

Analisis Penerapan Industry 4.0 Dan Smart Manufacturing Terhadap Peningkatan Daya Saing Industri Melalui Pendekatan Integrated Industrial Systems

Jaka Wibowo^{1*}

¹Universitas Terbuka

*Email: j.wibowo@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji bagaimana penerapan konsep Industry 4.0 dan smart manufacturing berkontribusi terhadap peningkatan daya saing industri melalui pendekatan Integrated Industrial Systems (IIS). Menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan studi kasus multipel, penelitian ini mengeksplorasi dinamika transformasi digital di lingkungan manufaktur yang beragam. Data dikumpulkan melalui wawancara mendalam, observasi lapangan, dan analisis dokumen dari berbagai pemangku kepentingan industri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi Industry 4.0 tidak semata ditentukan oleh adopsi teknologi, melainkan oleh kemampuan organisasi mengintegrasikan seluruh subsistem industri secara holistik, mulai dari infrastruktur teknologi, kapabilitas sumber daya manusia, budaya inovasi, hingga ekosistem kolaborasi. Pendekatan IIS terbukti efektif sebagai kerangka analitis untuk memahami interaksi kompleks antarvariabel dalam transformasi industri. Penelitian ini merekomendasikan model implementasi bertahap yang memperhatikan kesiapan organisasi, kapasitas inovasi, dan keselarasan strategi digital dengan tujuan bisnis jangka panjang.

Kata Kunci: *Industry 4.0, Smart Manufacturing, Daya Saing Industri, Integrated Industrial Systems, Transformasi Digital*

ABSTRACT

This study examines how the application of Industry 4.0 and smart manufacturing concepts contributes to industrial competitiveness enhancement through the Integrated Industrial Systems (IIS) approach. Employing a qualitative method with a multiple case study design, this research explores the dynamics of digital transformation across diverse manufacturing environments. Data were collected through in-depth interviews, field observations, and document analysis from various industrial stakeholders. The findings reveal that the success of Industry 4.0 implementation is not solely determined by technology adoption, but by the organization's ability to holistically integrate all industrial subsystems—from technological infrastructure, human resource capabilities, and innovation culture to collaborative ecosystems. The IIS approach proves effective as an analytical framework for understanding the complex interactions among variables in industrial transformation.

To cite this article: Wibowo, J. (2026). Analisis Penerapan Industry 4.0 Dan Smart Manufacturing Terhadap Peningkatan Daya Saing Industri Melalui Pendekatan Integrated Industrial Systems. *Journal of Collaborative Industrial Management*, vol(2).

* Corresponding autor: Jaka Wibowo, j.wibowo@gmail.com

| 48

<https://publikatif.com/index.php/jcim>

This study recommends a phased implementation model that considers organizational readiness, innovation capacity, and alignment of digital strategy with long-term business objectives.

Keywords: *Industry 4.0, Smart Manufacturing, Industrial Competitiveness, Integrated Industrial Systems, Digital Transformation*

Pendahuluan

Revolusi industri keempat atau yang dikenal sebagai Industry 4.0 telah mengubah lanskap kompetitif industri manufaktur secara fundamental. Konsep ini menggabungkan teknologi digital, fisik, dan biologis dalam suatu ekosistem industri yang terhubung secara cerdas (Schwab, 2016). Di tingkat global, gelombang transformasi ini tidak hanya berdampak pada efisiensi produksi, tetapi juga mendefinisikan ulang parameter daya saing industri yang mencakup fleksibilitas, kecepatan inovasi, kustomisasi massal, dan keberlanjutan operasional.

Smart manufacturing sebagai manifestasi konkret dari Industry 4.0 menawarkan paradigma produksi yang didukung oleh kecerdasan buatan, Internet of Things (IoT), big data analytics, serta sistem cyber-physical yang terintegrasi. Dalam konteks ini, nilai kompetitif sebuah industri semakin ditentukan oleh kemampuannya dalam mengelola dan mengoptimalkan aliran data, proses, dan sumber daya secara real-time (Wang et al., 2016). Tidak mengherankan apabila industri-industri yang lebih awal mengadopsi ekosistem smart manufacturing menunjukkan keunggulan kompetitif yang signifikan dibandingkan kompetitornya.

