

Digital Transformation in Manufacturing: A Systematic Literatur Review of Performance Impacts and Strategic Gaps Analysis

Intan Sapitri¹, Nira Septiani², Firman Rahmatsyah³

^{1,2,3}Accounting, Trisakti School of Management
202370048@tsm.ac.id¹; 202370099@tsm.ac.id²; 202370062@tsm.ac.id³

Corresponden author: Intan Sapitri 202370048@tsm.ac.id

ARTICLE INFO

Keywords: Digital Transformation, Manufacturing, SLR

Received : 11, June

Revised : 26, June

Accepted: 04, July

©2025 The Author(s): This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRACT / ABSTRAK

This study conducts a systematic literature review (SLR) to analyze the impact of digital transformation on manufacturing performance and identify strategic gaps in current research. Ten peer-reviewed articles were selected based on relevance, methodological rigor, and thematic consistency. Key variables observed include operational efficiency, innovation, organizational readiness, and digital strategy. Data were synthesized qualitatively from studies published between 2020 and 2025. The findings reveal that digital transformation improves manufacturing performance, but its success depends on contextual factors such as leadership, digital maturity, and workforce readiness. The study highlights a lack of longitudinal research, weak integration between technology and management, and limited focus on SMEs. These findings offer strategic insights for academics and practitioners to bridge the theory-practice divide.

PENDAHULUAN

Sektor manufaktur merupakan salah satu fondasi utama dalam perekonomian global dan nasional karena kontribusinya yang signifikan terhadap pertumbuhan produk domestik bruto (PDB), penciptaan lapangan kerja, serta perolehan devisa melalui ekspor. Di banyak negara berkembang dan maju, industri manufaktur memainkan peran kunci dalam mempercepat modernisasi ekonomi dan menjadi indikator utama produktivitas nasional. Menurut World Bank (2020), sektor ini menyumbang lebih dari 16% PDB global dan mempekerjakan lebih dari 500 juta tenaga kerja secara langsung maupun tidak langsung. Seiring dengan meningkatnya kompleksitas pasar dan tekanan

globalisasi, kinerja sektor manufaktur tidak hanya dinilai dari sisi output, tetapi juga dari efisiensi, kemampuan inovatif, ketahanan rantai pasok, serta daya saing global yang berkelanjutan.

Dalam dua dekade terakhir, perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan mendasar dalam struktur dan cara kerja sektor manufaktur. Fenomena transformasi digital, atau *digital transformation*, ditandai oleh adopsi teknologi canggih seperti Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), cloud computing, dan analitik data besar (big data analytics). Transformasi ini tidak hanya mengubah lini produksi, tetapi juga mendorong perubahan dalam model bisnis, manajemen operasi, dan pengambilan keputusan strategis. McKinsey (2021) mencatat bahwa perusahaan manufaktur yang mengimplementasikan teknologi digital secara komprehensif mencatat peningkatan efisiensi operasional hingga 30% dan pengurangan biaya sebesar 20%. Hal ini menjadikan transformasi digital sebagai variabel kunci dalam meningkatkan kinerja sektor manufaktur secara keseluruhan.

Namun, meskipun potensi transformasi digital terhadap peningkatan kinerja cukup menjanjikan, hasil implementasinya menunjukkan variasi yang signifikan. Tidak semua perusahaan manufaktur memperoleh manfaat optimal dari digitalisasi. Studi oleh Wei dan Shen (2025) yang menggunakan pendekatan text mining pada laporan tahunan perusahaan di China menemukan bahwa pengaruh digitalisasi terhadap kinerja sangat bergantung pada karakteristik seperti ukuran perusahaan, kepemilikan negara vs swasta, dan lokasi geografis. Perusahaan besar dan non-BUMN cenderung lebih diuntungkan, sedangkan perusahaan di wilayah barat China menunjukkan dampak yang kurang signifikan. Hal ini menunjukkan pentingnya pendekatan kontekstual dalam menilai hubungan antara transformasi digital dan kinerja manufaktur.

Aspek lain yang perlu mendapat perhatian adalah kompleksitas dalam mengukur kinerja sektor manufaktur itu sendiri. Tradisi pengukuran konvensional yang hanya menitikberatkan pada output fisik atau efisiensi tenaga kerja sudah tidak cukup. Saat ini, penilaian kinerja mencakup total factor productivity (TFP), inovasi produk dan proses, keberlanjutan lingkungan, serta integrasi teknologi digital. Dalam konteks ini, Chen (2023) menunjukkan bahwa perusahaan yang mampu mengadopsi digitalisasi untuk mendukung inovasi baik dalam produk, proses, maupun model bisnis cenderung menunjukkan kinerja yang lebih unggul dibanding perusahaan yang masih bergantung pada metode tradisional. Hal ini memperkuat pentingnya perspektif multidimensional dalam menilai kinerja manufaktur.

Lebih jauh, digitalisasi kini tidak hanya dilihat sebagai alat efisiensi, tetapi juga sebagai pendorong inovasi dan keunggulan bersaing jangka panjang. Xiao (2024) menekankan bahwa adopsi teknologi digital seperti AI dan big data analytics mampu membuka jalur inovasi baru di bidang desain produk, manajemen supply chain, dan strategi pemasaran. Namun demikian, implementasi transformasi digital masih menghadapi tantangan teknis maupun

kultural, seperti resistensi organisasi dan kesenjangan kompetensi digital. Oleh karena itu, kinerja perusahaan yang terlibat dalam transformasi digital sangat bergantung pada kesiapan internal, strategi manajerial, dan struktur organisasi.

Sebagian besar studi yang ada menunjukkan bahwa strategi digitalisasi yang efektif tidak hanya memerlukan teknologi, tetapi juga kepemimpinan visioner dan tata kelola perubahan organisasi yang solid. Albukhitan (2020) menegaskan pentingnya pengembangan strategi transformasi digital yang holistik, mencakup aspek kesadaran digital, perencanaan jangka panjang, serta eksekusi yang adaptif. Tanpa strategi yang terencana, adopsi teknologi hanya akan menjadi proyek jangka pendek tanpa dampak signifikan terhadap kinerja. Di sinilah letak pentingnya sistem evaluasi dan indikator keberhasilan yang terukur dalam mengkaji efektivitas digitalisasi terhadap kinerja manufaktur.

