



DOI: <https://doi.org/10.38035/jgit.v1i4>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Penerapan Digital Twin dalam Simulasi dan Optimasi Proses Logistik Berkelanjutan

Harri Romadhona^{1*}, Zulfairah²

¹STIKOM Dinamika Bangsa, Jambi, Indonesia, harrromadhona@gmail.com

²Universitas Jambi, Jambi, Indonesia, zulfairah03@gmail.com

*Corresponding Author: harrromadhona@gmail.com¹

Abstract: *Application of Digital Twin in Simulation and Optimization of Sustainable logistics Process is a scientific article of literature study within the scope of informatics and logistics engineering. The purpose of this article is to build a hypothesis that Digital Twin plays a role in improving operational efficiency and sustainability of logistics processes. The research objects are sourced from online libraries such as Google Scholar, Mendeley, and other academic sources that focus on the study of Digital Twin technology and logistics optimization. The method used is library research, which is sourced from e-books, open access e-journals, and related literature. The analysis is done descriptively qualitative. The results of this article show that: 1) Digital Twin plays a role in improving operational efficiency in the logistics process; and 2) Digital Twin contributes to logistics sustainability through resource optimization and environmental impact reduction.*

Keyword: *Digital Twin, Logistics Process Simulation, Sustainable Logistics.*

Abstrak: Penerapan Digital Twin dalam Simulasi dan Optimasi Proses logistik Berkelanjutan adalah artikel ilmiah studi pustaka dalam ruang lingkup teknik informatika dan logistik. Tujuan artikel ini adalah untuk membangun hipotesis bahwa Digital Twin berperan dalam meningkatkan efisiensi operasional dan keberlanjutan proses logistik. Objek riset penelitian bersumber dari pustaka online seperti Google Scholar, Mendeley, dan sumber akademik lainnya yang berfokus pada kajian teknologi Digital Twin dan optimasi logistik. Metode yang digunakan adalah library research, yang bersumber dari e-book, open access e-journal, dan literatur terkait. Analisis dilakukan secara deskriptif kualitatif. Hasil artikel ini menunjukkan bahwa: 1) Digital Twin berperan dalam meningkatkan efisiensi operasional pada proses logistik; dan 2) Digital Twin berkontribusi terhadap keberlanjutan logistik melalui optimasi sumber daya dan pengurangan dampak lingkungan.

Kata Kunci: Digital Twin, Simulasi Proses Logistik, Logistik Berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Dalam era industri 4.0, teknologi informasi telah menjadi pilar utama dalam transformasi berbagai sektor, termasuk logistik. Salah satu inovasi yang semakin mendapatkan perhatian adalah konsep **Digital Twin**. Digital Twin adalah representasi virtual dari sistem fisik yang memungkinkan simulasi, analisis, dan optimasi proses secara real-time (Tao et al., 2018). Dalam konteks logistik, penerapan Digital Twin dapat meningkatkan efisiensi rantai pasok, mengurangi biaya operasional, serta mendorong keberlanjutan melalui pengurangan dampak lingkungan (Kritzinger et al., 2018).

Keberlanjutan dalam logistik telah menjadi perhatian utama di tengah meningkatnya tekanan terhadap perusahaan untuk mengurangi jejak karbon dan meningkatkan efisiensi sumber daya (Waller & Fawcett, 2013). Digital Twin menawarkan solusi inovatif dengan memungkinkan pemantauan kondisi operasional secara terus-menerus dan simulasi berbagai skenario untuk mengidentifikasi solusi terbaik dalam optimasi logistik (Barricelli et al., 2019). Namun, implementasi teknologi ini masih menghadapi tantangan dalam hal integrasi dengan sistem yang ada, investasi infrastruktur digital, serta kebutuhan akan tenaga ahli yang kompeten di bidang teknologi Digital Twin.

