

ISSN (ONLINE) 2598-9936



INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES

**PUBLISHED BY
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO**

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article.....	5
Title page	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	7

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

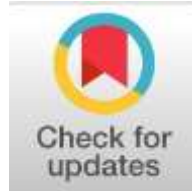
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

ISO 23247 Digital Twin Model for JIT Supply Chain Visibility

Model Digital Twin ISO 23247 untuk Visibilitas Rantai Pasok JIT

Rudy Riyanto, rudy.riyantops@gmail.com, (1)

Interdisciplinary School of Management and Technology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Putu Dana Karningsih, dana@its.ac.id , (2)

Interdisciplinary School of Management and Technology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Berlian Al Kindhi, berlian@its.ac.id , ()

Interdisciplinary School of Management and Technology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

⁽¹⁾ Corresponding author

Abstract

General Background: Automotive supply chains operating under Just-in-Time (JIT) principles require high levels of supply chain visibility to maintain synchronized material flow and stable production rhythms. **Specific Background:** In practice, daily monitoring using the Material Information Flow Chart (MIFC) remains constrained by paper-based tools or non-integrated digital systems, resulting in information lead times of one to two weeks and limited support for real-time problem solving. **Knowledge Gap:** Although Digital Twin technology and ISO 23247 architecture provide a standardized digital representation framework, limited studies address structured integration of conventional MIFC with ISO 23247 for cross-supply chain material flow representation in JIT environments. **Aims:** This study proposes the design of an ISO 23247-based MIFC Digital Twin model (MIFCDT) to represent material flow through structured digital entities aligned with Observable Manufacturing Elements and standard information attributes. **Results:** The model maps seven MIFC symbols into OME Equipment and OME Process entities and formulates digital representations using identifier, characteristics, location, capacity, and dynamic status attributes capturing timestamp and quantity data. A conceptual automotive supply chain scenario demonstrates one-to-one correspondence between physical and digital entities, enabling structured monitoring of cycle time deviation and lead time delay. **Novelty:** The study introduces a structured digital representation model that bridges conventional MIFC practice with ISO 23247 architecture at the material flow level. **Implications:** The proposed model provides a conceptual foundation for real-time supply chain visibility and supports daily management in JIT-based automotive systems while opening pathways for further empirical implementation.

Highlights

- Structured mapping of seven MIFC symbols into ISO 23247 Observable Manufacturing Elements.
- Formulation of static and dynamic digital attributes capturing timestamp, quantity, and location data.
- One-to-one correspondence between physical production points and digital entities demonstrated in a conceptual automotive scenario.

Keywords

Digital Twin; ISO 23247; Supply Chain Visibility; Just-In-Time; Material Information Flow Chart

Published date: 2026-02-11

I. Pendahuluan

Industri otomotif Indonesia beroperasi dalam lingkungan global yang semakin kompetitif, khususnya dengan munculnya Tiongkok, India, dan Thailand sebagai pusat manufaktur otomotif utama. Negara-negara tersebut memperoleh keunggulan kompetitif yang kuat melalui biaya produksi yang lebih rendah, infrastruktur yang berkembang dengan baik, serta dukungan kebijakan pemerintah yang konsisten [1],[2]. Dalam kondisi ini, sektor otomotif Indonesia menghadapi tekanan untuk meningkatkan efisiensi biaya dan kualitas produk secara bersamaan, karena keterbatasan kemampuan adaptasi dapat melemahkan posisinya dalam rantai pasok otomotif global [3].

Kinerja rantai pasok memainkan peran penting dalam menjaga daya saing industri otomotif. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi vertikal yang kuat antara pemasok dan produsen berkontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas dan stabilitas operasional [4]. Seiring dengan semakin kompleksnya rantai pasok, perusahaan dituntut tidak hanya untuk beroperasi secara efisien, tetapi juga tetap tangguh dan responsif terhadap gangguan. Oleh karena itu, integrasi sistem, kesadaran risiko, dan hubungan jangka panjang dengan pemasok menjadi elemen penting dalam menjaga kinerja rantai pasok [5].

Untuk meningkatkan efisiensi, industri otomotif secara luas mengadopsi praktik Just-in-Time (JIT) sebagai bagian dari Toyota Production System. JIT bertujuan untuk memproduksi jumlah yang dibutuhkan pada waktu yang tepat dengan meminimalkan pemborosan. Berbagai studi empiris menunjukkan bahwa penerapan JIT dapat meningkatkan efisiensi operasional, kualitas produk, margin keuntungan, dan pemanfaatan aset [6],[7]. Namun, penerapan prinsip JIT secara menyeluruh pada tingkat rantai pasok masih menghadapi berbagai tantangan, seperti keterbatasan kolaborasi dengan pemasok, variabilitas kualitas material, serta keterbatasan kapabilitas operasional mitra bisnis [8],[9],[10],[11].

Salah satu kendala krusial dalam penerapan JIT adalah keterbatasan visibilitas aliran material dan informasi. Banyak organisasi masih bergantung pada Material and Information Flow Chart (MIFC) berbasis kertas, dan bahkan ketika alat digital digunakan, informasi sering kali tidak diperbarui secara real-time, tidak terintegrasi, dan terfragmentasi dalam silo organisasi. Kondisi ini menyebabkan lead time informasi yang panjang, sering kali berkisar antara satu hingga dua minggu atau lebih, yang secara signifikan membatasi efektivitas daily management dalam memantau abnormalitas dan melakukan quick problem solving. Akibatnya, sinkronisasi proses terganggu, lead time meningkat, dan kinerja rantai pasok secara keseluruhan menurun. Selain itu, pemasok cenderung berfokus pada tujuan operasional masing-masing dibandingkan dengan tujuan bersama rantai pasok [12].