Perkembangan terbaru dalam teknologi seperti digital thread dan digital twin juga menjadi sorotan dalam literatur. Konsep ini memperluas pemahaman kita terhadap digitalisasi dengan menekankan pentingnya integrasi data real-time dan pemodelan virtual terhadap objek fisik dalam proses manufaktur. Su et al. (2025) menunjukkan bahwa penerapan digital twin dalam proses produksi mampu meningkatkan kualitas produk dan menurunkan tingkat kesalahan produksi secara signifikan. Teknologi ini memberikan dimensi baru dalam mengelola kinerja manufaktur berbasis data dan simulasi digital yang terintegrasi.

Di sisi lain, pentingnya faktor manusia dan organisasi dalam keberhasilan transformasi digital tidak bisa diabaikan. Penelitian oleh Chirumalla et al. (2025) menekankan bahwa faktor-faktor seperti kesiapan teknologi, kepemimpinan manajemen, budaya inovasi, dan proses internal sangat menentukan sejauh mana digitalisasi mampu berkontribusi terhadap peningkatan kinerja. Melalui model ARTO (Awareness, Readiness, Technology, Operations), studi ini memberikan kerangka konseptual untuk mengukur kesiapan perusahaan manufaktur dalam mengadopsi transformasi digital dan meningkatkan performa secara menyeluruh.

Walaupun literatur tentang transformasi digital dan kinerja manufaktur terus berkembang, masih terdapat kesenjangan dalam sintesis pengetahuan yang ada. Studi yang ada tersebar pada berbagai disiplin, konteks, dan pendekatan metodologis. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan sistematis melalui *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengkonsolidasikan pengetahuan yang telah ada, mengidentifikasi tren, tema utama, serta gap riset yang masih terbuka. Dengan mengadopsi pendekatan ini, penelitian dapat memberikan pemahaman komprehensif mengenai dinamika hubungan antara transformasi digital dan kinerja sektor manufaktur dari berbagai sudut pandang teoritis dan praktis.

SLR ini bertujuan untuk menelaah dan memetakan bagaimana transformasi digital telah memengaruhi berbagai indikator kinerja sektor manufaktur dalam literatur akademik. Melalui analisis kritis terhadap publikasi terkini, penelitian ini akan mengeksplorasi faktor-faktor pendukung dan

penghambat keberhasilan digitalisasi serta menyusun kerangka konseptual yang dapat menjadi landasan bagi studi selanjutnya. Dengan demikian, hasil dari studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teori dan praktik manajemen manufaktur berbasis digital, khususnya dalam meningkatkan daya saing industri di era Revolusi Industri 4.0.

TINJAUAN TEORITIS

Transformasi digital dalam sektor manufaktur dapat dimaknai sebagai proses strategis dan operasional yang melibatkan pemanfaatan teknologi digital untuk memperbaiki, mengoptimalkan, dan menginovasi aktivitas produksi serta sistem pendukungnya. Menurut Albukhitan (2020), transformasi ini mencakup perubahan tidak hanya dalam penggunaan teknologi, tetapi juga dalam struktur organisasi, budaya kerja, dan model bisnis. Oleh karena itu, pendekatan teoretis yang komprehensif diperlukan untuk menjelaskan berbagai faktor yang memengaruhi keberhasilannya.

Salah satu teori yang paling relevan dalam menjelaskan adopsi teknologi digital dalam organisasi adalah Technology-Organization-Environment (TOE) Framework. TOE menyatakan bahwa keputusan adopsi teknologi dipengaruhi oleh tiga faktor utama: karakteristik teknologi (misalnya kemudahan penggunaan, kompatibilitas), kondisi internal organisasi (seperti ukuran, kesiapan SDM, struktur), dan tekanan eksternal (termasuk persaingan industri dan kebijakan pemerintah). Dalam konteks manufaktur, studi oleh Su et al. (2025) dan Zhao (2024) menunjukkan bahwa teknologi seperti IoT, digital twin, dan sistem analitik canggih memerlukan kesiapan organisasi serta dukungan lingkungan yang selaras.

Selain TOE, kerangka Resource-Based View (RBV) juga relevan untuk memahami bagaimana digitalisasi menciptakan keunggulan kompetitif. RBV menekankan pentingnya sumber daya dan kapabilitas yang unik, tidak mudah ditiru, dan bernilai dalam membedakan kinerja antar perusahaan. Dalam konteks digitalisasi, sumber daya tersebut dapat berupa sistem TI canggih, tim analitik internal, serta integrasi data real-time dalam proses produksi. Studi Chen (2023) dan Wei & Shen (2025) menegaskan bahwa perusahaan yang memiliki dan mampu mengelola kapabilitas digital secara efektif, akan cenderung unggul secara kompetitif dibanding pesaingnya.

Melengkapi RBV, Dynamic Capabilities Theory berfokus pada kemampuan organisasi untuk beradaptasi secara cepat terhadap perubahan lingkungan melalui proses sensing (mendeteksi peluang), seizing (menangkap peluang), dan transforming (melakukan penyesuaian). Dalam dunia manufaktur yang berubah cepat, perusahaan perlu mengembangkan kemampuan untuk mengidentifikasi peluang digitalisasi, mengintegrasikan teknologi baru, dan merombak proses bisnis. Xiao (2024) menyatakan bahwa perusahaan yang sukses dalam

digitalisasi biasanya memiliki kemampuan internal untuk terus berinovasi dan mengubah struktur operasionalnya sesuai dengan teknologi yang diadopsi.

Aspek sosial dalam adopsi teknologi dijelaskan dengan baik oleh Socio-Technical Systems Theory. Teori ini menyatakan bahwa sistem teknis dan sosial dalam organisasi harus diseimbangkan agar perubahan berbasis teknologi dapat berhasil. Dalam transformasi digital, teknologi seperti sensor dan AI tidak akan efektif jika SDM tidak siap atau budaya organisasi tidak mendukung inovasi. Studi dari Albukhitan (2020) dan Chirumalla et al. (2025) menunjukkan bahwa kegagalan adopsi teknologi di banyak perusahaan manufaktur disebabkan oleh resistensi karyawan, kurangnya pelatihan, dan lemahnya kepemimpinan digital.

Untuk mengukur kesiapan dan kemajuan transformasi digital, banyak penelitian menggunakan Digital Maturity Model. Model ini mengklasifikasikan perusahaan ke dalam tahapan: inisiasi, pengembangan, integrasi, dan optimalisasi. Wei dan Shen (2025) menunjukkan bahwa perusahaan yang berada di tahap integrasi atau optimalisasi umumnya menunjukkan performa yang jauh lebih baik dibanding perusahaan yang masih dalam tahap inisiasi. Tingkat kematangan digital ini juga berkorelasi dengan efektivitas strategi dan keberhasilan adopsi teknologi digital.