Penelitian ini bertujuan untuk membangun hipotesis bahwa Digital Twin berperan penting dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proses logistik. Berbagai studi telah menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi Digital Twin dalam manajemen rantai pasok dapat meningkatkan visibilitas operasional, memprediksi gangguan, serta mengoptimalkan penggunaan sumber daya (Jones et al., 2020). Namun, masih terdapat tantangan dalam implementasi skala besar di berbagai perusahaan logistik.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan bagi perusahaan logistik dalam mengadopsi teknologi Digital Twin secara lebih efektif, serta menjadi referensi bagi penelitian akademik terkait integrasi teknologi informasi dalam logistik berkelanjutan. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka tujuan penulisan artikel ini adalah untuk membangun hipotesis riset selanjutnya, yaitu:

1. Apakah penerapan Digital Twin dapat meningkatkan efisiensi operasional pada proses logistik?
2. Apakah Digital Twin berkontribusi terhadap keberlanjutan logistik melalui optimasi sumber daya dan pengurangan dampak lingkungan?

METODE

Penelitian ini menggunakan metode library research (kajian pustaka) dan Systematic Literature Review (SLR). Data dikumpulkan dari berbagai sumber daring seperti Google Scholar, Mendeley, dan basis data akademik lainnya yang relevan dengan topik digital twin dan logistik berkelanjutan. Systematic Literature Review (SLR) diartikan sebagai suatu pendekatan terstruktur untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menginterpretasi seluruh bukti penelitian yang tersedia guna menjawab pertanyaan penelitian secara spesifik (Kitchenham et al., 2009).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi bagaimana penerapan teknologi Digital Twin dapat digunakan dalam simulasi dan optimasi proses logistik yang berkelanjutan. Metode SLR digunakan untuk menggali berbagai perspektif ilmiah terkait konsep Digital Twin dalam konteks logistik serta mengeksplorasi teori-teori yang mendukung penerapannya dalam strategi keberlanjutan.

Dalam konteks analisis kualitatif, kajian pustaka dilaksanakan berdasarkan pendekatan metodologis yang relevan. Analisis ini dipilih karena sifat penelitian yang eksploratif, yang bertujuan untuk memperluas pemahaman mengenai penerapan teknologi digital dalam mendukung efisiensi dan keberlanjutan logistik (Ali & Limakrisna, 2013).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil penelitian ini menunjukkan dua temuan utama yang berkaitan dengan Penerapan Digital Twin dalam Simulasi dan Optimasi Proses Logistik Berkelanjutan.

Digital Twin dalam Logistik

Digital Twin dalam logistik merupakan model digital yang mencerminkan sistem fisik rantai pasok, termasuk pergudangan, transportasi, dan distribusi barang. Teknologi ini memungkinkan perusahaan untuk melakukan pemantauan real-time, menganalisis skenario alternatif, serta meningkatkan efisiensi proses logistik (Tao et al., 2018). Manfaat Digital Twin dalam Efisiensi Logistik Beberapa manfaat utama dari penerapan Digital Twin dalam logistik meliputi:

1. **Optimasi Rantai Pasok:** Digital Twin membantu mengidentifikasi hambatan dalam distribusi barang dan mengoptimalkan rute pengiriman (Barricelli et al., 2019).
2. **Pengurangan Biaya Operasional:** Dengan mensimulasikan berbagai skenario logistik, perusahaan dapat mengurangi pemborosan sumber daya dan meningkatkan efisiensi energi (Kritzinger et al., 2018).
3. **Prediksi dan Pencegahan Gangguan:** Digital Twin dapat mengidentifikasi potensi gangguan dalam rantai pasok sebelum terjadi, memungkinkan perusahaan untuk mengambil langkah mitigasi lebih awal (Jones et al., 2020).

