data, *Blockchain* And AI. *International Journal for Quality Research*, 15(1). <https://doi.org/10.24874/IJQR15.01-16>.
- [22] Sudhakar, K., Senthilkumar, S., Sumaiya, N., Niveditha, S., & Alsekait, D. M. (2022). Machine Learning Based Industrial Engineering With 6G Technology. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 13. <https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.S09.046>.
- [23] Tseng, M. L., Tran, T. P. T., Ha, H. M., Bui, T. D., & Lim, M. K. (2021). Sustainable industrial and operation engineering trends and challenges Toward Industry 4.0: a data driven analysis. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 38(8). <https://doi.org/10.1080/21681015.2021.1950227>
- [24] Wang, J., Wu, P., Wang, X., & SHOU, W. (2017). The outlook of *Blockchain* technology for construction engineering management. *Frontiers of Engineering Management*, 4(1). <https://doi.org/10.15302/j-fem-2017006>.