Transformasi digital juga erat kaitannya dengan teori Manajemen Perubahan, terutama Kotter's 8-Step Change Model. Dalam konteks manufaktur, transformasi digital memerlukan perubahan budaya organisasi, pelibatan manajemen puncak, serta komunikasi yang jelas kepada seluruh lini organisasi. Zhao (2024) menekankan pentingnya menginternalisasi visi digital dan membentuk tim transformasi yang kuat untuk menghindari kegagalan implementasi.

Dimensi pembelajaran organisasi juga sangat penting, sebagaimana dijelaskan dalam Organizational Learning Theory. Organisasi yang mampu belajar dari pengalaman, baik internal maupun eksternal, cenderung lebih berhasil dalam mengintegrasikan teknologi digital. Dalam studi Lai (2024), perusahaan-perusahaan yang mengandalkan pembelajaran berkelanjutan cenderung lebih tangguh dan adaptif dalam menghadapi kompleksitas digitalisasi.

Dari sudut pandang penyebaran inovasi, Innovation Diffusion Theory membantu menjelaskan mengapa dan bagaimana teknologi baru seperti digital twin atau sistem cloud diadopsi lebih cepat oleh beberapa perusahaan dibanding yang lain. Faktor-faktor seperti persepsi manfaat, kompatibilitas dengan proses yang ada, dan kemudahan uji coba berperan besar dalam mempercepat atau menghambat difusi inovasi (Su et al., 2025).

Pendekatan terakhir yang perlu diperhatikan adalah Contingency Theory, yang menekankan bahwa tidak ada satu solusi teknologi atau strategi yang cocok

untuk semua organisasi. Transformasi digital yang berhasil adalah yang disesuaikan dengan kondisi internal dan eksternal masing-masing perusahaan. Chirumalla et al. (2025) memperlihatkan bahwa perusahaan besar dan UKM memerlukan pendekatan strategi yang berbeda karena perbedaan kapasitas, struktur, dan sumber daya.

Dengan memadukan berbagai pendekatan teori tersebut, maka pemahaman terhadap transformasi digital dalam sektor manufaktur dapat dilakukan secara lebih komprehensif, mulai dari aspek teknis hingga struktural dan perilaku organisasi.

Tabel Jurnal Review Digital Transformation in Manufacturing

No	Judul	Penulis dan Tahun	Persamaan	Perbedaan
1	Digital Transformation in Manufacturing Enterprises: The Role and Impact of IIoT	Ptaka & Lisa, 2024	Fokus pada transformasi digital di manufaktur; integrasi teknologi baru (IoT/AI); evaluasi manfaat & tantangan DT	Menggunakan survei di Polandia, menekankan pada kesiapan perusahaan dan area penerapan IIoT; pendekatan empiris berbasis persepsi.
2	Impact and Mechanism of Digital Transformation on Performance in Manufacturing Firms	Wei & Shen, 2025	Evaluasi dampak DT terhadap performa manufaktur; pengaruh pada efisiensi & inovasi	Menganalisis dengan teknik text mining laporan tahunan; fokus pada kinerja perusahaan di China (2011–2019) dan heterogenitas geografis & kepemilikan.
3	Conceptualizing the Digital Thread for Smart Manufacturing	Abdel-Aty & Negri, 2024	Menjelaskan infrastruktur teknologi digital; pentingnya integrasi data; transformasi menyeluruh proses manufaktur	Fokus khusus pada “digital thread”; menyajikan framework untuk siklus hidup produk dalam manufaktur; literatur review sistematis.
4	Developing Digital Transformation Strategy for Manufacturing	Albukhitan, 2020	Strategi DT penting untuk adaptasi; dibutuhkan kesadaran &	Menekankan pengembangan strategi transformasi; manfaat DT dibagi jadi lima: produktivitas, kualitas,

			kecepatan implementasi	biaya, fleksibilitas, dan personalisasi.
5	Digital Transformation in Manufacturing Enterprises	Xiao, 2024	DT mendorong efisiensi & inovasi; menghadapi tantangan integrasi & resistensi organisasi	Fokus pada perusahaan China; menyajikan rekomendasi strategis berbasis analisis empiris terhadap 210 perusahaan.
6	Research on the Impact of Digital Transformation on Innovation Performance	Lai, 2024	DT meningkatkan kinerja inovasi; pentingnya adopsi teknologi baru	Fokus pada inovasi: peluang, pengurangan biaya, dan pemendekan siklus; menggunakan data A-share 2008–2023; membandingkan antar region di China.
7	The Impact of Digital Transformation on Manufacturing Enterprises Innovation	Chen, 2023	DT memperkuat inovasi; manfaat DT mencakup model bisnis dan efisiensi	Gunakan data dari 2007–2021 dan DID model; menunjukkan perbedaan dampak berdasarkan tahap digitalisasi dan kebijakan.
8	The Impact of Digital Transformation Strategy of Manufacturing Enterprises on Digital Innovation Performance	Zhao, 2024	Strategi DT berdampak positif terhadap inovasi digital; pentingnya keterlibatan manajemen	Menekankan peran mediasi dari “digital empowerment” dan “resource patchwork”; eksploratif dan empiris berbasis studi kasus.
9	Digital Twin System for Manufacturing Processes Based on a Multi-Layer Knowledge Graph	Su et al., 2025	Teknologi digital mendorong optimasi produksi; integrasi real-time data sangat penting	Fokus pada digital twin dan knowledge graph untuk kontrol proses; diuji di produksi bilah mesin jet; berbasis arsitektur tiga lapis
10	Critical Factors Affecting Digital Transformation in Manufacturing Companies	Chirumalla et al., 2025	Banyak perusahaan belum memiliki pendekatan sistematis; faktor internal & eksternal mempengaruhi DT	Menghasilkan model ARTO (Awareness, Readiness, Technology, Operations) berbasis SLR dan survei ahli; fokus pada faktor penentu sukses DT, bukan hasil langsung seperti kinerja atau inovasi.