Meskipun memiliki banyak manfaat, implementasi Digital Twin dalam logistik menghadapi beberapa tantangan, di antaranya:

1. **Kebutuhan Infrastruktur Teknologi:** Penerapan Digital Twin memerlukan investasi besar dalam infrastruktur digital, termasuk sensor IoT dan sistem analitik data (Waller & Fawcett, 2013).
2. **Kompleksitas Integrasi:** Digital Twin harus terintegrasi dengan sistem logistik yang sudah ada, seperti Enterprise Resource Planning (ERP) dan Warehouse Management Systems (WMS) (Kritzinger et al., 2018).
3. **Keterbatasan Sumber Daya Manusia:** Diperlukan tenaga ahli dengan keahlian di bidang teknologi informasi, analisis data, dan logistik untuk mengoperasikan Digital Twin secara optimal (Barricelli et al., 2019).

Penerapan Digital Twin dalam logistik terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan. Untuk implementasi yang lebih luas, perusahaan perlu meningkatkan investasi dalam infrastruktur digital dan integrasi teknologi. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi kombinasi Digital Twin dengan kecerdasan buatan (AI) dan Internet of Things (IoT) untuk optimasi yang lebih canggih.

Digital Twin dalam logistik mengacu pada penggunaan representasi digital dari berbagai elemen dalam rantai pasokan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan pengambilan keputusan berbasis data. Dengan Digital Twin, perusahaan dapat mensimulasikan berbagai skenario dalam pengelolaan logistik, seperti rute pengiriman optimal, prediksi permintaan, dan efisiensi penggunaan bahan bakar (Tao et al., 2019). Menurut Wang et al. (2022), penerapan Digital Twin dalam logistik memungkinkan perusahaan untuk:

1. Mengidentifikasi dan mengatasi hambatan dalam rantai pasokan sebelum terjadi gangguan nyata.
2. Meningkatkan efisiensi pergudangan dengan otomatisasi berbasis data real-time.
3. Mengoptimalkan rute transportasi guna mengurangi biaya dan emisi karbon.

Selain itu, Digital Twin juga memainkan peran penting dalam manajemen risiko logistik. Dengan adanya model virtual yang selalu diperbarui berdasarkan data sensor dan IoT (Internet of Things), perusahaan dapat memprediksi potensi gangguan dan mengambil langkah mitigasi secara proaktif (Ivanov & Dolgui, 2020)."

Optimasi Proses Logistik

Optimasi proses logistik merupakan langkah krusial dalam meningkatkan efisiensi operasional dan keberlanjutan dalam rantai pasok. Digital Twin memainkan peran penting dalam optimasi ini dengan menyediakan simulasi real-time yang memungkinkan perusahaan untuk mengidentifikasi peluang peningkatan efisiensi dan mengurangi biaya operasional. Menurut Christopher (2022), optimasi logistik dapat dicapai melalui beberapa strategi utama:

1. **Optimasi Jaringan Distribusi:** Digital Twin memungkinkan simulasi berbagai skenario distribusi guna menemukan kombinasi terbaik antara biaya dan kecepatan pengiriman.
2. **Manajemen Inventaris yang Lebih Baik:** Dengan Digital Twin, perusahaan dapat memprediksi permintaan dengan lebih akurat, mengurangi kelebihan stok, dan menghindari kekurangan barang.
3. **Efisiensi Transportasi:** Algoritma berbasis Digital Twin dapat membantu dalam pemilihan rute optimal yang mengurangi jarak tempuh, konsumsi bahan bakar, dan emisi karbon.
4. **Penggunaan AI dan Machine Learning:** Digital Twin yang dikombinasikan dengan kecerdasan buatan dapat memberikan rekomendasi berbasis data untuk meningkatkan efisiensi operasional.

Penelitian Zhang et al. (2023) menunjukkan bahwa perusahaan yang mengimplementasikan Digital Twin dalam logistik mereka mengalami peningkatan efisiensi operasional hingga 30% dan penurunan biaya transportasi hingga 15%. Selain itu, optimasi berbasis Digital Twin juga memungkinkan perusahaan untuk lebih cepat menyesuaikan diri terhadap perubahan pasar dan gangguan rantai pasok. Dengan berbagai manfaat ini, penerapan Digital Twin dalam optimasi proses logistik tidak hanya meningkatkan efisiensi tetapi juga mendukung tujuan keberlanjutan dengan mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh industri logistik.