Kebutuhan untuk meningkatkan visibilitas telah banyak ditekankan dalam literatur, dengan sejumlah penelitian menyoroti pentingnya informasi real-time dalam meningkatkan efisiensi operasional, keandalan data, komunikasi lintas organisasi, serta ketahanan rantai pasok [13],[14],[15]. Dalam konteks ini, teknologi Digital Twin (DT) muncul sebagai solusi yang menjanjikan dengan menyediakan representasi digital dari sistem fisik yang diperbarui secara berkelanjutan. Digital twin mendukung pemantauan real-time, deteksi abnormalitas, serta pengambilan keputusan berbasis kondisi aktual di lantai produksi [16],[17],[18],[19],[20],[21]. Dalam penelitian ini, visibilitas didefinisikan sebagai kemampuan sistem untuk merepresentasikan kondisi operasional secara visual dan mendeteksi abnormalitas, seperti stagnasi persediaan, deviasi cycle time, dan perlambatan lead time, secara tepat waktu guna mendukung aktivitas daily management. Digital twin berbasis ISO 23247 diposisikan sebagai enabler untuk memperluas fungsi visualisasi MIFC dari sistem statis berbasis kertas menjadi media digital yang mendukung visibilitas kondisi operasional yang lebih akurat dan tepat waktu di seluruh rantai pasok.

Menurut ISO 23247, digital twin dalam konteks manufaktur didefinisikan sebagai representasi digital yang sesuai dengan tujuan dari suatu observable manufacturing element, melalui sinkronisasi antara elemen fisik dan representasi digitalnya [22]. Definisi ini secara tegas menempatkan model digital twin, sebagai representasi digital, adalah inti dari konsep digital twin dan fungsi digital twin lainnya seperti analisis dan visualisasi bergantung kepadanya. Konsep digital twin telah banyak dibahas, namun penelitian sebelumnya masih terbatas dalam mengkaji integritas entitas lintas rantai pasok serta penerapan arsitektur standar seperti ISO 23247 untuk mendukung sistem JIT di industri otomotif.

Meskipun memiliki potensi yang besar, implementasi digital twin secara menyeluruh pada tingkat rantai pasok masih dibatasi oleh tingginya biaya investasi, kesenjangan kompetensi, serta tingkat kematangan digital yang tidak merata di antara pemasok [23],[24]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang terstruktur dan bertahap, dimulai dari perancangan model digital twin berdasarkan prinsip-prinsip yang didefinisikan dalam ISO 23247. Model yang diusulkan menjadi langkah awal pengembangan desain Material & Information Flow Chart Digital Twin (MIFCDT) untuk meningkatkan visibilitas real-time aliran material serta mendukung daily management yang lebih efektif dalam rantai pasok otomotif.

II. Metode

Tujuan penelitian adalah menghasilkan desain model digital twin dari MIFC, yang merepresentasikan aliran material dan parameter operasional dari physical twin dalam bentuk representasi digital terstruktur yang selaras dengan konsep Digital Twin dalam ISO 23247. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada aliran material, dengan penekanan pada perumusan entitas digital dan atribut informasi yang diperlukan untuk merepresentasikan MIFC dan grafik turunannya seperti status persediaan, cycle time proses, dan lead time guna mendukung aktivitas daily management serta deteksi abnormalitas. Desain Digital Twin berbasis arsitektur ISO 23247 secara menyeluruh berada di luar ruang lingkup dan diposisikan sebagai agenda penelitian lanjutan.

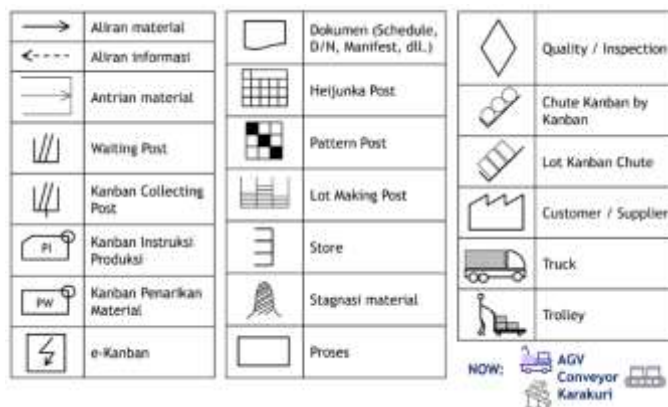


Figure 1. Daftar Simbol - Simbol MIFC (Dokumentasi Pribadi)

Tahapan penelitian diawali dengan identifikasi simbol MIFC yang khusus digunakan merepresentasikan aliran material dari daftar simbol MIFC seperti Gambar 1. Tahap ini menghasilkan daftar elemen MIFC yang menjadi dasar pembentukan entitas digital dalam model MIFCDT. Selanjutnya dilakukan pemetaan simbol MIFC terhadap Observable Manufacturing Elements (OME) sesuai ISO 23247 seperti ditunjukkan di Gambar 2. Setiap simbol MIFC yang terpilih dipadankan dengan OME yang sesuai untuk membentuk struktur representasi digital yang konsisten. Hasil pemetaan ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan entitas digital serta hubungan antar entitas dalam model MIFCDT.

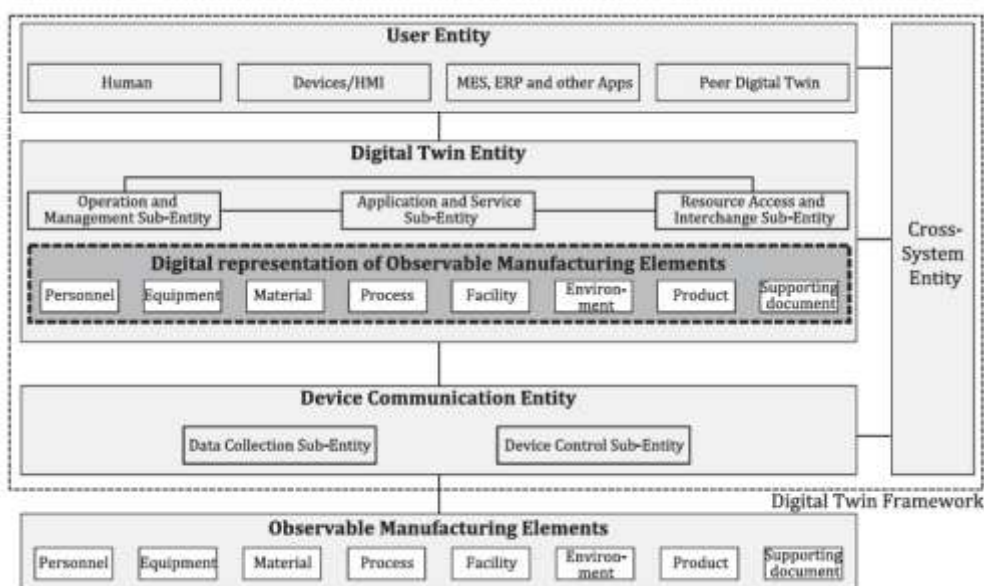


Figure 2. Tipe Observable Manufacturing Elements (OME) di arsitektur referensi Digital Twin ISO 23247 [22]