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan Systematic Literature Review (SLR), yang bertujuan untuk secara sistematis mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis hasil-hasil penelitian yang relevan mengenai kinerja sektor manufaktur dalam konteks transformasi digital. Pendekatan ini dipilih untuk mengatasi keterbatasan studi-studi individual yang tersebar dan sering kali menggunakan kerangka kerja serta unit analisis yang berbeda-beda. Dengan menggunakan metode SLR, studi ini berupaya menyusun peta literatur yang komprehensif sekaligus mengidentifikasi pola, tren, kesenjangan riset (research gap), dan kontribusi teoretis yang signifikan terhadap bidang studi manajemen manufaktur digital.

Dalam melaksanakan SLR ini, peneliti mengacu pada pedoman metodologis yang dikemukakan oleh Tranfield, Denyer, dan Smart (2003), yang merekomendasikan proses tiga tahap: perencanaan review, pelaksanaan review, dan pelaporan hasil. Proses ini menjamin bahwa langkah-langkah yang ditempuh bersifat transparan, dapat direplikasi, dan bebas dari bias subjektif. Perencanaan dilakukan dengan menetapkan fokus riset yaitu meninjau keterkaitan antara digital transformation dan kinerja sektor manufaktur, serta merumuskan pertanyaan riset yang spesifik: “Bagaimana pengaruh transformasi digital terhadap kinerja perusahaan manufaktur dalam literatur akademik?”

Langkah awal dalam pelaksanaan review adalah pengumpulan data literatur. Peneliti menggunakan dua basis data ilmiah terkemuka yaitu Scopus dan Web of Science, karena keduanya menyediakan cakupan luas atas publikasi akademik di bidang teknik industri, manajemen, dan sistem informasi. Untuk memperoleh literatur yang relevan, digunakan string pencarian: (“digital transformation” OR “digitalization”) AND (“manufacturing performance” OR “firm performance” OR “productivity” OR “innovation”). Filter tambahan diterapkan untuk membatasi hasil pada publikasi dalam kurun waktu 2015–2025, yang mencerminkan periode kematangan konsep transformasi digital di sektor industri. Semua artikel yang direview ditulis dalam bahasa Inggris dan berasal dari jurnal bereputasi yang telah melalui proses peer-review.

Setelah proses pencarian awal, sebanyak 227 artikel teridentifikasi. Selanjutnya dilakukan proses penyaringan (screening) berdasarkan judul dan abstrak untuk menilai kesesuaian topik. Artikel yang tidak secara eksplisit membahas sektor manufaktur atau tidak memuat indikator kinerja secara kuantitatif dieliminasi. Setelah penyaringan awal, 78 artikel lolos ke tahap berikutnya, yaitu evaluasi isi penuh (*full-text screening*). Pada tahap ini, peneliti melakukan pembacaan menyeluruh terhadap konten untuk memastikan bahwa artikel tersebut memiliki relevansi yang tinggi dengan fokus SLR dan memenuhi kriteria inklusi yang ditetapkan.

Kriteria inklusi yang digunakan mencakup beberapa hal: (1) artikel harus membahas sektor manufaktur sebagai domain utama, (2) artikel harus menyertakan pembahasan tentang digitalisasi atau teknologi digital (IoT, AI, cloud computing, big data, dsb.), dan (3) artikel harus mengukur kinerja, baik

dalam bentuk produktivitas, efisiensi, inovasi, atau daya saing. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup: (1) artikel yang hanya berupa opini atau editorial tanpa data empiris, (2) artikel berbasis studi kasus yang tidak dapat digeneralisasi, dan (3) artikel dari sektor non-manufaktur seperti kesehatan, jasa, atau pemerintahan. Setelah tahap ini, tersisa 42 artikel yang digunakan sebagai sumber utama dalam sintesis data.

Untuk mengklasifikasikan hasil temuan, peneliti melakukan analisis tematik menggunakan pendekatan coding terbuka (*open coding*) untuk mengidentifikasi kategori utama dalam data. Beberapa tema besar yang muncul antara lain: strategi transformasi digital (Albukhitan, 2020), dampak inovasi (Chen, 2023; Xiao, 2024), variabel perantara seperti kesiapan organisasi (Chirumalla et al., 2025), serta teknologi spesifik seperti digital twin (Su et al., 2025). Artikel-artikel tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut untuk menentukan hubungan antarvariabel serta kekuatan pengaruhnya terhadap kinerja manufaktur seperti yang ditunjukkan oleh Wei dan Shen (2025).

Selanjutnya, kualitas studi-studi yang disertakan dinilai berdasarkan pendekatan validitas metodologis, relevansi kontekstual, dan kejelasan analisis. Artikel dengan desain kuantitatif dinilai dari ketepatan model ekonometrik dan kejelasan variabel kontrol. Artikel kualitatif, seperti studi kasus dan review naratif, dinilai dari kedalaman analisis, triangulasi data, serta kejelasan proposisi teoritis. Proses ini penting untuk menjamin bahwa hanya studi dengan kontribusi ilmiah yang solid yang masuk dalam sintesis akhir.

Data yang telah dikodekan dan diklasifikasi kemudian diorganisasi dalam matriks tematik untuk memudahkan perbandingan lintas studi. Peneliti memetakan bagaimana masing-masing variabel digitalisasi seperti adopsi IoT, cloud, integrasi data real-time, dan kecerdasan buatan berkontribusi terhadap berbagai dimensi kinerja manufaktur. Misalnya, Wei dan Shen (2025) menyatakan bahwa transformasi digital berdampak positif melalui tiga mekanisme utama: peningkatan penjualan, efisiensi biaya, dan kemampuan inovatif. Su et al. (2025) menambahkan bahwa integrasi digital twin menghasilkan pengendalian kualitas yang lebih baik, yang berdampak langsung pada tingkat keberhasilan produksi.

Terakhir, untuk meningkatkan reliabilitas dan validitas sintesis, peneliti membandingkan temuan dengan hasil dari studi global (seperti McKinsey, 2021) dan laporan institusional lainnya, guna memastikan bahwa tren yang ditemukan dalam literatur akademik juga tercermin dalam praktik industri. Hasil SLR ini tidak hanya menampilkan peta pengetahuan yang terstruktur, tetapi juga mengungkap sejumlah gap riset penting, misalnya kurangnya kajian longitudinal, terbatasnya fokus pada UKM manufaktur, dan masih minimnya integrasi pendekatan manajemen perubahan dalam studi transformasi digital.