Keberlanjutan Dalam Logistik

Keberlanjutan dalam logistik menjadi perhatian utama bagi perusahaan yang ingin mengurangi dampak lingkungan sekaligus meningkatkan efisiensi operasional. Digital Twin berperan dalam upaya ini dengan memungkinkan simulasi dan prediksi yang lebih akurat terkait penggunaan sumber daya, konsumsi energi, serta emisi karbon. Menurut Ivanov & Dolgui (2020), penerapan strategi keberlanjutan dalam logistik melibatkan:

1. **Optimalisasi Rute dan Transportasi Berkelanjutan:** Dengan Digital Twin, perusahaan dapat memilih rute paling efisien yang mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca.
2. **Manajemen Energi dalam Pergudangan:** Simulasi berbasis Digital Twin membantu dalam efisiensi penggunaan energi pada fasilitas penyimpanan dan distribusi.
3. **Penggunaan Bahan Ramah Lingkungan:** Model Digital Twin dapat memprediksi dampak dari penggunaan material dan membantu peralihan ke alternatif yang lebih berkelanjutan.
4. **Pengelolaan Limbah dan Daur Ulang:** Perusahaan dapat mensimulasikan strategi daur ulang dan pengurangan limbah secara lebih efektif.

Studi Tao et al. (2018) menunjukkan bahwa perusahaan yang mengadopsi teknologi Digital Twin untuk strategi keberlanjutan mengalami pengurangan emisi karbon dan peningkatan efisiensi rantai pasok. Oleh karena itu, Digital Twin menjadi alat yang sangat penting dalam upaya mencapai logistik berkelanjutan.

Pembahasan

Penerapan Digital Twin Dapat Meningkatkan Efisiensi Operasional pada Proses Logistik

Penerapan Digital Twin pada proses logistik dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap efisiensi operasional. Digital Twin, sebagai model virtual dari sistem fisik atau proses, memungkinkan perusahaan untuk memonitor, menganalisis, dan mengoptimalkan berbagai

aspek dalam rantai pasok dan distribusi secara real-time. Dengan adanya representasi digital yang akurat, perusahaan dapat mensimulasikan berbagai skenario dan membuat keputusan yang lebih tepat, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi operasional.

Salah satu cara Digital Twin meningkatkan efisiensi adalah dengan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk menganalisis dan menyelesaikan masalah dalam rantai pasok. Misalnya, dengan memanfaatkan data sensor dan informasi dari sistem logistik yang ada, Digital Twin dapat memprediksi potensi masalah seperti keterlambatan pengiriman atau kelebihan stok sebelum masalah tersebut terjadi di dunia nyata. Hal ini memungkinkan perusahaan untuk mengambil tindakan pencegahan lebih awal, mengurangi gangguan, dan meminimalkan pemborosan sumber daya.

Selain itu, dengan Digital Twin, perusahaan dapat lebih mudah mengoptimalkan rute pengiriman. Sistem ini memungkinkan simulasi rute transportasi yang lebih efisien, mengurangi konsumsi bahan bakar, dan meminimalkan emisi karbon, yang tidak hanya menghemat biaya operasional tetapi juga mendukung tujuan keberlanjutan. Penggunaan model digital juga memungkinkan perusahaan untuk mengevaluasi kinerja kendaraan, perangkat, dan fasilitas gudang secara lebih baik, serta mengidentifikasi area yang membutuhkan perbaikan untuk meningkatkan produktivitas.

Dengan analisis data yang lebih mendalam dan simulasi yang lebih realistis, Digital Twin juga membantu dalam meningkatkan efisiensi pergudangan. Proses-proses seperti pemetaan, penataan stok, dan pengelolaan ruang dapat dioptimalkan dengan cara yang lebih cerdas dan terinformasi. Hal ini mengarah pada penggunaan ruang gudang yang lebih efisien dan mengurangi biaya penyimpanan.