Berdasarkan hasil pemetaan tersebut, dilakukan perancangan struktur data model digital representation dengan mengacu pada standar information attributes untuk OME sebagaimana didefinisikan dalam ISO 23247 [22]. Untuk contoh OME Equipment dan Process dapat dilihat di Gambar 3. Standar ini digunakan sebagai acuan untuk memastikan bahwa struktur data yang dirancang memiliki konsistensi dan keterlacakan terhadap kerangka digital twin. Sebagai tahap akhir, model digital twin MIFCDT diterapkan pada sebuah contoh proses konseptual untuk menunjukkan cara penggunaan model dalam merepresentasikan aliran material. Pada tahap ini, elemen-elemen MIFC pada ilustrasi dipetakan ke dalam entitas digital dan disusun menjadi digital twin yang menggambarkan kondisi aliran material secara terstruktur.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Identifikasi simbol MIFC dan pemetaan ke OME terkait

Tahap awal dalam perancangan model digital representation MIFCDT adalah identifikasi MIFC yang merepresentasikan aliran material, diikuti dengan pemetaan simbol-simbol tersebut ke dalam OME. Identifikasi ini dilakukan untuk menentukan elemen-elemen MIFC yang relevan untuk direpresentasikan secara digital, dengan fokus pada simbol yang berperan langsung dalam menggambarkan pergerakan, penumpukan, dan transformasi material sepanjang aliran produksi.

Attribute	Description	Examples
Identifier	A value that conforms to ISO 8000-115 used to uniquely identify the equipment in a specific enterprise, e.g.: — UID — asset ID	— UID: e80561dc-2401-4f9a-964c-e90eb424b1dd — asset ID: dsm-200327-11
Characteristics	Functionalities, features of the equipment, e.g.: — milling — turning — grinding — pressing	milling
Schedule	A plan for carrying out manufacturing activities, e.g. Monday to Friday first shift	Maintenance for Machine #1 is scheduled on every Sunday.
Status	A current state of the equipment, e.g.: — on/off — working/breakdown — energy usage (unit: kWh) — temperature (unit: °C, °F) — noise level (unit: dB)	— on — energy usage: 10kWh — temperature: 25 °C
Location	Location information of the equipment, e.g.: — GPS coordinates — postal address — ISO 6709 — relative location	— Relative location — Machine #2: Work Unit #2 in Room #3
Report	An activity report of the equipment engaged in manufacturing, maintenance, etc.	— May 14 th , 2019 9 AM to 6 PM: Regular Maintenance — May 14 th , 2019 11 AM: Machine #1 reports high temperature.
Relationship	Relationship information between the equipment and other OMEs	— Machine #1 operates with Material #2. — Machine #1 is operated in WorkCenter #5.

Attribute	Description	Examples
Identifier	A value that conforms to ISO 8000-115 used to uniquely identify a process in a specific enterprise, e.g.: — UID — process identifier	— UID: f6341a65-942e-4120-9070-89ab0208cc1 — process identifier: proc-20201210221030
Characteristics	Classification of processes including production, maintenance, quality test, and inventory, e.g.: — production/maintenance/quality test/inventory — milling/drilling — additive manufacturing	Milling
Schedule	Time features of the process, e.g.: — periods — single occurrence — multiple occurrence — specific time and duration	Periodic: once a month
Status	A current condition of the process, e.g.: — planned — in process — finished — incomplete	In-process: May 14 th , 2019 09:00 AM
Location	Location information of the process to be performed, completed or on-going, e.g.: — GPS coordinates — postal address — ISO 6709 — relative location	— Relative location: Material #10 was moved from warehouse #2 of the Dapeng branch to conveyor # 3 of factory #2. — GPS coordinates: Material #10 was moved from (lat: 22.565089, lng: 119.351094,14z) to (35.3357326,129.3886283,17z) — XYZ location in coordinate space: Material #10 was moved from (longitude value="83.6945693" latitude value="82.25475478" altitude value="0") to (longitude value="79.6945691" latitude value="80.25475478" altitude value="0")
Report	An output report of a process	May 14 th , 2019: Machine #2 completed Milling operation #5.
Relationship	Relationship information between a process and other OMEs	— Manufacturing/Process/Shop #1 is executed by an operator with skill level3. — Milling operation #1 is began in Machine #3 and finished in Machine #4.

Figure 3. Standar Information Attributes untuk OME Equipment (sebelah kiri) dan OME Process (sebelah kanan) [22]

Berdasarkan hasil analisis terhadap simbol MIFC yang digunakan dalam praktik, penelitian ini mengidentifikasi tujuh simbol MIFC yang terkait langsung dengan aliran material, yaitu store, process, sequence lane, conveyance dolly, conveyance truck, conveyence forklift, dan quality/inspection. Selain ketujuh simbol tersebut, penelitian ini juga mempertimbangkan simbol stagnasi material sebagai bagian dari representasi aliran material. Simbol stagnasi material digunakan untuk menunjukkan status abnormal, yaitu ketika material atau persediaan melebihi batas maksimum kapasitas suatu storage, atau ketika material ditempatkan di luar area storage yang telah didefinisikan sebelumnya. Dengan demikian, simbol stagnasi tidak merepresentasikan elemen fisik tertentu, tetapi berfungsi sebagai indikator kondisi aliran material yang menyimpang dari kondisi normal dan menjadi masukan penting dalam aktivitas pemantauan.