Namun, penerapan Industry 4.0 dan smart manufacturing bukan sekadar persoalan investasi teknologi. Berbagai kajian menunjukkan bahwa kegagalan transformasi digital di sektor industri sebagian besar disebabkan oleh ketidakmampuan organisasi untuk mengintegrasikan seluruh subsistem industrial secara holistik (Liao et al., 2017). Inilah yang mendorong munculnya pendekatan Integrated Industrial Systems (IIS)—sebuah kerangka analitis yang memandang industri sebagai sistem yang kompleks dan saling terhubung, di mana setiap komponen memiliki peran strategis dalam menciptakan nilai kompetitif.

Penelitian terkini menggarisbawahi perlunya pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana elemen-elemen dalam sistem industri terintegrasi berinteraksi satu sama lain dalam proses transformasi menuju Industry 4.0 (Lu, 2017). Di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, tantangan ini semakin kompleks karena faktor kesiapan infrastruktur, kesenjangan kompetensi sumber daya manusia, dan heterogenitas skala industri yang beragam.

Penelitian ini hadir untuk mengisi celah literatur dengan menganalisis secara mendalam bagaimana penerapan Industry 4.0 dan smart manufacturing berkontribusi terhadap peningkatan daya saing industri melalui lensa Integrated Industrial Systems. Dengan pendekatan kualitatif, penelitian ini bertujuan membangun pemahaman yang kaya tentang mekanisme transformasi, faktor pendorong dan penghambat, serta model implementasi yang efektif.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini merumuskan permasalahan sebagai berikut: (1) Bagaimana penerapan Industry 4.0 dan smart manufacturing dilakukan dalam konteks industri manufaktur kontemporer? (2) Bagaimana integrasi sistem industri secara holistik berkontribusi pada peningkatan daya saing? (3) Faktor-faktor apa yang menentukan keberhasilan transformasi industri menuju ekosistem smart manufacturing yang kompetitif?

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis pola dan mekanisme penerapan Industry 4.0 dan smart manufacturing; (2) mengidentifikasi kontribusi pendekatan Integrated Industrial Systems terhadap daya saing; dan (3) merumuskan model konseptual implementasi yang dapat dijadikan acuan praktis bagi para pelaku industri.

TINJAUAN PUSTAKA

Industry 4.0: Konsep dan Karakteristik

Industry 4.0 pertama kali diperkenalkan oleh pemerintah Jerman sebagai strategi nasional untuk mempertahankan kepemimpinan industri melalui digitalisasi manufaktur (Kagermann et al., 2013). Konsep ini kemudian berkembang menjadi paradigma global yang mendefinisikan gelombang keempat revolusi industri, ditandai oleh konvergensi antara dunia fisik dan digital melalui teknologi-teknologi disruptif.

Menurut Schwab (2016), Industry 4.0 ditopang oleh sembilan pilar teknologi utama, yaitu: IoT, cloud computing, big data analytics, kecerdasan buatan, manufaktur aditif, augmented reality, simulasi digital, integrasi sistem horizontal dan vertikal, serta keamanan siber. Keunggulan Industry 4.0 terletak pada kemampuannya menciptakan sistem produksi yang adaptif, responsif, dan cerdas yang mampu mengoptimalkan diri secara otonom.

Dari perspektif manajemen industri, Industry 4.0 merevolusi proses pengambilan keputusan dengan menghadirkan data real-time yang akurat dan komprehensif. Kemampuan prediktif berbasis machine learning memungkinkan manajer industri untuk mengantisipasi gangguan produksi, mengoptimalkan rantai pasok, dan merancang produk yang lebih sesuai dengan kebutuhan pasar secara proaktif (Hermann et al., 2016).

Smart Manufacturing sebagai Implementasi Praktis Industry 4.0

Smart manufacturing merepresentasikan implementasi operasional dari prinsip-prinsip Industry 4.0 dalam rantai produksi. National Institute of Standards and Technology (NIST) mendefinisikan smart manufacturing sebagai sistem terintegrasi penuh yang mampu merespons secara real-time terhadap perubahan permintaan dan kondisi pabrik, jaringan pasokan, dan kebutuhan pelanggan (Davis et al., 2015).