Secara keseluruhan, penerapan Digital Twin dalam proses logistik tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memberikan visibilitas yang lebih besar dalam seluruh sistem logistik, memungkinkan perusahaan untuk bertindak secara lebih cepat, responsif, dan proaktif dalam mengelola sumber daya mereka.

Penerapan Digital Twin dapat meningkatkan efisiensi operasional pada proses logistik dan telah banyak diteliti oleh Abideen et al. (2021), Schislyaeva et al. (2021), dan Wu et al. (2023).

Digital Twin Berkontribusi Terhadap Keberlanjutan Logistik Melalui Optimasi Sumber Daya dan Pengurangan Dampak Lingkungan

Digital Twin memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung keberlanjutan logistik, khususnya dalam hal optimasi sumber daya dan pengurangan dampak lingkungan. Dengan kemampuannya untuk mereplikasi sistem fisik secara virtual, Digital Twin memungkinkan perusahaan untuk memantau, menganalisis, dan mengoptimalkan berbagai aspek dari operasi logistik secara lebih efisien dan ramah lingkungan.

Salah satu kontribusi utama Digital Twin terhadap keberlanjutan logistik adalah dalam **optimasi penggunaan sumber daya**. Dalam sistem logistik tradisional, perusahaan sering kali menghadapi tantangan terkait penggunaan sumber daya yang tidak efisien, seperti kendaraan yang berjalan tanpa muatan penuh atau penggunaan energi yang berlebihan dalam gudang. Digital Twin memungkinkan perusahaan untuk memodelkan dan mensimulasikan berbagai skenario operasional, yang kemudian membantu mengidentifikasi cara terbaik untuk mengalokasikan sumber daya tersebut. Misalnya, dengan mengetahui rute pengiriman yang paling efisien atau cara terbaik dalam mengelola inventaris, perusahaan dapat mengurangi pemborosan bahan bakar, energi, dan waktu, yang pada akhirnya akan mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi operasional.

Selain itu, **pengurangan dampak lingkungan** menjadi aspek yang sangat diperhatikan dalam penerapan Digital Twin. Dengan dapat memprediksi dan mensimulasikan aliran logistik secara digital, perusahaan dapat mengidentifikasi area di mana mereka bisa mengurangi emisi

karbon dan polusi. Sebagai contoh, Digital Twin dapat digunakan untuk merencanakan rute transportasi yang lebih efisien, menghindari kemacetan, dan memilih kendaraan yang lebih ramah lingkungan, seperti kendaraan listrik atau hybrid. Ini tidak hanya mengurangi konsumsi bahan bakar fosil tetapi juga menurunkan emisi gas rumah kaca, yang merupakan faktor utama dalam perubahan iklim global.

Digital Twin juga dapat memantau penggunaan energi dalam fasilitas pergudangan. Dengan adanya data real-time yang diperoleh dari sensor yang ada pada sistem logistik, perusahaan dapat mengevaluasi dan mengoptimalkan penggunaan energi dalam gudang. Misalnya, penggunaan pencahayaan otomatis berbasis sensor atau pengaturan suhu yang lebih efisien dapat mengurangi konsumsi energi yang tidak perlu, yang berdampak langsung pada pengurangan jejak karbon perusahaan.