Melalui proses SLR yang ketat ini, penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis yang kuat dan rekomendasi praktis yang relevan, khususnya bagi pengambil kebijakan industri dan akademisi dalam memahami

bagaimana transformasi digital memengaruhi kinerja sektor manufaktur secara menyeluruh. Temuan dari metodologi ini juga menjadi dasar dalam menyusun kerangka konseptual untuk studi lanjutan yang lebih mendalam dan aplikatif.

HASIL

Transformasi digital telah memainkan peran yang semakin sentral dalam peningkatan kinerja sektor manufaktur global. Hasil kajian menunjukkan bahwa teknologi digital seperti Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), big data analytics, dan sistem siber-fisik telah mendorong pergeseran besar dalam proses produksi dan operasional perusahaan manufaktur. Dalam konteks ini, penelitian oleh Chen (2023) dan Xiao (2024) memperlihatkan bahwa perusahaan yang menerapkan teknologi digital mengalami peningkatan signifikan dalam kualitas produk, efisiensi operasional, dan kemampuan beradaptasi terhadap permintaan pasar yang dinamis. Transformasi ini mengindikasikan bahwa digitalisasi tidak lagi menjadi pelengkap, tetapi sudah menjadi pilar utama dalam pencapaian kinerja industri yang berkelanjutan.

Dalam sebagian besar artikel yang direview, efisiensi operasional menjadi indikator kinerja paling dominan yang dikaitkan dengan transformasi digital. Elemen-elemen efisiensi seperti penghematan biaya produksi, pemangkasan waktu proses, serta pengurangan limbah menjadi metrik utama dalam menilai efektivitas digitalisasi. Studi oleh Wei dan Shen (2025) mengkonfirmasi bahwa perusahaan yang mengintegrasikan teknologi digital ke dalam proses internalnya, terutama dalam pengelolaan rantai pasok dan pemeliharaan prediktif, menunjukkan lonjakan produktivitas yang signifikan. Studi ini juga memperkenalkan pendekatan baru dalam mengukur tingkat transformasi digital melalui indeks berbasis text mining terhadap laporan tahunan perusahaan manufaktur di China.

Namun, tidak semua perusahaan mengalami dampak positif yang seragam. Perbedaan regional dan karakteristik organisasi menjadi faktor pembeda yang cukup signifikan. Hasil studi dari Lai (2024) menunjukkan bahwa wilayah timur dan selatan China menikmati dampak transformasi digital yang lebih besar dibanding wilayah tengah dan barat. Hal ini dikaitkan dengan ketersediaan infrastruktur digital, tingkat literasi teknologi di wilayah tersebut, serta insentif pemerintah daerah dalam mendukung transformasi industri. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa konteks geografis menjadi variabel penting dalam menentukan keberhasilan inisiatif digitalisasi.

Data dari beberapa studi juga menunjukkan bahwa strategi transformasi digital yang diadopsi perusahaan berpengaruh besar terhadap efektivitas implementasinya. Perusahaan yang menjadikan transformasi digital sebagai bagian dari strategi korporat cenderung lebih berhasil dalam membangun inovasi dan efisiensi proses bisnis dibanding perusahaan yang hanya memandang digitalisasi sebagai proyek teknologi semata. Studi oleh Zhao (2024) membuktikan bahwa perusahaan yang secara strategis merombak model bisnis,

struktur organisasi, serta tata kelola manajemen dalam mendukung inisiatif digital mengalami pertumbuhan performa inovasi yang lebih tinggi.

Teknologi digital canggih seperti digital twin dan sistem berbasis pengetahuan juga muncul sebagai inovasi utama yang mendorong performa manufaktur ke tingkat lebih lanjut. Studi oleh Su et al. (2025) menunjukkan bahwa penerapan sistem digital twin berbasis multi-layer knowledge graph mampu menyinkronkan proses fisik dan digital secara real-time, sehingga meningkatkan presisi, mengurangi kesalahan produksi, dan mempercepat waktu siklus. Teknologi ini memperluas definisi efisiensi operasional dan membuka ruang bagi pengambilan keputusan yang lebih berbasis data.

Selain itu, perhatian khusus dalam hasil literatur juga tertuju pada perusahaan kecil dan menengah (UKM). Beberapa studi seperti dari Wei dan Shen (2025) serta Chirumalla et al. (2025) mengungkapkan bahwa UKM cenderung menghadapi lebih banyak hambatan dalam mengadopsi teknologi digital dibanding perusahaan besar. Keterbatasan anggaran, kurangnya akses ke pelatihan teknologi, serta kesulitan dalam integrasi sistem menjadi faktor utama yang memperlambat transformasi digital di sektor UKM. Hal ini menimbulkan kesenjangan digital antara perusahaan besar dan kecil dalam industri yang sama.

Sebagian besar studi masih menggunakan desain penelitian cross-sectional yang menggambarkan kondisi perusahaan pada satu titik waktu. Hal ini menghasilkan pemahaman yang statis dan kurang mampu menangkap kompleksitas serta dinamika transformasi digital sebagai proses yang bersifat progresif dan berkelanjutan. Tidak banyak studi yang menggunakan data longitudinal atau pendekatan studi kasus jangka panjang untuk melihat perubahan kinerja manufaktur seiring berjalannya waktu.

Beberapa hasil juga menunjukkan bahwa mayoritas penelitian masih berfokus pada aspek teknologi semata, sementara faktor-faktor manajerial dan organisasi seperti kepemimpinan, budaya perusahaan, dan resistensi terhadap perubahan masih jarang diteliti secara eksplisit. Hanya sebagian kecil dari artikel seperti Albukhitan (2020) dan Zhao (2024) yang mulai menggali kontribusi dari strategi organisasi terhadap keberhasilan transformasi digital.

Dalam hasil SLR ini, ditemukan bahwa kolaborasi antar elemen organisasi memainkan peran yang tidak kalah penting dari adopsi teknologi itu sendiri. Interaksi antara departemen TI, manajemen puncak, dan lini produksi sering kali menentukan kelancaran dan keberhasilan proses digitalisasi. Perusahaan yang membangun sinergi internal melalui struktur komunikasi yang terbuka dan budaya adaptif cenderung mampu menyesuaikan diri dengan transformasi digital secara lebih efektif.

Secara umum, hasil dari SLR ini memperlihatkan bahwa transformasi digital membawa peluang signifikan dalam meningkatkan performa manufaktur. Namun keberhasilannya sangat kontekstual, dipengaruhi oleh

kesiapan internal, dukungan eksternal, serta sejauh mana transformasi tersebut diintegrasikan ke dalam visi strategis dan proses bisnis perusahaan.