Karakteristik utama smart manufacturing meliputi: interoperabilitas antara mesin dan sistem informasi, transparansi informasi melalui model data digital pabrik, asistensi teknis untuk mendukung keputusan manusia, serta desentralisasi pengambilan keputusan melalui sistem otonom (Rüßmann et al., 2015). Dengan karakteristik tersebut, smart manufacturing menawarkan kemampuan produksi yang secara fundamental berbeda dari paradigma manufaktur konvensional.

Implementasi smart manufacturing telah terbukti menghasilkan peningkatan signifikan dalam berbagai indikator kinerja industri. Wang et al. (2016) melaporkan bahwa pabrik yang mengimplementasikan smart manufacturing secara komprehensif mencapai peningkatan produktivitas rata-rata 30%, pengurangan biaya operasional hingga 25%, dan peningkatan kualitas produk yang konsisten. Capaian tersebut menjadikan smart manufacturing sebagai investasi strategis yang kritis bagi industri yang ingin mempertahankan daya saing di era digital.

Tabel 1. Perbandingan Teknologi Utama Industry 4.0 dan Kontribusinya terhadap Daya Saing

Teknologi	Fungsi Utama	Kontribusi Daya Saing	Integrasi Sistem
IoT (Internet of Things)	Konektivitas mesin dan sensor real-time	Visibilitas operasional meningkat	Tinggi
Big Data & Analytics	Pengolahan data volume besar untuk keputusan	Prediksi demand & efisiensi biaya	Tinggi
Artificial Intelligence	Otomatisasi proses dan prediksi kerusakan	Pengurangan downtime produksi	Sedang-Tinggi
Cloud Computing	Skalabilitas infrastruktur TI industri	Fleksibilitas & penghematan CAPEX	Tinggi
Cyber-Physical Systems	Integrasi dunia fisik dan digital	Adaptabilitas sistem manufaktur	Sangat Tinggi
Additive Manufacturing	Produksi berbasis cetak 3D on-demand	Kustomisasi produk & lead time pendek	Sedang
Autonomous Robots	Otomasi tugas berulang dan berbahaya	Produktivitas & keselamatan kerja	Tinggi

Sumber: Adaptasi dari Rüßmann et al. (2015) dan Wang et al. (2016)

Integrated Industrial Systems (IIS)

Pendekatan Integrated Industrial Systems (IIS) berakar pada teori sistem kompleks yang memandang industri sebagai organisme yang terdiri dari berbagai subsistem yang saling berinteraksi dan saling bergantung. Dalam konteks Industry 4.0, IIS menekankan pentingnya integrasi vertikal (dari sensor lantai produksi hingga sistem enterprise) dan integrasi horizontal (dari pemasok hingga pelanggan akhir) dalam membangun ekosistem industri yang kompetitif (Liao et al., 2017).

Pendekatan IIS mengidentifikasi setidaknya empat dimensi integrasi yang kritis: integrasi teknologi (konektivitas antarsistem), integrasi proses (harmonisasi alur kerja lintas fungsi), integrasi data (manajemen dan tata kelola data terpadu), serta integrasi manusia (pengembangan kapabilitas dan pengelolaan perubahan). Keempat dimensi ini membentuk fondasi yang diperlukan bagi transformasi industri yang berkelanjutan dan kompetitif.

Lu (2017) dalam kerangka IIS menekankan bahwa daya saing industri pada era digital tidak lagi dapat dipandang sebagai atribut tunggal perusahaan, melainkan sebagai properti emergent dari keseluruhan ekosistem industri yang mencakup hubungan dengan pemasok, mitra teknologi, institusi akademik, dan regulator. Perspektif ini menuntut perubahan paradigma dalam manajemen industri dari orientasi kompetitif berbasis sumber daya menuju orientasi kolaboratif berbasis ekosistem.

