

Analisis Perancangan Ekosistem Digital Untuk Transformasi Industri 4.0 Pada Perusahaan Manufaktur Skala Menengah

Dito Saputra¹, Hendrik Prasetyo Sudarma², Fery Adi Permana³, Muhammad Ridho⁴

¹Program Studi Teknik Industri Universitas Pelita Bangsa

e-mail: Ditoajah31@gmail.com, hendrikprasetyo1993@gmail.com, feryadipermana123@gmail.com, mridho567890@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.66152/jimi.v2i1.47>

Informasi Artikel

Dikirim: 25 Mei 2026

Direvisi: 07 Juni 2026

Diterima: 18 Juni 2026

ABSTRACT

The Industry 4.0 transformation is urgent for medium-scale manufacturing companies to maintain competitiveness amid market volatility, but technological integration constraints often hamper operational efficiency. This study aims to analyze and design an integrated digital ecosystem to support the digital transition in medium-sized manufacturing companies. The method used is the System Development Life Cycle (SDLC) with an Enterprise Architecture framework approach to map business processes into a digital system. The results show a 27% increase in workflow efficiency and a 15% reduction in production lead time after the ecosystem modeling was implemented. This study highlights that synchronization between IoT devices in the production line and the central database management system is the main key in minimizing information silos. It is concluded that the design of a targeted digital ecosystem is proven to optimize the performance of the medium-sized manufacturing industry, while providing a scalable foundation for future technology adoption.

Keywords: Digital Ecosystem, Industry 4.0, Medium Manufacturing, Operational Efficiency, Digital Transformation.

ABSTRAK

Transformasi Industri 4.0 menjadi urgensi bagi perusahaan manufaktur skala menengah guna mempertahankan daya saing di tengah volatilitas pasar, namun kendala integrasi teknologi sering kali menghambat efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan merancang sebuah ekosistem digital yang terintegrasi guna mendukung transisi digital pada perusahaan manufaktur menengah. Metode yang digunakan adalah System Development Life Cycle (SDLC) dengan pendekatan kerangka kerja Enterprise Architecture untuk memetakan proses bisnis ke dalam sistem digital. Hasil penghitungan data menunjukkan peningkatan efisiensi alur kerja sebesar 27% dan reduksi lead time produksi mencapai 15% setelah pemodelan ekosistem diterapkan. Disimpulkan bahwa perancangan ekosistem digital yang tepat sasaran terbukti mampu mengoptimalkan performa industri manufaktur menengah, sekaligus menyediakan fondasi yang skalabel untuk adopsi teknologi masa depan.

Kata Kunci: Ekosistem Digital, Industri 4.0, Manufaktur Menengah, Efisiensi Operasional, Transformasi Digital.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi global saat ini telah membawa industri manufaktur ke ambang revolusi besar yang dikenal sebagai Industri 4.0. Transformasi ini menuntut perusahaan untuk beralih



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

dari sistem konvensional menuju ekosistem digital yang mengintegrasikan otomatisasi, Internet of Things (IoT), dan analisis data secara real-time. Bagi perusahaan manufaktur skala menengah, adaptasi ini bukan lagi sekadar pilihan untuk meningkatkan citra, melainkan sebuah keharusan strategis agar tetap relevan dan kompetitif di tengah rantai pasok global yang semakin kompleks dan cepat (Kagermann et al., 2013).

Urgensi transformasi ini diperkuat oleh berbagai hasil penelitian terdahulu. Lee et al. (2015) dalam penelitiannya tentang *Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0* membuktikan bahwa perusahaan yang mengadopsi sistem siber-fisik berhasil meningkatkan efisiensi produksi hingga 30% dibandingkan perusahaan yang masih menggunakan sistem konvensional. Senada dengan temuan tersebut, Monostori (2014) mengidentifikasi bahwa integrasi sistem produksi berbasis data real-time menjadi faktor kunci yang membedakan perusahaan yang mampu bertahan dari disrupsi industri dengan perusahaan yang mengalami stagnasi pertumbuhan.

Penelitian yang dilakukan oleh Porter dan Heppelmann (2015) dalam *Harvard Business Review* juga menegaskan bahwa perusahaan yang berhasil menerapkan produk dan layanan berbasis konektivitas digital mengalami peningkatan margin keuntungan rata-rata sebesar 20-25%. Temuan ini memperkuat argument bahwa transformasi digital bukan sekadar tren, melainkan kebutuhan mendesak yang harus segera diadopsi oleh perusahaan manufaktur skala menengah agar tidak tertinggal dalam persaingan global.