Seperti ditunjukkan di Tabel 1, setiap simbol MIFC yang teridentifikasi kemudian dipetakan ke OME yang sesuai untuk membentuk struktur representasi digital yang konsisten. Simbol process dan quality/inspection dipetakan sebagai OME Process, sementara simbol store, sequence lane, conveyance dolly, conveyance truck, dan conveyence forklift dipetakan sebagai OME Equipment. Dalam kerangka ISO 23247 [22], OME process didefinisikan sebagai sekumpulan aktivitas manufaktur yang melibatkan aliran dan/atau transformasi material dalam suatu area produksi, sedangkan OME equipment didefinisikan sebagai elemen fisik yang menjalankan operasi secara langsung maupun tidak langsung untuk mendukung proses manufaktur. Kesesuaian antara fungsi simbol MIFC dengan definisi OME inilah yang menjadi dasar dalam melakukan pemetaan simbol MIFC ke OME yang relevan. Adapun simbol stagnasi material digunakan sebagai hasil dari proses analitik untuk merepresentasikan kondisi abnormal aliran material dalam model MIFCDT.

Simbol MIFC	Digital Twin OME
 1) Store	Equipment

 2) Sequence Lane	Equipment
 3) Trolley/Dolly	Equipment
 4) Truck	Equipment
 5) Forklift	Equipment
 6) Process	Process
 7) Quality/Inspection	Process
 Stagnasi_Material	----

Tabel 1. Padanan simbol MIFC dengan OME di ISO 23247

B. Pengembangan Model Digital Twin untuk Simbol MIFC Berbasis Standard Information Attributes

Berdasarkan hasil identifikasi simbol MIFC dan pemetaannya ke OME, tahap selanjutnya adalah pengembangan model digital twin untuk masing-masing simbol MIFC. Pengembangan ini difokuskan pada perumusan struktur representasi digital dengan mengacu pada standard information attributes untuk OME, sehingga setiap simbol MIFC yang direpresentasikan secara digital memiliki struktur informasi yang konsisten dan terdefinisi.

Kebutuhan data utama dalam MIFC dan grafik turunannya untuk mendukung praktik JIT berfokus pada tiga elemen informasi, yaitu waktu (timestamp), jumlah (quantity), dan lokasi (location). Ketiga elemen ini digunakan untuk merepresentasikan kondisi aliran material dan permasalahannya, baik dalam konteks pemantauan pergerakan material, posisi persediaan, maupun keterkaitan antar proses. Oleh karena itu, pengembangan model digital twin MIFC diarahkan untuk memastikan bahwa struktur representasi digital mampu menangkap ketiga elemen informasi tersebut secara konsisten pada setiap simbol MIFC.

Kemudian seperti ditunjukkan pada Gambar 3, standar Information Attributes untuk OME Equipment & Process dari ISO 23247 digunakan sebagai referensi dalam membuat model digital twin untuk tujuh elemen MIFC yang disebutkan sebelumnya dengan penyesuaian sesuai konteks penelitian ini. Dari tabel referensi tersebut, atribut yang dipilih adalah identifier, characteristics, status, dan location, yang dianggap paling relevan untuk mendukung fungsi visibilitas MIFCDT. Atribut tambahan seperti capacity (min, mix, standard) juga disertakan untuk menyesuaikan kebutuhan use case dalam penelitian ini. Pendekatan ini memastikan bahwa pemodelan tetap mengikuti prinsip ISO 23247, namun diperluas secara kontekstual agar relevan dengan karakteristik sistem produksi Just-in-Time.

Berdasarkan pemilihan atribut tersebut, setiap Equipment meliputi store, sequence line, dolly, truck, dan forklift direpresentasikan sebagai entitas digital dengan atribut yang menggambarkan fungsi, lokasi, dan status operasionalnya. Atribut identifier berfungsi sebagai pengenalan unik yang menghubungkan setiap peralatan dengan objek fisiknya di dunia nyata, sedangkan characteristics menjelaskan peran dan spesifikasi peralatan dalam mendukung aliran material. Atribut location menunjukkan posisi tetap peralatan dalam konteks tata letak atau jalur produksi, sementara capacity digunakan untuk menentukan batas kapasitas minimum, maksimum, dan standar, yang menjadi acuan dalam pengendalian persediaan dan

sinkronisasi pergerakan material.

Berbeda dari atribut statis yang disebutkan sebelumnya, atribut status bersifat dinamis dan diperbarui secara real-time melalui sensor di lantai produksi. Data pada kolom ini mencakup informasi seperti waktu operasi, jumlah material, dan perubahan kondisi aktual yang terjadi selama proses berjalan. Kombinasi antara atribut statis dan dinamis ini memungkinkan model digital twin untuk merepresentasikan kondisi fisik secara lebih akurat dan kontekstual.

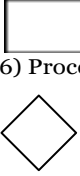
Dengan prinsip yang serupa pada OME Equipment, OME Process memodelkan aktivitas transformasi yang terjadi pada material di setiap titik proses produksi. Atribut pada entitas ini mencakup identifier yang digunakan untuk menghubungkan setiap aktivitas proses dengan equipment atau stasiun kerja tempat proses tersebut berlangsung, characteristics menjelaskan jenis aktivitas yang dilakukan. Atribut status kembali bersifat dinamis dan diperbarui secara real-time. Data pada kolom ini mencatat informasi waktu mulai (start time) dan waktu selesai (end time) dari setiap aktivitas proses. Data ini memungkinkan perhitungan cycle time aktual dan perbandingan dengan takt time standar serta deviasi cycle time (baratsuki). Data ini juga membantu mendeteksi perlambatan lead time dari yang sudah ditetapkan dalam sistem Just-in-Time. Merujuk kepada konsep yang dijelaskan di atas, di Tabel 2 berikut dapat dilihat setiap model digital twin untuk tujuh elemen MIFC yang menjadi fokus di riset ini.

Secara keseluruhan, hasil pemetaan ini menghasilkan model representasi digital atau digital twin dari elemen-elemen MIFC, yang berperan sebagai inti dari arsitektur MIFCDT dalam menyediakan visibilitas terhadap aliran material dan kinerja proses sistem produksi.