Daya Saing Industri di Era Digital

Konsep daya saing industri telah mengalami evolusi signifikan seiring dengan perkembangan teknologi digital. Porter (1990) dalam karya klasiknya mendefinisikan daya saing sebagai kemampuan suatu industri untuk berinovasi dan meningkatkan kualitas secara berkelanjutan. Di era Industry 4.0, definisi ini berkembang mencakup dimensi kecepatan adaptasi digital, kemampuan inovasi berbasis data, dan ketahanan rantai pasok.

Daya saing industri kontemporer mencakup empat pilar utama: keunggulan operasional (efisiensi biaya dan kualitas), keunggulan produk (inovasi dan kustomisasi), keunggulan layanan (responsivitas dan pengalaman pelanggan), dan keunggulan ekosistem (jaringan kolaborasi dan nilai tambah bersama). Pilar-pilar ini saling memperkuat dan secara kolektif menentukan posisi kompetitif suatu industri di pasar global (Schwab, 2016).

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus multipel (multiple case study) yang dikembangkan oleh Yin (2018). Pilihan pendekatan kualitatif didasarkan pada kompleksitas fenomena transformasi industri yang memerlukan pemahaman mendalam tentang proses, konteks, dan makna yang tidak dapat ditangkap secara memadai melalui pendekatan kuantitatif semata. Studi kasus multipel dipilih untuk memungkinkan analisis komparatif yang dapat memperkuat validitas temuan dan meningkatkan kemampuan generalisasi analitis.

Paradigma penelitian yang digunakan adalah interpretivisme konstruktivis yang memandang realitas sosial sebagai konstruksi yang dibentuk oleh aktor-aktor yang terlibat dalam proses transformasi industri. Paradigma ini sejalan dengan tujuan penelitian untuk memahami perspektif, interpretasi, dan pengalaman para pelaku industri dalam proses adopsi Industry 4.0.

Sumber Data dan Partisipan Penelitian

Data penelitian ini dikumpulkan dari tiga kategori sumber utama. Pertama, wawancara mendalam (in-depth interview) dengan informan kunci yang terdiri dari manajer operasional, direktur teknologi informasi, kepala departemen manufaktur, dan konsultan Industry 4.0. Pemilihan informan menggunakan teknik purposive sampling dengan kriteria: memiliki pengalaman langsung dalam proses transformasi digital industri minimal tiga tahun, memegang posisi pengambil keputusan strategis, dan bersedia berbagi pengalaman secara terbuka.

Kedua, observasi non-partisipan dilakukan di lingkungan rantai produksi dan ruang kendali operasional untuk memperoleh pemahaman langsung tentang bagaimana teknologi Industry 4.0 diimplementasikan dalam praktik sehari-hari. Ketiga, analisis dokumen mencakup laporan tahunan, roadmap digitalisasi, panduan implementasi teknologi, dan kebijakan manajemen sumber daya manusia yang berkaitan dengan transformasi digital.

Total partisipan penelitian adalah 32 informan yang tersebar di berbagai segmen industri manufaktur. Keragaman partisipan dipilih secara sengaja untuk memperoleh perspektif yang beragam dan menyeluruh tentang fenomena yang diteliti. Saturasi data (data saturation) dicapai setelah wawancara ke-27, menunjukkan bahwa jumlah informan yang ditetapkan cukup memadai untuk menghasilkan temuan yang komprehensif.

Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur dengan durasi rata-rata 60–90 menit per sesi. Panduan wawancara mencakup tema-tema: strategi transformasi digital, tantangan implementasi teknologi, integrasi sistem dan proses, dampak pada daya saing, serta proyeksi pengembangan ke depan. Seluruh sesi wawancara direkam dengan izin informan, kemudian ditranskrip secara verbatim untuk keperluan analisis.

Analisis data menggunakan pendekatan thematic analysis berbasis Braun dan Clarke (2006) yang mencakup enam fase: pembiasaan dengan data (familiarization), pengodean awal (initial coding),

pencarian tema (searching for themes), peninjauan tema (reviewing themes), pendefinisian dan penamaan tema (defining and naming themes), dan penulisan laporan. Proses analisis dilakukan secara iteratif dan sistematis untuk memastikan temuan yang akurat dan bermakna.

Untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas penelitian, beberapa strategi diterapkan: triangulasi sumber data (wawancara, observasi, dan dokumen), member checking (pengembalian transkrip dan temuan awal kepada informan untuk verifikasi), peer debriefing (diskusi temuan dengan rekan peneliti independen), dan audit trail (dokumentasi lengkap proses analisis data).

Tabel 2. Kerangka Analisis Penelitian Berdasarkan Dimensi Integrated Industrial Systems

Dimensi Analisis	Aspek yang Dikaji	Indikator	Metode Pengumpulan
Implementasi Teknologi	Adopsi tools Industry 4.0	Tingkat digitalisasi proses	Wawancara mendalam
Integrasi Sistem	Konektivitas lintas fungsi	Sinkronisasi data & proses	Observasi lapangan
Kapabilitas SDM	Kompetensi tenaga kerja digital	Skill gap & pelatihan	FGD & dokumen
Efisiensi Operasional	Output produksi dan kualitas	OEE, reject rate, lead time	Analisis dokumen
Daya Saing Industri	Posisi kompetitif di pasar	Market share, inovasi produk	Wawancara manajerial
Keberlanjutan	Praktik ramah lingkungan	Emisi, konsumsi energi	Studi dokumen & audit

Sumber: Elaborasi Peneliti (2025)

Pertimbangan Etis

Seluruh prosedur penelitian dilaksanakan dengan memperhatikan prinsip-prinsip etika penelitian ilmiah. Informed consent diperoleh dari setiap partisipan sebelum pengumpulan data dimulai. Kerahasiaan identitas individu dan organisasi dijaga dengan menggunakan kode anonimisasi. Data disimpan dengan protokol keamanan yang ketat dan hanya dapat diakses oleh tim peneliti. Partisipasi dalam penelitian bersifat sukarela dan dapat ditarik kapan saja tanpa konsekuensi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Implementasi Industry 4.0 di Lingkungan Industri Manufaktur

Analisis data mengungkapkan adanya variasi signifikan dalam pola dan tahapan implementasi Industry 4.0 di berbagai lingkungan industri yang diteliti. Meskipun demikian, sebuah pola umum teridentifikasi di mana mayoritas industri menempuh jalur implementasi yang bersifat inkremental dan evolutif, bukan revolusioner. Hal ini selaras dengan temuan Liao et al. (2017) yang menyatakan bahwa transformasi digital yang berkelanjutan umumnya berjalan melalui tahapan yang terencana dan terukur.

Terdapat tiga pola utama implementasi yang teridentifikasi. Pertama, pola teknologi-sentris, di mana industri memprioritaskan investasi pada infrastruktur teknologi sebagai langkah awal, kemudian secara bertahap mengintegrasikan aspek proses dan manusia. Pola ini umum dijumpai pada industri dengan intensitas modal tinggi yang memiliki sumber daya finansial memadai. Kedua, pola proses-sentris, di mana fokus awal diberikan pada pemetaan dan optimasi proses bisnis sebelum implementasi teknologi dilakukan. Pendekatan ini lebih banyak ditempuh oleh industri dengan kompleksitas proses tinggi. Ketiga, pola manusia-sentris, di mana pengembangan kompetensi sumber daya manusia ditempatkan sebagai prioritas utama transformasi.

Temuan ini memiliki implikasi penting bahwa tidak ada model implementasi tunggal yang *universally applicable*. Keberhasilan transformasi mensyaratkan pemahaman mendalam tentang konteks spesifik setiap industri, termasuk warisan teknologi (*technological legacy*), budaya organisasi, dan kapasitas perubahan yang dimiliki.

Peran Integrated Industrial Systems dalam Meningkatkan Efektivitas Transformasi

Temuan penelitian secara konsisten menunjukkan bahwa pendekatan IIS berperan krusial dalam meningkatkan efektivitas transformasi digital industri. Industri yang mengadopsi perspektif sistem terintegrasi dalam perencanaan transformasinya menunjukkan tingkat keberhasilan implementasi yang lebih tinggi dan dampak yang lebih signifikan terhadap daya saing.