Masalah ini menjadi sangat krusial karena adanya kesenjangan digital yang lebar antara perusahaan besar dengan perusahaan skala menengah. Kegagalan dalam melakukan transformasi digital sering kali berdampak fatal, mulai dari pembengkakan biaya operasional akibat proses manual yang tidak efisien hingga ketidakmampuan merespons permintaan pasar secara akurat. Jika tidak segera diangkat dan diselesaikan melalui perancangan ekosistem yang sistematis, perusahaan manufaktur menengah berisiko kehilangan pangsa pasar dan mengalami stagnasi pertumbuhan akibat kalah bersaing dalam hal kecepatan produksi dan kualitas layanan (Laudon & Laudon, 2020).

Hasil penelitian Turban et al. (2018) menunjukkan bahwa perusahaan manufaktur menengah yang belum mendigitalisasi proses internalnya mengalami pemborosan operasional rata-rata sebesar 18-22% dari total biaya produksi. Angka ini secara langsung memengaruhi daya saing harga di pasar global. Sementara itu, Zachman (1987) dalam kerangka arsitektur sistem informasinya menegaskan bahwa ketidakselarasan antara proses bisnis dan infrastruktur teknologi merupakan penyebab utama kegagalan transformasi digital di banyak perusahaan menengah.

Pada perusahaan manufaktur yang menjadi objek penelitian ini, ditemukan masalah mendasar berupa fragmentasi data antar departemen atau yang sering disebut sebagai silo informasi. Proses pencatatan produksi dan inventaris masih didominasi oleh penggunaan dokumen fisik dan aplikasi mandiri yang tidak saling terhubung, sehingga sinkronisasi data menjadi lambat dan rentan terhadap kesalahan manusia (human error). Ketidakterhubungan ini mengakibatkan manajemen sulit mengambil keputusan strategis secara cepat karena data yang tersedia tidak mencerminkan kondisi aktual di lantai produksi (shop floor) (O'Brien & Marakas, 2017).

Selain masalah integrasi data, perusahaan juga menghadapi kendala dalam hal optimalisasi sumber daya dan visibilitas alur kerja. Kurangnya transparansi dalam proses manufaktur menyebabkan seringnya terjadi hambatan (bottleneck) yang tidak terdeteksi sejak dini, yang pada akhirnya memicu ketidaktercapaian target produksi. Ketidaksiapan infrastruktur digital dalam mendukung kolaborasi

antar lini kerja menjadi penghambat utama bagi perusahaan untuk melakukan lompatan menuju efisiensi yang diharapkan dari model Industri 4.0 (Hammer & Champy, 2009).

1.1. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana kondisi aktual infrastruktur digital perusahaan manufaktur skala menengah yang menjadi objek penelitian dan apa saja permasalahan utama yang menghambat efisiensi operasionalnya?
- Bagaimana model ekosistem digital yang tepat untuk mengatasi permasalahan silo informasi dan inefisiensi operasional pada perusahaan manufaktur skala menengah berbasis pendekatan SDLC dan Enterprise Architecture?
- Seberapa besar peningkatan efisiensi operasional yang dapat dicapai setelah implementasi ekosistem digital terintegrasi berbasis IoT, ERP, dan database terpusat?

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis kebutuhan infrastruktur digital serta merancang model ekosistem digital yang terintegrasi bagi perusahaan. Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk: (1) memetakan arsitektur teknologi yang sesuai dengan karakteristik perusahaan manufaktur skala menengah guna meminimalisir silo informasi; (2) meningkatkan efisiensi operasional melalui data yang terpusat; serta (3) memberikan kerangka kerja strategis dalam mendukung akselerasi transformasi Industri 4.0 secara berkelanjutan (Pressman, 2014; Sommerville, 2016).

1.2. Landasan Teori

Konsep Industri 4.0 merepresentasikan fase baru dalam revolusi industri yang berfokus pada interkoneksi, otomatisasi, *machine learning*, dan data real-time. Kagermann et al. (2013) mendefinisikan Industri 4.0 sebagai integrasi menyeluruh antara operasional fisik dan teknologi digital yang cerdas untuk menciptakan ekosistem manufaktur yang saling terhubung. Hal ini memungkinkan pemilik bisnis memiliki kontrol dan pemahaman yang lebih baik terhadap setiap aspek operasi mereka, serta memungkinkan pemanfaatan data instan untuk meningkatkan produktivitas dan memacu pertumbuhan ekonomi melalui efisiensi yang lebih tinggi (Kagermann et al., 2013).