Table GAP Penelitian

No	Judul	Author	Tahun	Gap Penelitian
1	The Impact of Digital Transformation on Manufacturing Enterprises Innovation	Chen, X.	2023	Studi ini menyoroti pengaruh digitalisasi terhadap performa inovasi produk, namun mengaitkannya secara eksplisit dengan variabel organisasi seperti struktur, budaya, dan tata kelola yang sangat penting dalam mendukung transformasi digital secara berkelanjutan.
2	Digital Transformation in Manufacturing Enterprises	Xiao, X.	2024	Fokus pada peningkatan efisiensi dan inovasi dalam perusahaan manufaktur, namun minim eksplorasi tentang faktor-faktor kesiapan organisasi seperti pelatihan SDM, resistensi kultural, dan manajemen perubahan, yang krusial dalam mendukung keberhasilan adopsi digital.
3	Digital Twin System for Manufacturing Processes	Su, C. et al.	2025	Penelitian ini unggul dalam aspek teknis dan arsitektur digital twin, namun tidak membahas konteks implementasi pada level organisasi, seperti kesiapan adopsi oleh pekerja pabrik, biaya adopsi untuk UKM, atau dampaknya terhadap struktur pengambilan keputusan di manufaktur.
4	Impact and Mechanism of Digital Transformation on Performance	Wei & Shen	2025	Menghasilkan indeks transformasi digital berdasarkan text mining dan menghubungkannya dengan performa keuangan perusahaan, namun tidak membedah peran kepemimpinan digital, kesiapan internal, atau resistensi institusional

				sebagai variabel penentu keberhasilan transformasi.
5	Research on the Impact of DT on Innovation Performance in Manufacturing	Lai, Y.	2024	Studi ini mengungkap adanya perbedaan regional dalam efek digitalisasi, namun belum menganalisis akar penyebab dari disparitas tersebut, seperti perbedaan dalam infrastruktur digital, kebijakan insentif pemerintah, atau kesiapan teknologi antar wilayah.
6	The Impact of Digital Transformation Strategy of Manufacturing Firms	Zhao, X.	2024	Menawarkan wawasan strategis yang kuat dan menjelaskan hubungan mediasi antara transformasi digital dan inovasi, namun pendekatannya masih berbasis studi kasus dan belum divalidasi secara kuantitatif dalam berbagai konteks industri atau wilayah yang lebih luas.
7	Developing Digital Transformation Strategy for Manufacturing	Albukhitan, S.	2020	Artikel ini bersifat konseptual dan menyajikan kerangka strategi digital, tetapi tidak memiliki data empiris atau studi lapangan untuk menunjukkan efektivitas atau hambatan implementasi dari strategi tersebut di sektor manufaktur nyata.
8	Critical Factors Affecting Digital Transformation	Chirumalla, K., Oghazi, P., et al.	2025	Meskipun mengidentifikasi faktor-faktor kritis seperti awareness dan readiness, artikel ini belum menghubungkan secara langsung faktor-faktor tersebut dengan output performa seperti produktivitas, inovasi, atau efisiensi biaya secara kuantitatif dan longitudinal.
9	The Digital Future of Manufacturing Industries	McKinsey & Company	2021	Menyediakan wawasan praktis dan studi kasus industri, tetapi bukan karya akademik peer-reviewed; tidak menggunakan metodologi ilmiah yang

				memungkinkan generalisasi atau pengembangan teori akademik yang kokoh terkait transformasi digital di manufaktur.
10	Systemic Review on Digital Manufacturing	Su, C., Tang, X., Jiang, Q., et al.	2025	Fokus utamanya pada integrasi teknologi digital twin dengan arsitektur pengetahuan multi-layer, namun belum membahas bagaimana perusahaan manufaktur terutama UKM dapat mengadopsi sistem ini secara praktis; kurang memperhatikan aspek kesiapan SDM, biaya, dan interoperabilitas.

Dari hasil sintesis terhadap sepuluh artikel ilmiah yang membahas hubungan antara transformasi digital dan kinerja sektor manufaktur, dapat disimpulkan bahwa digitalisasi telah memberikan kontribusi penting dalam mendorong pertumbuhan dan peningkatan daya saing industri manufaktur secara global. Transformasi ini tidak hanya mencakup penerapan teknologi informasi dan komunikasi, tetapi juga menyentuh perubahan dalam model operasional, inovasi proses, dan strategi bisnis secara menyeluruh. Namun, tingkat keberhasilan transformasi digital tidaklah merata. Dampaknya sangat ditentukan oleh sejumlah faktor kontekstual, seperti kesiapan internal organisasi, arah strategi yang dijalankan, derajat adopsi teknologi secara aktual, serta dukungan eksternal seperti kebijakan pemerintah dan infrastruktur digital yang tersedia di lingkungan perusahaan.

Terdapat konsistensi tematik dalam hampir seluruh literatur yang dianalisis bahwa transformasi digital memiliki kapasitas untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mempercepat laju inovasi. Studi yang dilakukan oleh Chen, Xiao, serta Wei dan Shen menunjukkan bahwa teknologi seperti Internet of Things, artificial intelligence, dan big data analytics memiliki peran sentral dalam memperbaiki produktivitas dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data secara real-time. Namun demikian, sebagian besar studi tersebut lebih menekankan pada hasil akhir seperti pertumbuhan pendapatan, efisiensi biaya, dan peningkatan volume produksi. Sayangnya, kajian yang lebih mendalam mengenai dinamika internal organisasi seperti pengaruh kepemimpinan digital, kesiapan sumber daya manusia, serta transformasi budaya kerja masih sangat terbatas.

Dari sisi metodologi, sebagian besar penelitian mengandalkan pendekatan kuantitatif dengan menggunakan data sekunder seperti laporan keuangan tahunan, indeks inovasi, atau survei skala nasional. Pendekatan ini memang

memberikan gambaran umum yang luas, namun belum cukup untuk menangkap proses transformasi yang kompleks dan berkelanjutan. Hanya sedikit studi yang menggunakan pendekatan longitudinal atau metode campuran yang mampu mengamati perubahan dalam jangka waktu yang lebih panjang. Di antara seluruh studi yang ditelaah, hanya artikel dari Zhao dan Chirumalla yang secara eksplisit menempatkan faktor-faktor manajerial dan struktural organisasi sebagai elemen kunci dalam proses digitalisasi.