Integrasi vertikal—dari sensor lantai produksi hingga sistem perencanaan enterprise—terbukti menjadi enabler kritis yang memungkinkan pengambilan keputusan berbasis data secara real-time. Salah satu informan kunci yang menjabat sebagai direktur operasional menyatakan bahwa ketika seluruh lapisan sistem terhubung secara mulus, kemampuan untuk merespons perubahan permintaan pasar meningkat secara dramatis, dari hitungan hari menjadi hitungan jam.

Integrasi horizontal—yang mencakup konektivitas dengan pemasok, distributor, dan mitra bisnis—ditemukan berkontribusi signifikan terhadap resiliensi rantai pasok. Industri yang telah mencapai level integrasi horizontal yang tinggi menunjukkan kemampuan lebih baik dalam menghadapi gangguan rantai pasok dan mampu mempertahankan kontinuitas produksi dalam kondisi turbulensi lingkungan bisnis.

Temuan ini memperkuat argumen Lu (2017) bahwa dalam era Industry 4.0, batas antara sistem internal dan eksternal perusahaan semakin kabur, dan keunggulan kompetitif semakin ditentukan oleh kualitas integrasi dalam ekosistem industri yang lebih luas.

Faktor Determinan Keberhasilan Transformasi Industry 4.0

Analisis tematik mengidentifikasi enam faktor determinan yang secara konsisten muncul sebagai penentu keberhasilan transformasi Industry 4.0 lintas kasus yang diteliti. Pertama, kepemimpinan visioner dan komitmen manajemen puncak. Data secara kuat menunjukkan bahwa industri dengan pemimpin yang memiliki visi digital yang jelas dan kemampuan mengkomunikasikan urgency transformasi mencapai hasil implementasi yang jauh lebih baik. Komitmen manajemen puncak tidak hanya bermakna alokasi anggaran, tetapi juga keteladanan dalam mengadopsi pola kerja berbasis data dan budaya eksperimentasi.

Kedua, kesiapan infrastruktur teknologi. Kondisi infrastruktur teknologi informasi yang ada (*legacy infrastructure*) memiliki pengaruh besar terhadap kecepatan dan biaya transformasi. Industri dengan infrastruktur yang lebih modern dan terstandarisasi mampu mengintegrasikan teknologi Industry 4.0 secara lebih cepat dan efisien.

Ketiga, kapabilitas dan literasi digital sumber daya manusia. Kesenjangan kompetensi digital (digital skill gap) menjadi hambatan signifikan yang dihadapi hampir semua industri dalam sampel penelitian. Program pengembangan kapabilitas yang sistematis dan berkelanjutan terbukti menjadi investasi yang menghasilkan return tertinggi dalam proses transformasi.

Keempat, budaya organisasi yang mendukung inovasi dan pembelajaran. Industri dengan budaya yang menghargai eksperimentasi, toleran terhadap kegagalan yang terkontrol, dan mendorong berbagi pengetahuan secara terbuka menunjukkan kemampuan adaptasi yang lebih tinggi terhadap perubahan teknologi.

Kelima, ekosistem kolaborasi yang kuat. Kemitraan dengan penyedia teknologi, institusi akademik, konsultan spesialis, dan sesama pelaku industri terbukti mempercepat proses pembelajaran dan implementasi. Industri yang aktif berpartisipasi dalam komunitas atau klaster industri memiliki akses lebih baik terhadap pengetahuan praktis tentang implementasi Industry 4.0.

Keenam, pendekatan implementasi yang adaptif dan berbasis risiko. Industri yang berhasil dalam transformasi umumnya mengadopsi pendekatan agile dalam implementasi, mulai dari pilot project berskala kecil yang dapat divalidasi dengan cepat sebelum dilakukan scaling up. Kemampuan untuk belajar dari kegagalan kecil dan melakukan penyesuaian yang cepat menjadi kapabilitas organisasional yang kritis.

Dampak terhadap Dimensi Daya Saing Industri

Implementasi Industry 4.0 melalui pendekatan IIS menunjukkan dampak yang terukur dan multidimensional terhadap daya saing industri. Dari dimensi keunggulan operasional, industri yang telah mencapai level integrasi sistem yang tinggi melaporkan peningkatan Overall Equipment Effectiveness (OEE) rata-rata 15–25%, pengurangan reject rate 20–35%, dan pemendekan lead time produksi 30–45%.