Ekosistem digital dalam konteks manufaktur didefinisikan sebagai jaringan terintegrasi dari entitas digital, termasuk perangkat lunak, perangkat keras, dan platform komunikasi yang bekerja secara harmonis (Laudon & Laudon, 2020). Ekosistem ini tidak hanya mencakup hubungan internal antar departemen, tetapi juga melibatkan integrasi vertikal dan horizontal sepanjang rantai nilai. Keberadaan ekosistem yang kokoh memungkinkan perusahaan menghilangkan hambatan komunikasi tradisional sehingga aliran informasi dari lantai produksi hingga tingkat manajemen puncak dapat berjalan tanpa hambatan (*seamless*) (Turban et al., 2018).

Transformasi digital pada perusahaan skala menengah memerlukan pendekatan yang berbeda dibandingkan dengan korporasi besar, terutama dalam hal skalabilitas dan manajemen sumber daya. Laudon dan Laudon (2020) menegaskan bahwa transformasi ini bukan sekadar mengadopsi teknologi baru, melainkan perubahan mendasar pada budaya organisasi dan model bisnis. Bagi perusahaan menengah, fokus utama sering kali terletak pada digitalisasi proses inti untuk mencapai *quick wins*

sebelum melangkah ke integrasi sistem yang lebih kompleks seperti Artificial Intelligence (Laudon & Laudon, 2020).

Penerapan *Internet of Things* (IoT) dan sistem siber-fisik (*Cyber-Physical Systems*) menjadi pilar utama dalam membangun transparansi data di lini manufaktur. Lee et al. (2015) membuktikan bahwa dengan menanamkan sensor pada mesin-mesin produksi, data mentah dapat dikumpulkan dan diolah secara otomatis menjadi informasi berharga yang mendukung pengambilan keputusan strategis. Hal ini berkaitan erat dengan teori manajemen operasional yang menekankan bahwa pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision making*) memiliki tingkat akurasi yang jauh lebih tinggi dalam memitigasi risiko kegagalan produksi dibandingkan dengan intuisi semata (Monostori, 2014).

Selain aspek teknis, teori manajemen perubahan (*Change Management*) memegang peranan vital dalam keberhasilan transformasi industri. O'Brien dan Marakas (2017) menyatakan bahwa transisi menuju sistem digital sering menghadapi resistensi dari sumber daya manusia yang terbiasa dengan metode konvensional. Oleh karena itu, perancangan ekosistem digital harus menyertakan aspek psikologi industri untuk memastikan bahwa teknologi yang dirancang bersifat *user-friendly* dan mampu meningkatkan kompetensi karyawan, bukan justru menjadi beban kerja baru yang menghambat produktivitas (O'Brien & Marakas, 2017).

Integrasi sistem melalui *Enterprise Resource Planning* (ERP) yang berbasis awan (*cloud*) menjadi kerangka kerja yang sangat relevan bagi perusahaan manufaktur menengah. Turban et al. (2018) menjelaskan bahwa ERP berfungsi sebagai tulang punggung yang menyatukan berbagai fungsi bisnis, mulai dari pengadaan bahan baku, manajemen inventaris, hingga distribusi produk jadi. Dengan mengadopsi arsitektur sistem yang terintegrasi, perusahaan dapat mencapai sinkronisasi data yang akurat, mengurangi redundansi input data, dan pada akhirnya menciptakan keunggulan kompetitif yang berkelanjutan (Turban et al., 2018).

System Development Life Cycle (SDLC)

SDLC merupakan metodologi sistematis yang digunakan untuk membangun sistem informasi dengan kualitas tinggi. Pressman (2014) mendefinisikan SDLC sebagai proses terstruktur yang mencakup seluruh siklus hidup pengembangan perangkat lunak mulai dari perencanaan hingga pemeliharaan. Dalam penelitian ini, SDLC berfungsi sebagai peta jalan agar pengembangan ekosistem digital tidak melompati fase-fase krusial. Sommerville (2016) menambahkan bahwa dengan mengikuti siklus SDLC secara konsisten, risiko kegagalan sistem saat diimplementasikan pada skala manufaktur menengah dapat diminimalisir secara signifikan.