C. Penerapan model digital twin pada sebuah proses konseptual

Melanjutkan pengembangan model digital twin sebelumnya, tahap ini difokuskan pada penerapan model digital twin dalam konteks rantai pasok otomotif berbasis Just-in-Time. Penerapan dilakukan melalui sebuah contoh

Simbol MIFC	Model Digital Twin																
 Store	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Equipment Store</th></tr> <tr> <th>Attributes</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Identifier</td><td></td></tr> <tr> <td>Characteristics</td><td></td></tr> <tr> <td>Location</td><td></td></tr> <tr> <td>Max Capacity</td><td></td></tr> <tr> <td>Min Capacity</td><td></td></tr> <tr> <td>Status</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Equipment Store		Attributes	Value	Identifier		Characteristics		Location		Max Capacity		Min Capacity		Status	
Equipment Store																	
Attributes	Value																
Identifier																	
Characteristics																	
Location																	
Max Capacity																	
Min Capacity																	
Status																	
 2) Sequence Lane	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Equipment Antrian Material</th></tr> <tr> <th>Attributes</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Identifier</td><td></td></tr> <tr> <td>Characteristics</td><td></td></tr> <tr> <td>Location</td><td></td></tr> <tr> <td>Std. Capacity</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Equipment Antrian Material		Attributes	Value	Identifier		Characteristics		Location		Std. Capacity					
Equipment Antrian Material																	
Attributes	Value																
Identifier																	
Characteristics																	
Location																	
Std. Capacity																	
 3) Trolley/Dolly	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Equipment Dolly</th></tr> <tr> <th>Attributes</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Identifier</td><td></td></tr> <tr> <td>Characteristics</td><td></td></tr> <tr> <td>Location</td><td></td></tr> <tr> <td>Max Capacity</td><td></td></tr> <tr> <td>Min Capacity</td><td></td></tr> <tr> <td>Status</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Equipment Dolly		Attributes	Value	Identifier		Characteristics		Location		Max Capacity		Min Capacity		Status	
Equipment Dolly																	
Attributes	Value																
Identifier																	
Characteristics																	
Location																	
Max Capacity																	
Min Capacity																	
Status																	
 4) Truck	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Equipment Truck</th></tr> <tr> <th>Attributes</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Identifier</td><td></td></tr> <tr> <td>Characteristics</td><td></td></tr> <tr> <td>Location</td><td></td></tr> <tr> <td>Max Capacity</td><td></td></tr> <tr> <td>Min Capacity</td><td></td></tr> <tr> <td>Status</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Equipment Truck		Attributes	Value	Identifier		Characteristics		Location		Max Capacity		Min Capacity		Status	
Equipment Truck																	
Attributes	Value																
Identifier																	
Characteristics																	
Location																	
Max Capacity																	
Min Capacity																	
Status																	

5) Forklift 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Equipment Forklift</th> </tr> <tr> <th>Attributes</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Identifier</td><td></td></tr> <tr> <td>Characteristics</td><td></td></tr> <tr> <td>Location</td><td></td></tr> <tr> <td>Max Capacity</td><td></td></tr> <tr> <td>Min Capacity</td><td></td></tr> <tr> <td>Status</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Equipment Forklift		Attributes	Value	Identifier		Characteristics		Location		Max Capacity		Min Capacity		Status	
Equipment Forklift																	
Attributes	Value																
Identifier																	
Characteristics																	
Location																	
Max Capacity																	
Min Capacity																	
Status																	
6) Process  7) Quality/Inspection	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Process</th> </tr> <tr> <th>Attributes</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Identifier</td><td></td></tr> <tr> <td>Characteristics</td><td></td></tr> <tr> <td>Location</td><td></td></tr> <tr> <td></td><td></td></tr> <tr> <td></td><td></td></tr> <tr> <td>Status</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Process		Attributes	Value	Identifier		Characteristics		Location						Status	
Process																	
Attributes	Value																
Identifier																	
Characteristics																	
Location																	
Status																	

Tabel 2. Model digital twin untuk tujuh elemen MIFC

proses konseptual yang dirancang untuk merepresentasikan karakteristik umum sistem produksi otomotif. Meskipun bersifat konseptual, proses yang digunakan disusun berdasarkan observasi dan pengalaman praktis di kondisi aktual industri, sehingga alur aliran material yang digambarkan mencerminkan kondisi operasional yang lazim dijumpai di lapangan.

Aliran material dalam proses ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu proses yang terjadi di sisi pemasok Tier-1 dan proses di sisi OEM (Original Equipment Manufacturer) seperti ditunjukkan di Gambar 4. Keduanya mewakili sebuah rantai pasok sederhana dan terintegrasi yang beroperasi dengan prinsip JIT, di mana keseimbangan ritme aliran material sangat penting untuk menjaga kelancaran produksi dan menghindari penumpukan maupun kekosongan material di titik-titik tertentu. Proses yang direpresentasikan mencakup penyimpanan barang jadi hasil produksi stamping di pemasok Tier-1 kemudian perpindahan melalui fasilitas logistik menggunakan truck delivery sebagai sarana pengiriman antar fasilitas. Dalam konteks JIT, sistem pengiriman ini dirancang dengan jadwal yang ketat dan volume terbatas untuk menjaga ritme pasokan agar sejalan dengan kebutuhan aktual di sisi penerima. Namun, gangguan seperti keterlambatan keberangkatan, antrian saat bongkar muat, atau variasi waktu tempuh di jalur distribusi dapat menyebabkan perlambatan lead time secara kumulatif. Di area OEM, aliran material dimulai dari tahap penerimaan di store. Tahap berikutnya adalah proses welding, yang sering kali menjadi sumber munculnya fenomena baratsuki atau ketidakaturan cycle time. Ketidakteraturan ini biasanya disebabkan oleh banyaknya variasi tipe part yang diproses, ketidakkonsistenan dalam penerapan standar kerja yang dilatih secara berkelanjutan, serta tingkat kesulitan proses yang tinggi di beberapa stasiun. Akibatnya, sebagian stasiun dapat menyelesaikan proses lebih cepat dari takt time sementara yang lain tertinggal, menyebabkan aliran kerja tidak stabil dan mengganggu ritme proses selanjutnya. Secara keseluruhan, baik di sisi pemasok, transportasi logistik, maupun OEM, gangguan kecil pada salah satu titik dalam aliran material dapat memicu efek berantai terhadap stabilitas produksi. Fenomena baratsuki pada proses welding, serta perlambatan lead time pada tahap transportasi mencerminkan kompleksitas hubungan antarproses dalam sistem produksi otomotif berbasis JIT. Aliran proses ini mewakili lapisan OME di arsitektur ISO 23247.