Dari dimensi keunggulan produk, kemampuan smart manufacturing memungkinkan industri untuk menawarkan kustomisasi produk dalam skala massal (mass customization) yang sebelumnya secara ekonomis tidak feasible. Fleksibilitas produksi yang meningkat memungkinkan respons lebih cepat terhadap perubahan preferensi pasar dan pengurangan time-to-market untuk produk baru.

Dari dimensi keunggulan layanan, konektivitas digital antara produsen dan pelanggan memungkinkan model layanan berbasis outcome (outcome-based service) yang menciptakan hubungan jangka panjang dan nilai tambah yang berkelanjutan. Kemampuan predictive maintenance berbasis IoT, misalnya, memungkinkan penyedia mesin industri untuk menawarkan layanan garansi kinerja yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan.

Tabel 3. Ringkasan Temuan Penelitian dan Implikasi Manajerial

Faktor Kunci	Temuan	Implikasi Manajerial
Kepemimpinan Digital	Komitmen manajemen puncak menentukan kecepatan adopsi teknologi	Perlu champion digital di level eksekutif
Infrastruktur Teknologi	Kesiapan infrastruktur TI menjadi bottleneck utama transformasi	Investasi bertahap pada konektivitas & platform
Budaya Inovasi	Budaya organisasi terbuka mempercepat integrasi sistem baru	Program change management diperlukan

Kolaborasi Ekosistem	Kemitraan vendor & akademisi mempercepat implementasi I4.0	Bangun ekosistem inovasi industri
Regulasi & Standarisasi	Ketidakpastian regulasi menghambat investasi jangka panjang	Advokasi kebijakan industri 4.0 nasional
Manajemen Data	Kualitas data menjadi fondasi keberhasilan smart manufacturing	Tata kelola data industri perlu dibangun sejak awal

Sumber: Analisis Data Penelitian (2025)

Model Konseptual Implementasi Berbasis IIS

Berdasarkan temuan penelitian, diajukan sebuah model konseptual implementasi Industry 4.0 berbasis Integrated Industrial Systems yang terdiri dari empat tahapan strategis yang saling berkesinambungan.

Tahap pertama adalah Asesmen dan Pemetaan Sistem, yang mencakup evaluasi menyeluruh terhadap kesiapan organisasi (organizational readiness), pemetaan infrastruktur teknologi yang ada, identifikasi kesenjangan kompetensi SDM, dan analisis proses bisnis kritis yang akan ditransformasi. Tahap ini menghasilkan digital transformation roadmap yang kontekstual dan berbasis bukti.

Tahap kedua adalah Fondasi Integrasi, yang berfokus pada pembangunan fondasi teknis dan organisasional yang diperlukan untuk integrasi sistem. Ini mencakup standarisasi platform teknologi, pembangunan infrastruktur konektivitas, pengembangan tata kelola data, dan inisiasi program change management.

Tahap ketiga adalah Implementasi dan Integrasi Bertahap, di mana teknologi dan proses Industry 4.0 diimplementasikan secara iteratif dimulai dari pilot project yang dipilih berdasarkan potensi dampak dan feasibilitas teknis. Setiap siklus implementasi diikuti dengan evaluasi menyeluruh sebelum pengembangan ke area berikutnya.

Tahap keempat adalah Optimasi dan Pengembangan Ekosistem, di mana fokus beralih dari implementasi teknis ke optimasi nilai bisnis dan pengembangan ekosistem kolaborasi. Tahap ini mencakup eksplorasi model bisnis baru yang dimungkinkan oleh kapabilitas digital, perluasan integrasi ke mitra rantai pasok, dan kontribusi aktif pada komunitas inovasi industri.

Implikasi bagi Penelitian dan Praktik

Temuan penelitian ini memiliki implikasi signifikan bagi pengembangan teori maupun praktik. Dari perspektif teoritis, penelitian ini berkontribusi pada pemahaman tentang bagaimana pendekatan sistem terintegrasi dapat memperkaya dan mengoperasionalkan konsep Industry 4.0 dalam konteks manajemen industri. Integrasi perspektif IIS dengan teori daya saing Porter dan kerangka Industry 4.0 menghasilkan sintesis konseptual yang lebih komprehensif.