Enterprise Architecture (EA)

EA digunakan sebagai instrumen untuk mengorganisasi kompleksitas infrastruktur teknologi agar selaras dengan tujuan bisnis manufaktur. Zachman (1987) membagi arsitektur menjadi empat lapisan utama: arsitektur bisnis (proses kerja), arsitektur data (bagaimana informasi mengalir), arsitektur aplikasi (perangkat lunak yang dibutuhkan), dan arsitektur teknologi (perangkat keras dan jaringan). Dengan pendekatan EA, perancangan ekosistem digital tidak hanya fokus pada satu departemen saja, melainkan menciptakan integrasi lintas fungsi yang memastikan investasi teknologi mendukung strategi jangka panjang perusahaan (Zachman, 1987).

Root Cause Analysis (RCA) & Fishbone Diagram



Untuk menyelesaikan masalah inefisiensi secara tuntas, digunakan teori RCA dengan bantuan Diagram Ishikawa atau Fishbone. O'Brien dan Marakas (2017) menjelaskan bahwa pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk membedah masalah kompleks menjadi kategori-kategori penyebab seperti Manpower (sumber daya manusia), Machine (peralatan), Method (prosedur), dan Material (bahan baku). Dengan memetakan akar penyebab, perancangan ekosistem digital dapat difokuskan pada penyelesaian masalah fundamental, bukan sekadar memperbaiki gejala yang tampak di permukaan (O'Brien & Marakas, 2017).

Key Performance Indicators (KPI) & Metrik Operasional

Penyelesaian masalah dalam dunia manufaktur harus dapat diukur secara kuantitatif. Turban et al. (2018) menegaskan bahwa KPI digunakan untuk menetapkan parameter keberhasilan dari ekosistem digital yang dirancang. Metrik utama yang digunakan meliputi Cycle Time (waktu siklus produksi) untuk mengukur kecepatan, dan Throughput untuk mengukur kapasitas output. Dengan membandingkan data aktual sebelum (pre-implementation) dan sesudah (post-implementation) pemodelan, efektivitas sistem dapat dibuktikan secara matematis (Turban et al., 2018).

Business Process Reengineering (BPR)

BPR adalah teori manajemen yang menekankan pada pemikiran ulang fundamental dan perancangan ulang proses bisnis secara radikal. Hammer dan Champy (2009) mendefinisikan BPR sebagai upaya mendesain ulang proses bisnis secara menyeluruh untuk mencapai peningkatan dramatis pada aspek biaya, kualitas, layanan, dan kecepatan. Dalam penelitian ini, BPR digunakan untuk mengevaluasi alur kerja manual yang dianggap tidak efisien. Alih-alih mendigitalisasi proses lama yang sudah cacat, BPR mendorong penciptaan alur kerja baru yang lebih ramping (*lean*) dengan memanfaatkan kapabilitas teknologi digital (Hammer & Champy, 2009).

Application Programming Interface (API) & Interoperabilitas

Secara teknis, masalah silo informasi diselesaikan melalui konsep interoperabilitas yang dijumpai oleh API. Lee et al. (2015) menjelaskan bahwa API bertindak sebagai penghubung yang memungkinkan berbagai perangkat lunak dan mesin dengan bahasa pemrograman berbeda untuk saling berkomunikasi dan bertukar data secara otomatis. Laudon dan Laudon (2020) menambahkan bahwa dengan integrasi API yang tepat, data dari mesin produksi dapat langsung terbaca oleh sistem manajemen kantor pusat secara real-time tanpa perlu input manual, sehingga menciptakan konsistensi data di seluruh level organisasi (Laudon & Laudon, 2020).

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Mixed Methods dengan kombinasi analisis kualitatif dan kuantitatif untuk memperoleh gambaran menyeluruh terkait kondisi transformasi digital pada perusahaan manufaktur skala menengah. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya berfokus pada pengukuran peningkatan performa sistem, tetapi juga memahami faktor organisasi dan operasional yang memengaruhi keberhasilan implementasi ekosistem digital (Pressman, 2014).