Desain model digital twin seperti yang diperlihatkan di Gambar 5 dikembangkan untuk memetakan hubungan langsung antara proses fisik di lapangan atau dalam arsitektur ISO 23247 disebut sebagai OME, dengan entitas digitalnya. Dengan demikian, setiap titik proses dalam sistem produksi fisik dapat dimonitor dan dianalisis melalui padanannya di lingkungan digital secara terstruktur dan konsisten.

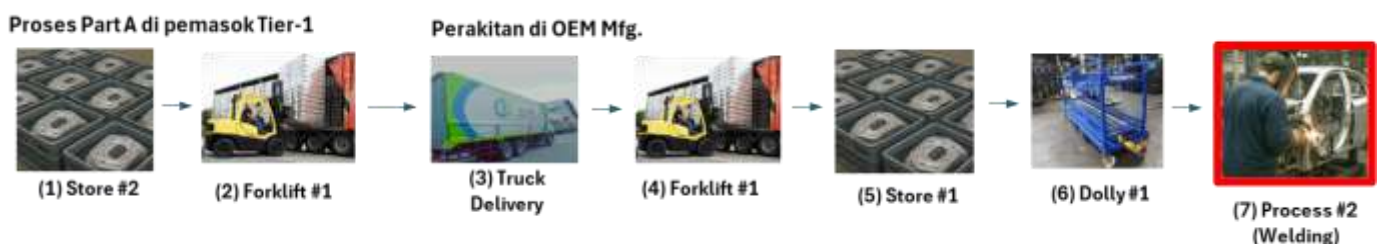


Figure 4. Aliran proses material antara Pemasok dan OEM dalam rantai pasok otomotif berbasis Just-in-Time

Model Digital Twin yang dikembangkan dalam penelitian ini ditempatkan pada lapisan Digital Representation dalam arsitektur ISO 23247 dan ini menjadi inti dari konsep digital twin. Dalam implementasinya, model ini memiliki hubungan satu-ke-satu [ISSN 2598-9936 \(online\), https://ijins.umsida.ac.id](https://ijins.umsida.ac.id), published by [Universitas Muhammadiyah Sidoarjo](https://ijins.umsida.ac.id)

(one-to-one correspondence) dengan tujuh titik process atau equipment fisik yang menjadi objek studi kasus mulai dari penyimpanan di pemasok hingga welding process di OEM. Setiap titik process atau equipment direpresentasikan sebagai satu entitas digital dengan atribut utama yang mencakup identifier, characteristics, location, capacity, serta status operasionalnya. Pendekatan ini memastikan bahwa OME di dunia nyata memiliki padanan digital yang sejajar dan mampu berinteraksi secara sinkron di dalam sistem MIFCDT.

Selain pemodelan elemen, desain ini juga mencakup struktur kebutuhan data esensial yang menjadi fondasi pertukaran informasi dalam sistem JIT yaitu lokasi (location), waktu (timestamp), dan jumlah (quantity). Ketiga parameter ini digunakan untuk memantau pergerakan material, mendeteksi potensi keterlambatan, serta menjaga keseimbangan ritme antar proses produksi. Dua dari tiga paramter tersebut yaitu waktu dan jumlah, dikarenakan sifatnya yang dinamis akan selalu ditempatkan di kolom status dari setiap model digital twin.

Penerapan model pada proses konseptual ini bertujuan untuk menunjukkan bagaimana entitas digital dan struktur representasi MIFCDT yang telah dikembangkan dapat digunakan dalam konteks aliran material rantai pasok otomotif. Dengan demikian, bagian ini memberikan pemahaman awal mengenai potensi penggunaan model digital twin MIFCDT sebagai fondasi representasi digital yang mendukung visibilitas dan sinkronisasi aliran material.

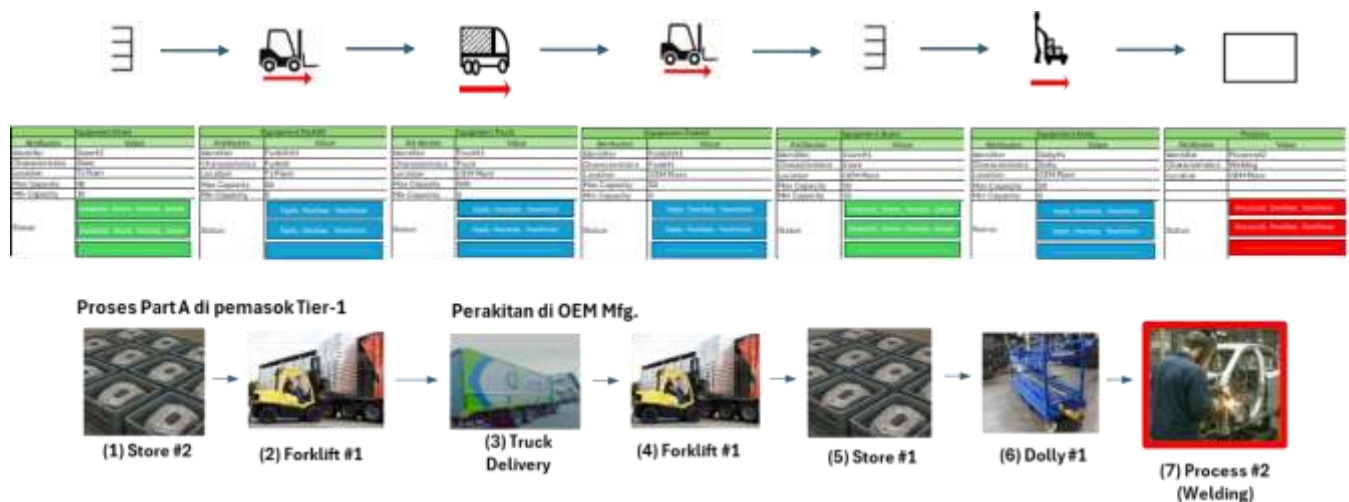


Figure 5. Model digital twin untuk contoh proses konseptual. Lapisan bawah adalah OME, tengah adalah model digital twin untuk OME tersebut, dan atas adalah MIFC.