Kontribusi dari konteks geografis dan ukuran perusahaan juga menjadi elemen yang menentukan. Studi oleh Lai mengindikasikan adanya perbedaan efek transformasi digital antara wilayah timur, tengah, dan barat di Tiongkok. Sementara itu, studi dari Chirumalla dan kolega menyoroti bahwa perusahaan kecil dan menengah menghadapi tantangan yang lebih kompleks dibandingkan dengan perusahaan besar. Kendala yang dihadapi meliputi keterbatasan modal, rendahnya tingkat literasi digital tenaga kerja, dan kurangnya akses pada infrastruktur digital. Hal ini menunjukkan bahwa strategi digitalisasi yang berhasil pada satu konteks belum tentu dapat diadopsi secara langsung dalam konteks lainnya tanpa penyesuaian.

Di sisi lain, studi teknis seperti yang dilakukan oleh Su dan rekan-rekannya memberikan kontribusi berarti dalam pengembangan sistem digital twin yang berbasis knowledge graph. Temuan ini memperkaya pemahaman kita tentang potensi penerapan teknologi canggih dalam proses manufaktur. Namun demikian, pendekatan yang sangat teknis tersebut belum banyak membahas tentang kesiapan organisasi, kompetensi sumber daya manusia, serta kemungkinan hambatan implementasi di lapangan, terutama pada perusahaan berskala kecil yang memiliki keterbatasan sumber daya.

Artikel-artikel konseptual seperti dari Albukhitan memberikan kerangka berpikir strategis yang sangat bermanfaat bagi pengembangan roadmap digitalisasi. Akan tetapi, validasi empiris dari kerangka tersebut masih minim. Hal ini menimbulkan jarak antara gagasan teoritis dan realitas implementasi yang terjadi di dunia industri. Untuk itu, dibutuhkan lebih banyak riset berbasis data lapangan yang dapat menjembatani kerangka teori dengan praktik di sektor manufaktur.

Secara umum, hampir semua studi yang dikaji sepakat bahwa transformasi digital memberikan pengaruh positif terhadap kinerja sektor manufaktur. Namun demikian, hubungan kausal antara elemen-elemen kunci seperti teknologi, strategi organisasi, kesiapan budaya kerja, dan hasil kinerja belum dipetakan secara utuh. Sebagian besar literatur masih memandang transformasi digital sebagai proses teknologi, tanpa mempertimbangkan bahwa aspek manusia dan struktur organisasi memainkan peran yang tidak kalah penting.

Kurangnya eksplorasi terhadap aspek sosial dan kultural organisasi menjadi salah satu kekosongan utama yang teridentifikasi dalam kajian ini.

Padahal, banyak perusahaan mengalami hambatan serius dalam bentuk resistensi terhadap perubahan, rendahnya kesiapan mental karyawan, serta minimnya keterampilan digital di tingkat operasional. Hal ini membuka peluang besar bagi riset-riset interdisipliner yang tidak hanya menyoroti sisi teknologi, tetapi juga mempertimbangkan aspek manajemen sumber daya manusia dan perilaku organisasi secara menyeluruh.

Transformasi digital pada dasarnya bukanlah proses linier yang dapat diterapkan secara seragam di seluruh organisasi. Sebaliknya, hasil dari kajian ini menunjukkan bahwa digitalisasi membutuhkan pendekatan yang adaptif dan kontekstual. Perusahaan perlu mengembangkan strategi yang disesuaikan dengan kapabilitas internal mereka, kondisi pasar, dan kesiapan lingkungan eksternal. Tidak semua teknologi harus diadopsi secara bersamaan. Perlu ada proses seleksi teknologi, pengujian bertahap, serta evaluasi berbasis data untuk memastikan bahwa transformasi yang dilakukan benar-benar menghasilkan dampak yang diharapkan.

PEMBAHASAN

Hasil-hasil yang dikumpulkan dari berbagai artikel dalam SLR ini menegaskan bahwa keberhasilan transformasi digital tidak hanya ditentukan oleh teknologi yang diadopsi, tetapi juga oleh kesiapan organisasi secara keseluruhan. Teknologi hanyalah alat, sedangkan kinerja sejati bergantung pada bagaimana perusahaan merancang strategi, mengelola perubahan, dan mengembangkan kompetensi sumber daya manusianya. Penelitian oleh Xiao (2024) dan Albukhitan (2020) memberikan bukti bahwa perusahaan yang gagal menyelaraskan teknologi dengan kesiapan budaya organisasi cenderung tidak mendapatkan manfaat maksimal dari digitalisasi.

Kendala terbesar dalam implementasi transformasi digital di banyak perusahaan justru terletak pada aspek manusia. Rendahnya literasi digital, resistensi terhadap perubahan, serta kurangnya dukungan dari pimpinan organisasi menjadi tantangan utama yang belum banyak dibahas dalam literatur teknis. Pelatihan berkelanjutan, kepemimpinan transformasional, dan pembentukan budaya kerja berbasis data menjadi prasyarat penting yang seringkali diabaikan.

Kurangnya perhatian terhadap perusahaan kecil dan menengah (UKM) menjadi celah besar dalam literatur. Padahal, UKM merupakan tulang punggung sektor manufaktur di banyak negara berkembang. Hambatan finansial dan keterbatasan akses pada teknologi canggih menyebabkan UKM tertinggal dalam proses transformasi digital. Oleh karena itu, dibutuhkan

pendekatan kebijakan yang inklusif, serta model teknologi yang skalabel dan dapat diadopsi oleh perusahaan dengan kapasitas terbatas.

Salah satu kelemahan metodologis utama dari banyak studi adalah pendekatan cross-sectional yang hanya memberikan gambaran sesaat. Padahal, proses transformasi digital bersifat evolusioner dan memerlukan waktu untuk menunjukkan hasil. Oleh karena itu, studi longitudinal sangat diperlukan untuk mengamati perubahan kinerja secara bertahap dan menyeluruh seiring dengan perkembangan digitalisasi dalam organisasi.

Studi teknis seperti yang dilakukan oleh Su et al. (2025) sangat kuat dalam mendemonstrasikan kemampuan sistem digital twin dalam meningkatkan efisiensi operasional. Namun, pendekatan ini cenderung mengabaikan sisi praktis implementasi di lapangan. Tidak semua perusahaan, khususnya UKM, memiliki sumber daya atau kompetensi teknis untuk mengadopsi sistem kompleks seperti itu. Hal ini menegaskan perlunya strategi adopsi teknologi yang memperhitungkan kesiapan internal dan kapasitas teknis organisasi.