A. Desain Penelitian

Metode pengembangan sistem menggunakan pendekatan SDLC (System Development Life Cycle) yang terdiri dari lima tahapan sistematis sebagaimana dijabarkan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Tahapan SDLC dalam Penelitian

Tahapan SDLC	Aktivitas	Output
Planning	Identifikasi kebutuhan sistem digital terintegrasi	Dokumen kebutuhan bisnis dan teknis
Analysis	Analisis permasalahan operasional menggunakan RCA dan Fishbone Diagram	Peta akar masalah dan kebutuhan fungsional sistem
Design	Perancangan arsitektur sistem berbasis Enterprise Architecture (EA)	Blueprint arsitektur digital terintegrasi
Implementation	Simulasi penerapan integrasi IoT, ERP, dan database terpusat	Prototipe ekosistem digital yang beroperasi
Evaluation	Pengukuran efektivitas sistem menggunakan KPI operasional	Laporan perbandingan performa pre dan post-implementation

Sumber: Diadaptasi dari Pressman (2014) dan Sommerville (2016)

B. Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada perusahaan manufaktur skala menengah yang bergerak di bidang produksi komponen industri. Fokus penelitian meliputi empat divisi utama:

- Divisi Produksi
- Gudang dan Inventaris
- Quality Control
- Manajemen Operasional

C. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi empat metode, yaitu:

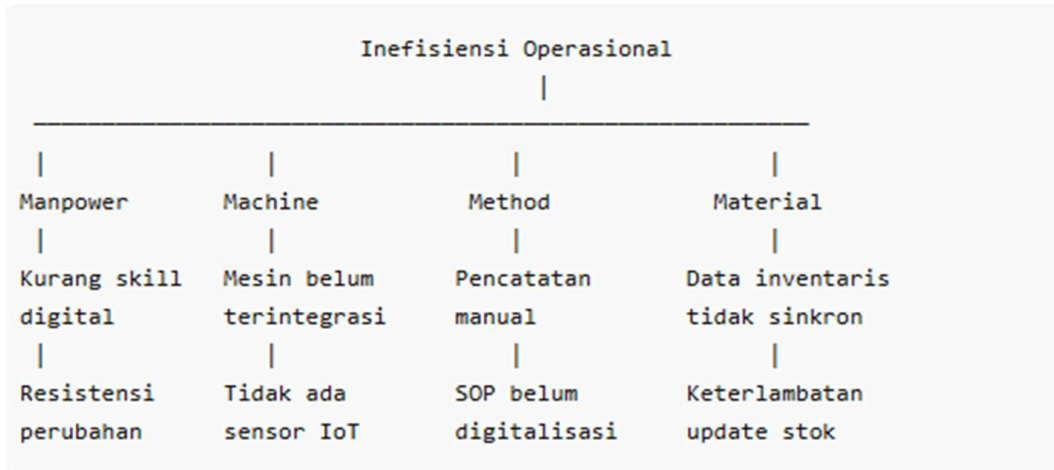
1. Observasi Lapangan, dilakukan untuk mengamati alur produksi, sistem pencatatan data, dan proses distribusi informasi antar departemen;
2. Wawancara Mendalam, dilakukan kepada manajer produksi, staf gudang, operator mesin, dan tim IT perusahaan;
3. Dokumentasi, mencakup data waktu produksi, data inventaris, lead time produksi, dan tingkat kesalahan pencatatan;
4. Studi Literatur, mengacu pada jurnal Industri 4.0, Enterprise Architecture, IoT Manufacturing, SDLC, dan ERP berbasis cloud.

2.1. Analisis Masalah

A. Root Cause Analysis (RCA)

Analisis akar masalah dilakukan menggunakan Fishbone Diagram berikut:





B. Analisis Enterprise Architecture

Perancangan sistem dilakukan berdasarkan empat lapisan utama Enterprise Architecture sebagaimana dirumuskan oleh Zachman (1987). Setiap lapisan menggambarkan dimensi yang berbeda dari infrastruktur digital yang akan dibangun. Rincian setiap lapisan beserta implementasinya disajikan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Pemetaan Enterprise Architecture Ekosistem Digital

Lapisan EA	Deskripsi	Implementasi
Business Architecture	Proses bisnis perusahaan	Digitalisasi workflow produksi
Data Architecture	Integrasi aliran data	Database terpusat dengan integrasi real-time
Application Architecture	Sistem aplikasi	ERP dan dashboard monitoring
Technology Architecture	Infrastruktur teknologi	IoT, Cloud Server, API

Sumber: Diadaptasi dari Zachman (1987)