Sebagai salah satu contoh detail, Gambar 6 memperlihatkan hubungan satu-ke-satu antara OME Process Welding di dunia fisik dan entitas digitalnya dalam sistem MIFCDT. Secara fisik, proses welding di fasilitas OEM merupakan tahapan di mana beberapa komponen hasil proses sebelumnya disatukan menjadi satu sub-assembly kendaraan termasuk part dari pemasok Tier-1. Proses ini membutuhkan presisi tinggi dan berlangsung dalam waktu siklus (cycle time) tertentu agar selaras dengan ritme produksi JIT.

Dalam Digital Twin, proses welding dimodelkan menggunakan atribut-atribut utama yang menggambarkan karakteristik dan dinamika operasionalnya sebagai berikut:

- Identifier berfungsi sebagai pengenalan unik yang menghubungkan proses digital dengan proses fisik di lantai produksi. Kode “Process#2” menandai bahwa entitas ini mewakili tahapan welding pada sistem fisik di OEM Plant.
- Characteristics menjelaskan jenis proses yang dilakukan, yaitu “Welding”, sehingga sistem dapat membedakan aktivitas ini dari proses lain seperti stamping, painting, atau inspection.
- Location menunjukkan posisi proses dalam aliran produksi, dalam hal ini berada di OEM Plant, sebagai titik di mana sub-komponen hasil pengiriman dari pemasok disatukan.
- Status adalah atribut yang dinamis dan diperbarui secara real-time menggunakan sensor digital. Nilai status berisi data seperti ProcessID, TimeStart, dan TimeFinish, yang masing-masing menggambarkan identitas proses spesifik, waktu mulai pengerjaan, dan waktu selesai.

Hubungan antara kolom status di model digital dengan proses fisik memungkinkan sistem untuk melacak performa aktual.

Dengan demikian, model MIFCDT yang diusulkan tidak hanya memperluas fungsi MIFC konvensional dari media statis menjadi representasi digital yang terstruktur, tetapi juga memberikan dasar pengambilan keputusan operasional yang lebih

responsif.

IV. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan model digital twin MIFCDT sebagai kontribusi teoritis utama yang menunjukkan bahwa MIFC konvensional dapat dikembangkan menjadi model representasi digital yang terstruktur dan konsisten. Model yang dikembangkan berfokus pada representasi aliran material sebagai dasar visibilitas dalam sistem Just-in-Time. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan digital twin dimulai dari level model, dengan menyesuaikan kebutuhan pengguna dalam aktivitas daily management.

Digital Twin

Process	
Attributes	Value
Identifier	Process #2
Characteristics	Welding
Location	OEM Plant
Status	ProcessID, TimeStart, TimeFinish
	ProcessID, TimeStart, TimeFinish
	ProcessID, TimeStart, TimeFinish

OME



(7) Process #2
(Welding)

Figure 6. Hubungan antara OME dan Digital Twin pada titik Welding

Model MIFCDT dikembangkan melalui pemetaan simbol-simbol MIFC yang terkait langsung dengan aliran material ke dalam OME, serta perumusan struktur representasi digital dengan mengacu pada standard information attributes. Struktur ini membedakan antara atribut statis dan atribut dinamis, di mana atribut dinamis direpresentasikan melalui status field untuk menangkap perubahan kondisi operasional, seperti waktu masuk dan keluar material, jumlah persediaan, serta lokasi material. Dengan struktur tersebut, model MIFCDT mampu merepresentasikan kondisi aliran material secara jelas dan mudah ditelusuri sehingga mendukung peningkatan visibilitas kondisi operasional secara real time.

Penerapan model pada sebuah proses konseptual menunjukkan bahwa MIFCDT mampu merepresentasikan hubungan satu-satu antara elemen fisik dan entitas digitalnya, serta menggambarkan aliran material secara berurutan berdasarkan informasi waktu, jumlah, dan lokasi. Hal ini menunjukkan bahwa model yang dikembangkan memiliki kelengkapan dan konsistensi yang memadai untuk mendukung aktifitas pemantauan harian abnormalitas dan pemecahan masalah yang lebih real time seperti deviasi cycle time (baratsuki) dan perlambatan lead time dalam lingkungan Just-in-Time. Dibandingkan praktik MIFC konvensional yang bersifat statis dan mempunyai lead time informasi yang panjang, model MIFCDT memungkinkan pengambilan keputusan operasional yang lebih cepat dan berbasis kondisi aktual di lantai produksi dan rantai pasok.

Secara keseluruhan, model digital twin MIFCDT dapat diposisikan sebagai fondasi awal representasi digital yang menjembatani praktik MIFC konvensional dengan pengembangan digital twin berbasis standar ISO23247. Model ini menyediakan titik awal untuk pengembangan lebih lanjut menuju sistem digital twin yang lebih komprehensif, sambil tetap mempertahankan pemahaman mengenai MIFC konvensional yang selama ini sudah diaplikasikan sehingga dapat mengurangi learning curve dan potensi resistensi awal pengguna. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk meningkatkan visibilitas sebagai kemampuan merepresentasikan kondisi operasional dan mendeteksi abnormalitas guna mendukung daily management, dapat dicapai pada level konseptual. Namun, penelitian ini masih bersifat desain konseptual dan belum mencakup implementasi empiris maupun keseluruhan komponen arsitektur digital twin ISO 23247, sehingga membuka peluang penelitian lanjutan yang lebih komprehensif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Sekolah Interdisipliner Manajemen dan Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, atas bimbingan akademik, fasilitas, serta dukungan yang diberikan selama proses penyelesaian penelitian dan penyusunan publikasi ini.