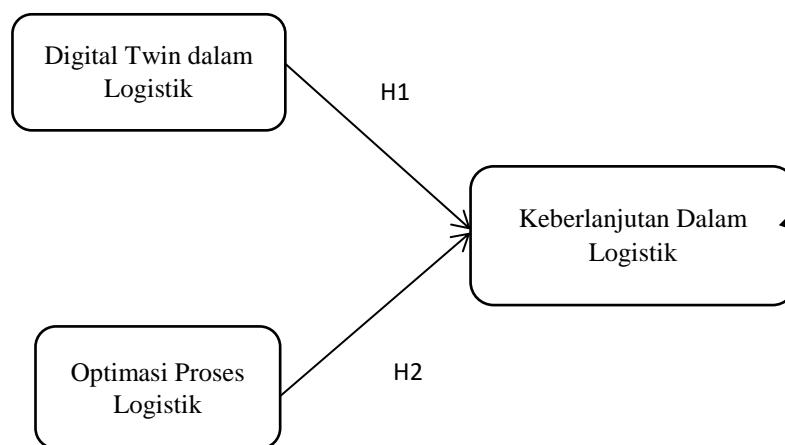
Lebih jauh lagi, **pengelolaan limbah dan daur ulang** juga dapat ditingkatkan dengan bantuan Digital Twin. Dalam proses logistik, limbah sering kali dihasilkan, baik itu dari kemasan yang tidak efisien, produk yang rusak, atau sisa material dari operasi logistik. Digital Twin memungkinkan perusahaan untuk mensimulasikan siklus hidup produk dan material, sehingga dapat merencanakan strategi daur ulang atau pengurangan limbah secara lebih efektif. Hal ini akan membantu perusahaan untuk beroperasi lebih ramah lingkungan, sesuai dengan prinsip ekonomi sirkular.

Secara keseluruhan, penerapan Digital Twin dalam logistik tidak hanya meningkatkan efisiensi dan produktivitas, tetapi juga memberikan kontribusi yang besar terhadap keberlanjutan. Dengan optimasi sumber daya, pengurangan emisi karbon, dan pengelolaan limbah yang lebih baik, Digital Twin mendukung perusahaan dalam mencapai tujuan keberlanjutan mereka sekaligus meningkatkan kinerja operasional mereka dalam menghadapi tantangan lingkungan global.

Digital Twin Berkontribusi Terhadap Keberlanjutan Logistik Melalui Optimasi Sumber Daya dan Pengurangan Dampak Lingkungan telah banyak diteliti oleh Zhang et al. (2023), Barykin et al. (2021), dan Zhao et al. (2022).

Kerangka Konseptual

Berdasarkan rumusan masalah, pembahasan dan penelitian relevan, maka di perolah kerangka konseptual seperti gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1: Kerangka Konseptual

Berdasarkan gambar kerangka konseptual di atas, maka: Digital Twin dalam Logistik, dan Optimasi Proses Logistik berpengaruh terhadap Keberlanjutan Dalam Logistik. Selain dari dua variabel yang mempengaruhi, masih banyak variabel lain diantaranya adalah:

1. Teknologi IoT (Internet of Things): (Ali, H. 2024), (Isnawati, I., & Ali, H. 2023), dan (Junaidi, A. 2015).
2. Artificial Intelligence (AI) & Machine Learning: (Eriana, E. S., & Zein, A. 2023), (Higgins et al., 2023), dan (Shivaprakash et al., 2022).
3. Big Data Analytics: (Vassakis et al., 2018), (Elgendy et al., 2014) dan (Rajaraman, V. 2016).

KESIMPULAN

Berdasarkan rumusan dan pembahasan maka kesimpulan artikel ini adalah untuk merumuskan hipotesis untuk riset selanjutnya, yaitu:

1. Penerapan Digital Twin dapat meningkatkan efisiensi operasional dalam proses logistik.
2. Digital Twin berkontribusi terhadap keberlanjutan logistik melalui optimasi sumber daya dan pengurangan dampak lingkungan.