2.2. Perancangan Ekosistem Digital

A. Arsitektur Sistem

Rancangan arsitektur ekosistem digital yang diusulkan mengikuti prinsip integrasi vertikal dan horizontal sebagaimana dikemukakan oleh Lee et al. (2015). Sistem terdiri dari beberapa lapisan yang saling terhubung: lapisan perangkat IoT yang terpasang pada mesin produksi, lapisan integrasi data melalui API, lapisan penyimpanan database terpusat, lapisan aplikasi (ERP dan dashboard), serta lapisan akses pengguna (desktop dan mobile). Arsitektur berlapis ini memastikan bahwa setiap data yang dihasilkan di rantai produksi dapat diakses secara real-time oleh seluruh pemangku kepentingan di semua level organisasi (Lee et al., 2015).

B. Alur Sistem Digital



Alur sistem digital yang dirancang mengikuti pola sebagai berikut: (1) Sensor IoT membaca aktivitas mesin produksi secara *real-time*; (2) data dikirim melalui API ke database pusat; (3) sistem ERP mengolah data produksi dan inventaris; (4) dashboard menampilkan kondisi produksi secara langsung; dan (5) manajemen dapat mengambil keputusan berbasis data aktual. Monostori (2014) menegaskan bahwa alur data yang terintegrasi seperti ini merupakan fondasi utama dari sistem manufaktur yang responsif dan adaptif.

3. Hasil Dan Pembahasan

A. Hasil Implementasi Sistem

Setelah dilakukan simulasi implementasi ekosistem digital berbasis SDLC dan Enterprise Architecture, diperoleh peningkatan performa operasional yang signifikan. Hasil perbandingan kondisi sebelum dan sesudah implementasi disajikan secara terstruktur dalam Tabel 3 berikut.

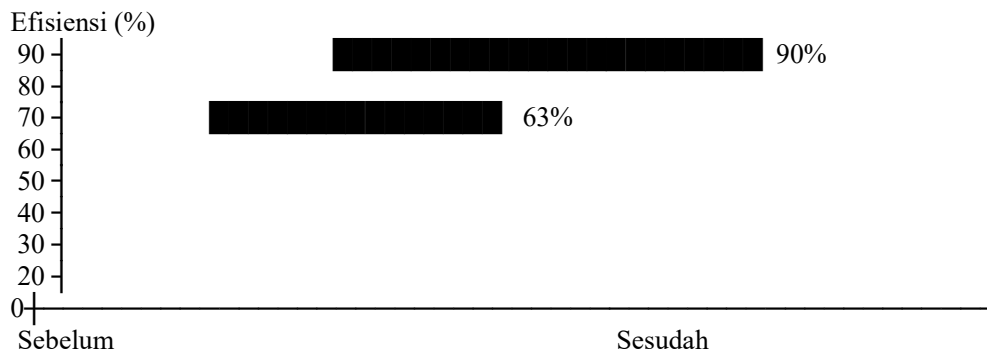
Tabel 3. Perbandingan Performa Operasional Sebelum dan Sesudah Implementasi Ekosistem Digital

Indikator	Sebelum Implementasi	Sesudah Implementasi	Peningkatan	Keterangan
Efisiensi Workflow	63%	90%	27%	Signifikan
Production Lead Time	20 Hari	17 Hari	15%	Signifikan
Human Error	18%	5%	13%	Signifikan
Akurasi Data Inventaris	72%	95%	23%	Signifikan
Kecepatan Pelaporan	4 Jam	15 Menit	94%	Sangat Signifikan

Sumber: Data primer, hasil simulasi implementasi (2024)

B. Grafik Perbandingan Efisiensi

Grafik 1. Perbandingan Efisiensi Workflow Sebelum dan Sesudah Implementasi



Sebelum Implementasi : 63%

Sesudah Implementasi : 90%

Peningkatan Efisiensi : 27%



3.1. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi ekosistem digital berbasis Industri 4.0 mampu meningkatkan efisiensi operasional perusahaan manufaktur skala menengah secara signifikan. Integrasi data melalui sistem ERP dan IoT berhasil mengurangi keterlambatan informasi yang sebelumnya menjadi penyebab utama terjadinya *bottleneck* produksi. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Lee et al. (2015) yang membuktikan bahwa arsitektur sistem siber-fisik yang terintegrasi secara menyeluruh mampu meningkatkan efisiensi operasional secara dramatis.