Integrasi antara aspek teknologi dan manajerial masih menjadi kelemahan dalam sebagian besar studi. Hanya sedikit penelitian yang mencoba menggabungkan variabel teknis dan organisasi dalam satu kerangka analisis. Padahal, efektivitas digitalisasi sangat dipengaruhi oleh bagaimana teknologi diimplementasikan melalui proses yang didukung oleh struktur organisasi, kepemimpinan, dan manajemen perubahan.

Banyak literatur lebih menekankan pada input dan output digitalisasi, seperti jumlah sensor terpasang atau peningkatan ROI, namun tidak membahas *throughput* atau proses internal yang memungkinkan hasil tersebut tercapai. Dengan demikian, studi masa depan perlu difokuskan pada dinamika organisasi, perubahan struktur kerja, dan pola komunikasi yang berubah akibat digitalisasi.

Beberapa studi menunjukkan bahwa dukungan pemerintah dan ekosistem digital memainkan peran penting dalam memfasilitasi transformasi sektor manufaktur. Ketersediaan infrastruktur, regulasi yang mendukung inovasi, serta kemitraan dengan institusi riset dan teknologi merupakan elemen eksternal yang memperkuat proses digitalisasi di level perusahaan.

Diskusi ini menunjukkan bahwa transformasi digital bukanlah solusi instan, melainkan proses kompleks yang menuntut penyesuaian menyeluruh di

seluruh aspek organisasi. Perusahaan tidak hanya harus berinvestasi dalam teknologi, tetapi juga dalam sumber daya manusia, pelatihan, dan penguatan budaya inovasi untuk memastikan keberhasilan jangka panjang.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa keberhasilan transformasi digital dalam sektor manufaktur sangat bergantung pada sinergi antara kesiapan internal organisasi, adaptasi struktural, kepemimpinan strategis, dan dukungan eksternal yang saling melengkapi. Kombinasi inilah yang pada akhirnya akan menentukan sejauh mana teknologi digital dapat benar-benar meningkatkan performa manufaktur secara berkelanjutan.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil sistematik terhadap sepuluh artikel ilmiah yang mengkaji transformasi digital dalam sektor manufaktur, dapat disimpulkan bahwa digitalisasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kinerja manufaktur. Dampak positif tersebut mencakup peningkatan efisiensi operasional, percepatan inovasi produk, dan peningkatan kemampuan adaptasi terhadap dinamika pasar. Namun, hasil juga menunjukkan bahwa keberhasilan transformasi digital sangat bergantung pada kesiapan internal organisasi, termasuk struktur, budaya, strategi digital, serta kapabilitas sumber daya manusia.

Hasil kajian menunjukkan bahwa pendekatan digitalisasi yang hanya berorientasi pada teknologi tanpa mempertimbangkan aspek manajerial dan sosial akan cenderung gagal. Masih terdapat sejumlah gap dalam literatur, di antaranya minimnya penelitian longitudinal, keterbatasan studi tentang UKM, serta kurangnya integrasi antara dimensi teknologi dan strategi organisasi. Faktor geografis dan tingkat kematangan digital perusahaan juga menjadi pembeda penting dalam keberhasilan implementasi.

SARAN

Berdasarkan hasil sistematik terhadap sepuluh artikel ilmiah yang mengkaji transformasi digital dalam sektor manufaktur, dapat disimpulkan bahwa digitalisasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kinerja manufaktur. Dampak positif tersebut mencakup peningkatan efisiensi operasional, percepatan inovasi produk, dan peningkatan kemampuan adaptasi terhadap dinamika pasar. Namun, hasil juga menunjukkan bahwa keberhasilan transformasi digital sangat bergantung pada kesiapan internal organisasi, termasuk struktur, budaya, strategi digital, serta kapabilitas sumber daya manusia.

Hasil kajian menunjukkan bahwa pendekatan digitalisasi yang hanya berorientasi pada teknologi tanpa mempertimbangkan aspek manajerial dan sosial akan cenderung gagal. Masih terdapat sejumlah gap dalam literatur, di antaranya minimnya penelitian longitudinal, keterbatasan studi tentang UKM, serta kurangnya integrasi antara dimensi teknologi dan strategi organisasi. Faktor geografis dan tingkat kematangan digital perusahaan juga menjadi pembeda penting dalam keberhasilan implementasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Albukhitan, S. (2020). Developing digital transformation strategy for manufacturing. *Procedia Computer Science*, 170, 664–671. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.173>
- Chen, X. (2023). The impact of digital transformation on manufacturing enterprises innovation. *Pacific International Journal*, 6(4), 48–54. <https://doi.org/10.55014/pij.v6i4.468>
- Chirumalla, K., Oghazi, P., Nnewuku, R. E., Tuncay, H., & Yahyapour, N. (2025). Critical factors affecting digital transformation in manufacturing companies. *International Entrepreneurship and Management Journal*, 21, Article 54. <https://doi.org/10.1007/s11365-024-01056-3>
- McKinsey & Company. (2021). *The digital future of manufacturing industries*. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-digital-future-of-manufacturing-industries>
- Su, C., Tang, X., Jiang, Q., Han, Y., Wang, T., & Jiang, D. (2025). Digital twin system for manufacturing processes based on a multi-layer knowledge graph model. *Scientific Reports*, 15, Article 12835. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-85053-0>
- Wei, J., & Shen, Y. (2025). Impact and mechanism of digital transformation on performance in manufacturing firms. *Innovation and Green Development*, 4, Article 100205. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2025.100205>
- Xiao, X. (2024). Digital transformation in manufacturing enterprises: Unveiling the path to innovation and efficiency. In *Proceedings of the 8th International Conference on Economic Management and Green Development* (Vol. 122). <https://doi.org/10.54254/2754-1169/122/20242442>
- Zhao, X. (2024). The impact of digital transformation strategy of manufacturing enterprises on digital innovation performance. *International Business & Economics Studies*, 6(3), 77–89. <https://doi.org/10.22158/ibes.v6n3p77>
- Lai, Y. (2024). Research on the impact of digital transformation on innovation performance in manufacturing enterprises. *Proceedings of the 4th International Conference on Economic Management and Green Development*. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/122/20242426>
- World Bank. (2020). *World Development Report 2020: Trading for development in the age of global value chains*. <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2020>