REFERENSI

- Abideen, A. Z., Sundram, V. P. K., Pyeman, J., Othman, A. K., & Sorooshian, S. (2021). Digital twin integrated reinforced learning in supply chain and logistics. *Logistics*, 5(4), 84.
- Ali, H. (2024). Pengaruh Pendidikan, Informasi dan Komunikasi terhadap Internet of Things. *Jurnal Manajemen Pendidikan dan Ilmu Sosial (JMPIS)*, 5(3).
- Ali, H., & Limakrisna, N. (2013). Metodologi Penelitian (Petunjuk Praktis Untuk Pemecahan Masalah Bisnis, Penyusunan Skripsi (Doctoral dissertation, Tesis, dan Disertasi. In *In Deepublish: Yogyakarta*.
- Barricelli, B. R., Casiraghi, E., & Fogli, D. (2019). A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications. *Information*, 10(10), 314.
- Barykin, S. Y., Bochkarev, A. A., Dobronravina, E., & Sergeev, S. M. (2021). The place and role of digital twin in supply chain management. *Academy of Strategic Management Journal*, 20, 1-19.
- Christopher, M. (2022). *Logistics and Supply Chain Management*. Pearson Education.
- Elgendy, N., & Elragal, A. (2014). Big data analytics: a literature review paper. In *Advances in Data Mining. Applications and Theoretical Aspects: 14th Industrial Conference, ICDM 2014, St. Petersburg, Russia, July 16-20, 2014. Proceedings 14* (pp. 214-227). Springer International Publishing.
- Eriana, E. S., & Zein, A. (2023). Artificial Intelligence (AI).
- Grieves, M. (2014). *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. ResearchGate.
- Higgins, O., Short, B. L., Chalup, S. K., & Wilson, R. L. (2023). Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) based decision support systems in mental health: An integrative review. *International Journal of Mental Health Nursing*, 32(4), 966-978.
- Isnawati, I., & Ali, H. (2023). Determination The Internet of Things: Technological Innovation, Corporate Culture, and Computer-Based Information Systems. *Siber International Journal of Digital Business (SIJDB)*, 1(2), 67-72.
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 32(9), 775-788.
- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 29, 36-52.
- Junaidi, A. (2015). Internet of things, sejarah, teknologi dan penerapannya. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, 1(3).

- Kitchenham, B., Brereton, O. P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. *Information and software technology*, 51(1), 7-15.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). *Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification*. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016-1022.
- Rajaraman, V. (2016). Big data analytics. *Resonance*, 21, 695-716.
- Schislyaeva, E. R., & Kovalenko, E. A. (2021). Innovations in logistics networks on the basis of the digital twin. *Academy of Strategic Management Journal*, 20, 1-17.
- Shivaprakash, K. N., Swami, N., Mysorekar, S., Arora, R., Gangadharan, A., Vohra, K., ... & Kiesecker, J. M. (2022). Potential for artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) applications in biodiversity conservation, managing forests, and related services in India. *Sustainability*, 14(12), 7154.
- Tao, F., Zhang, M., Liu, Y., & Nee, A. Y. C. (2018). Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2405–2415.
- Tao, F., Zhang, M., Liu, Y., & Nee, A. Y. C. (2019). *Digital Twin in Industry: State-of-the-Art*. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2405-2415.
- Vassakis, K., Petrakis, E., & Kopanakis, I. (2018). Big data analytics: applications, prospects and challenges. *Mobile big data: A roadmap from models to technologies*, 3-20.
- Waller, M. A., & Fawcett, S. E. (2013). Data Science, Predictive Analytics, and Big Data: A Revolution that will Transform Supply Chain Design and Management. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 77–84.
- Wang, Y., Zhang, X., & Li, J. (2022). *Application of Digital Twin Technology in Logistics and Supply Chain Management*. *Journal of Logistics Research*, 45(2), 120-135.
- Wu, W., Shen, L., Zhao, Z., Harish, A. R., Zhong, R. Y., & Huang, G. Q. (2023). Internet of everything and digital twin enabled service platform for cold chain logistics. *Journal of Industrial Information Integration*, 33, 100443.
- Zhang, H., Li, T., & Wang, Z. (2023). *Enhancing Logistics Performance through Digital Twin-Based Optimization Strategies*. *International Journal of Logistics Management*, 34(3), 234-256.
- Zhang, Z., Qu, T., Zhao, K., Zhang, K., Zhang, Y., Liu, L., ... & Huang, G. Q. (2023). Optimization model and strategy for dynamic material distribution scheduling based on digital twin: a step towards sustainable manufacturing. *Sustainability*, 15(23), 16539.
- Zhao, Z., Zhang, M., Chen, J., Qu, T., & Huang, G. Q. (2022). Digital twin-enabled dynamic spatial-temporal knowledge graph for production logistics resource allocation. *Computers & Industrial Engineering*, 171, 108454.