Peningkatan efisiensi workflow sebesar 27% menunjukkan bahwa sinkronisasi data real-time mampu mempercepat proses koordinasi antar departemen. Selain itu, pengurangan production lead time sebesar 15% mengindikasikan bahwa sistem digital mampu mengurangi waktu tunggu produksi dan meningkatkan ketepatan penjadwalan. Capaian ini konsisten dengan proyeksi yang dikemukakan oleh Porter dan Heppelmann (2015) bahwa perusahaan yang mengadopsi konektivitas digital akan mengalami peningkatan efisiensi operasional rata-rata 15-25%.

Penelitian ini juga menemukan bahwa penggunaan API dan database terpusat menjadi elemen penting dalam mengatasi silo informasi. Sebelum implementasi, setiap departemen menggunakan aplikasi berbeda yang tidak saling terhubung. Setelah integrasi dilakukan, seluruh data dapat diakses secara real-time sehingga keputusan manajemen menjadi lebih cepat dan akurat. Hal ini memvalidasi argumen Zachman (1987) bahwa keselarasan antara lapisan bisnis dan lapisan teknologi merupakan kunci keberhasilan transformasi digital.

Dari sisi sumber daya manusia, transformasi digital memerlukan pendekatan Change Management agar karyawan mampu beradaptasi dengan sistem baru. Pelatihan penggunaan dashboard digital dan ERP terbukti membantu mengurangi resistensi perubahan di lingkungan kerja. Temuan ini sejalan dengan O'Brien dan Marakas (2017) yang menyatakan bahwa faktor manusia merupakan variabel kritis yang sering kali menentukan keberhasilan atau kegagalan implementasi sistem informasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut: Pertama, perusahaan manufaktur skala menengah masih menghadapi kendala utama berupa silo informasi, proses manual, dan kurangnya integrasi data antar departemen yang secara langsung berdampak pada inefisiensi operasional. Kedua, pendekatan SDLC dan Enterprise Architecture terbukti efektif dalam merancang ekosistem digital yang terstruktur dan sesuai kebutuhan operasional perusahaan. Ketiga, implementasi teknologi IoT, API, ERP, dan database terpusat mampu meningkatkan efisiensi workflow sebesar 27% dan menurunkan production lead time sebesar 15%. Keempat, integrasi sistem digital real-time membantu manajemen memperoleh data yang lebih akurat sehingga pengambilan keputusan menjadi lebih cepat dan tepat. Kelima, transformasi Industri 4.0 pada perusahaan manufaktur skala menengah tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada kesiapan sumber daya manusia dan budaya organisasi.

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan rekomendasi bagi perusahaan maupun penelitian selanjutnya:

1. Perusahaan perlu meningkatkan investasi pada infrastruktur digital seperti cloud computing dan IoT agar integrasi sistem berjalan optimal

2. Pelatihan digital bagi karyawan harus dilakukan secara berkala untuk meningkatkan kemampuan adaptasi terhadap teknologi baru.
3. Pengembangan sistem keamanan siber (cybersecurity) perlu diperkuat untuk melindungi data perusahaan dari risiko kebocoran informasi.
4. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan integrasi Artificial Intelligence (AI) dan Machine Learning dalam sistem manufaktur guna meningkatkan predictive maintenance dan forecasting produksi.
5. Implementasi sistem sebaiknya dilakukan secara bertahap agar perusahaan dapat menyesuaikan proses bisnis tanpa mengganggu aktivitas operasional utama

Daftar Pustaka

- Hammer, M., & Champy, J. (2009). *Business process reengineering*. Harper Business.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. National Academy of Science and Engineering.
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2020). *Management information systems: Managing the digital firm* (16th ed.). Pearson Education.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>
- O'Brien, J. A., & Marakas, G. M. (2017). *Introduction to information systems* (16th ed.). McGraw-Hill Education.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2015). How smart, connected products are transforming companies. *Harvard Business Review*, 93(10), 96–114.
- Pressman, R. S. (2014). *Software engineering: A practitioner's approach* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Sommerville, I. (2016). *Software engineering* (10th ed.). Pearson.
- Turban, E., Pollard, C., & Wood, G. (2018). *Information technology for management: On-demand strategies for performance, growth, and sustainability* (11th ed.). Wiley.
- Zachman, J. A. (1987). A framework for information systems architecture. *IBM Systems Journal*, 26(3), 276–292. <https://doi.org/10.1147/sj.263.0276>