References

1. GAIKINDO, "Mendorong Ekspor Otomotif dari Indonesia," <https://www.gaikindo.or.id/mendorong-ekspor-otomotif-dari-indonesia/>.
2. D. Yasyi, "Top 10 Asian countries by car exports 2020. Thailand is still the lead for Southeast Asia country," <https://seasia.co/2022/02/23/top-10-asian-countries-by-car-exports-2020-thailand-still-the-lead-for-southeast-asia-country>.
3. R. Sukoco, "Asia's 18 Most Competitive Countries, 2024," <https://seasia.co/infographic/asias-18-most-competitive-countries-2024>.
4. J. C. Serpa and H. Krishnan, "The Impact of Supply Chains on Firm-Level Productivity," *Manage Sci*, vol. 64, no. 2, pp. 511–532, Feb. 2018, doi: 10.1287/mnsc.2016.2632.
5. T. Xiong, "The analysis of the impact of different supply chain factors using statistical perspective," *Applied and Computational Engineering*, vol. 87, no. 1, pp. 241–249, Aug. 2024, doi: 10.54254/2755-2721/87/20241618.
6. J. García-Cutrin and C. Rodríguez-García, "Enhancing Corporate Sustainability through Just-In-Time (JIT) Practices: A Meta-Analytic Examination of Financial Performance Outcomes," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 10, May 2024, doi: 10.3390/su16104025.
7. B. G. Adeniran, W. H. Agbaje, and M. A. Adeosun, "An assessment of just in time system on the financial performance of manufacturing firms in Nigeria," *Journal of Accounting and Taxation*, vol. 11, no. 7, pp. 111–119, Jul. 2019, doi: 10.5897/jat2018.0323.
8. S. F. Ezzahra, A. Ahmed, and R. Said, "Literature review on successful JIT implementation in developing countries : obstacles and critical success factors," in 2018 International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA), IEEE, Apr. 2018, pp. 63–68. doi: 10.1109/LOGISTIQUA.2018.8428268.
9. G. Shang and L. Sui Pheng, "Barriers to lean implementation in the construction industry in China," *Journal of Technology Management in China*, vol. 9, no. 2, pp. 155–173, Jul. 2014, doi: 10.1108/jtmc-12-2013-0043.
10. A. Singh and D. M. Singh, "Major Obstacles And Relationship Among Barriers In Implementing Lean Manufacturing In Indian Industries," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 13, no. 04, pp. 80–86, Apr. 2016, doi: 10.9790/1684-1304018086.
11. Y. Sumantri, "Lean Manufacturing Practices And Their Barriers In Small And Medium Enterprises (Smes)," *Cognitive-Crcs*, Jul. 2018, pp. 412–418. doi: 10.15405/epsbs.2018.07.02.44.
12. K. Arshinder, A. Kanda, and S. G. Deshmukh, "A Review on Supply Chain Coordination: Coordination Mechanisms, Managing Uncertainty and Research Directions," in *Supply Chain Coordination under Uncertainty*, Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 39–82. doi: 10.1007/978-3-642-19257-9_3.
13. S. Wycisłak and A. Akhtar, "REAL-TIME VISIBILITY AS A CATALYST FOR OPERATIONAL ENHANCEMENTS," *Logforum*, vol. 20, no. 2, pp. 161–174, Apr. 2024, doi: 10.17270/J.LOG.001010.
14. S. Somapa, M. Cools, and W. Dullaert, "Characterizing supply chain visibility – A literature review," in *International Journal of Logistics Management*, Emerald Group Publishing Ltd., 2018, pp. 308–339. doi: 10.1108/IJLM-06-2016-0150.
15. S. R. Y. Peesapati, "Enhancing Supply Chain Visibility in Large Enterprises: A Literature Review," *International Journal of Supply Chain Management*, vol. 13, no. 3, pp. 20–27, Jun. 2024, doi: 10.59160/ijscm.v13i3.6246.
16. Y. Fu, G. Zhu, M. Zhu, and F. Xuan, "Digital Twin for Integration of Design-Manufacturing-Maintenance: An Overview," Dec. 01, 2022, Springer. doi: 10.1186/s10033-022-00760-x.
17. M. Javaid, A. Haleem, and R. Suman, "Digital Twin applications toward Industry 4.0: A Review," Jan. 01, 2023, KeAi Communications Co. doi: 10.1016/j.cogr.2023.04.003.
18. H. soleymanizadeh, Q. Qu, S. M. Hosseini Bamakan, and S. M. Zanjirchi, "Digital Twin Empowering Manufacturing Paradigms: Lean, Agile, Just-in-Time (Jit), Flexible, Resilience, Sustainable," *Procedia Comput Sci*, vol. 221, pp. 1258–1267, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.08.114.
19. D. Guo and S. Mantravadi, "The role of digital twins in lean supply chain management: review and research directions," 2024, Taylor and Francis Ltd. doi: 10.1080/00207543.2024.2372655.
20. M. O. Agho, N. L. Eyo-Udo, E. C. Onukwulu, A. K. Sule, and C. Azubuike, "Digital Twin Technology for Real-Time Monitoring of Energy Supply Chains," *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, vol. IX, no. XII, pp. 564–592, 2025, doi: 10.51584/IJRIAS.2024.912049.
21. B. Guidani, M. Ronzoni, and R. Accorsi, "Virtual agri-food supply chains: A holistic digital twin for sustainable food ecosystem design, control and transparency," *Sustain Prod Consum*, vol. 46, pp. 161–179, May 2024, doi: 10.1016/j.spc.2024.01.016.
22. ISO, "Automation systems and integration-Digital twin framework for manufacturing-Part 2: Reference architecture," 2021.
23. S. Holloway, "Digital Transformation in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review of Trends and Applications," Nov. 29, 2024. doi: 10.20944/preprints202411.2423.v1.
24. D. M. Botín-Sanabria, S. Mihaita, R. E. Peimbert-García, M. A. Ramírez-Moreno, R. A. Ramírez-Mendoza, and J. de J. Lozoya-Santos, "Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review," Mar. 01, 2022, MDPI. doi: 10.3390/rs14061335.