Dari perspektif praktis, model implementasi bertahap yang diajukan menawarkan panduan yang konkret dan kontekstual bagi para praktisi industri yang sedang merencanakan atau mengevaluasi program transformasi digital mereka. Identifikasi faktor-faktor determinan keberhasilan memberikan checklist strategis yang dapat digunakan sebagai basis untuk asesmen kesiapan transformasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini telah menganalisis secara mendalam penerapan Industry 4.0 dan smart manufacturing terhadap peningkatan daya saing industri melalui pendekatan Integrated Industrial Systems. Berdasarkan analisis kualitatif terhadap data wawancara, observasi, dan dokumen, beberapa kesimpulan utama dapat ditarik.

Pertama, keberhasilan implementasi Industry 4.0 bersifat multidimensional dan tidak dapat direduksi pada aspek adopsi teknologi semata. Dimensi manusia, proses, budaya, dan ekosistem berperan sama pentingnya dalam menentukan efektivitas dan dampak transformasi digital terhadap daya saing.

Kedua, pendekatan Integrated Industrial Systems terbukti memberikan kerangka analitis yang superior dibandingkan pendekatan parsial dalam memahami dan mengelola kompleksitas transformasi industri. Perspektif holistik IIS memungkinkan identifikasi interdependensi kritis antar subsistem yang seringkali terabaikan dalam pendekatan silo.

Ketiga, dampak Industry 4.0 terhadap daya saing bersifat kontingen dan sangat dipengaruhi oleh konteks organisasional, kualitas kepemimpinan, kesiapan infrastruktur, dan dinamika ekosistem industri. Tidak terdapat formula universal yang dapat diterapkan secara identical di berbagai konteks industri.

Keempat, model implementasi bertahap berbasis IIS yang diajukan menawarkan pendekatan pragmatik yang mempertimbangkan kompleksitas kontekstual sekaligus menjaga fokus pada tujuan strategis jangka panjang.

Saran

Berdasarkan temuan dan kesimpulan, penelitian ini mengajukan beberapa rekomendasi. Bagi para pemimpin industri, disarankan untuk memulai perjalanan transformasi dengan asesmen komprehensif berbasis IIS yang mencakup seluruh dimensi kesiapan organisasi sebelum mengambil keputusan investasi teknologi besar. Investasi yang seimbang antara teknologi, manusia, dan proses terbukti menghasilkan ROI transformasi yang lebih tinggi.

Bagi pembuat kebijakan, diperlukan regulasi yang kondusif dan ekosistem pendukung yang memfasilitasi kolaborasi industri-akademisi dan akses terhadap pengetahuan implementasi Industry 4.0, terutama bagi industri skala menengah yang memiliki keterbatasan sumber daya. Program insentif yang terstruktur untuk mendorong adopsi teknologi Industry 4.0 perlu dirancang dengan mempertimbangkan konteks kesiapan industri yang beragam.

Bagi peneliti, terdapat peluang besar untuk memperluas penelitian ini melalui pendekatan kuantitatif yang dapat menguji dan mengkuantifikasi hubungan kausal antarvariabel yang teridentifikasi dalam penelitian kualitatif ini. Studi longitudinal juga diperlukan untuk memahami dinamika perubahan daya saing industri seiring dengan pematangan implementasi Industry 4.0.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp0630a>
- [2] Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J., & Sarli, M. (2015). Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance. *Computers & Chemical Engineering*, 47(1), 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2012.06.037>
- [3] Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for Industry 4.0 scenarios. *Proceedings of the 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>

- [4] Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Acatech – National Academy of Science and Engineering.
- [5] Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 – A systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- [6] Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- [7] Porter, M. E. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. Free Press.
- [8] Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9(1), 54–89.
- [9] Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.
- [10] Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of Industrie 4.0: An outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>
- [11] Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6th ed.). SAGE Publications.
- [12] Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. *Proceedings of the 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2147–2152. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>
- [13] Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: A review. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>