

# Transformasi Digital di Industri Manufaktur: Dampak pada Efisiensi Operasional

**Author:**

Estin Roso  
Pristiwaningsih<sup>1</sup>  
Dian Rizky<sup>2</sup>  
Titin Andriyani  
Atmojo<sup>3</sup>  
Fairuz Nadhifah<sup>4</sup>

**Affiliation:**

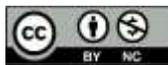
Politeknik Negeri  
Jember<sup>1,2,3,4</sup>

**Corresponding email**

[estin@polije.ac.id](mailto:estin@polije.ac.id)

**Histori Naskah:**

Submit: 2024-10-12  
Accepted: 2024-10-15  
Published: 2024-10-17



This is an Creative Commons  
License This work is licensed  
under a Creative Commons  
Attribution-NonCommercial 4.0  
International License

**Abstrak:**

Munculnya teknologi digital telah mendorong industri di seluruh dunia untuk melakukan transformasi digital, tetapi penelitian empiris yang menghubungkan adopsi teknologi digital dan efisiensi operasional dalam manufaktur skala kecil masih terbatas. Penelitian ini berupaya mengeksplorasi hubungan antara adopsi teknologi digital dan efisiensi operasional di perusahaan manufaktur skala kecil, dengan fokus pada perusahaan yang menerapkan teknologi ini setelah tahun 2022. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif, survei terhadap 150 perusahaan manufaktur skala kecil dilakukan, diikuti dengan analisis regresi linier berganda untuk menguji dampak berbagai teknologi digital, seperti otomatisasi, *cloud computing*, dan analisis data, terhadap efisiensi operasional. Hasilnya menunjukkan korelasi positif yang signifikan antara adopsi teknologi dan peningkatan indikator kinerja utama, termasuk kecepatan produksi, pengurangan biaya, dan kualitas produk. Temuan ini berkontribusi dalam mengisi kesenjangan penelitian yang ada dan memberikan wawasan yang dapat ditindaklanjuti untuk produsen skala kecil dan pembuat kebijakan yang bertujuan untuk mengoptimalkan manfaat transformasi digital.

**Kata kunci:** Adopsi Teknologi, Efisiensi Operasional, Industri Kecil, Manufaktur, Transformasi Digital

## Pendahuluan

Sektor manufaktur selalu menjadi landasan pembangunan ekonomi. Kemajuan terbaru dalam teknologi digital yang secara kolektif disebut sebagai “Industri 4.0” telah merevolusi cara bisnis beroperasi. Teknologi seperti *Artificial Intelligence (AI)*, *Machine Learning*, *Internet of Things (IoT)*, dan *Cloud Computing* mengubah proses manufaktur, menjanjikan peningkatan efisiensi, pengurangan biaya, dan peningkatan kualitas produk. Namun, dampak dari teknologi ini terhadap industri manufaktur skala kecil masih belum dieksplorasi. Studi ini membahas kesenjangan ini dengan memeriksa bagaimana transformasi digital memengaruhi efisiensi operasional di perusahaan manufaktur skala kecil (UKM) yang telah mengadopsi teknologi digital pasca-2022.

Sementara perusahaan yang lebih besar dengan cepat mengadopsi transformasi digital, perusahaan manufaktur yang lebih kecil sering kali tertinggal karena kendala keuangan, kurangnya keahlian, dan risiko yang dirasakan terkait dengan transformasi tersebut (Khasawneh & Dweiri, 2024; Prashant Kumar, Kushwaha, Kar, Dwivedi, & Rana, 2022). Literatur yang ada saat ini tidak memberikan bukti empiris yang memadai tentang hubungan langsung antara adopsi teknologi digital dan peningkatan efisiensi di perusahaan-perusahaan kecil ini. Sebagian besar literatur yang ada berfokus pada perusahaan multinasional

besar atau membahas manfaat umum adopsi teknologi digital tanpa menyelidiki implikasi spesifik untuk efisiensi operasional di sektor manufaktur skala kecil (Clemente-Almendros, Nicoara-Popescu, & Pastor-Sanz, 2024; Tian, Chen, Tian, Huang, & Hu, 2023). Selain itu, penelitian yang ada masih terbatas pada tantangan yang dihadapi manufaktur kecil dalam proses digitalisasi, seperti hambatan keuangan, kesenjangan keterampilan tenaga kerja, dan kompleksitas mengintegrasikan teknologi baru (Aghimien, Aigbavboa, Meno, & Ikuabe, 2021). Oleh karena itu, penelitian ini berupaya menjembatani kesenjangan ini.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menilai dampak adopsi teknologi digital terhadap efisiensi operasional industri manufaktur skala kecil. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Sejauh mana tingkat adopsi teknologi digital di industri manufaktur skala kecil; Bagaimana adopsi teknologi mempengaruhi indikator efisiensi operasional utama seperti waktu produksi, biaya, dan kualitas; Hambatan dan faktor pendukung adopsi teknologi digital di industri.

### **Studi Literatur**

Transformasi digital dalam industri manufaktur telah menjadi pendorong penting untuk meningkatkan efisiensi operasional, mendorong daya saing, dan mempromosikan inovasi. Transisi dari manufaktur tradisional ke Industri 4.0, yang menggabungkan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), *Artificial Intelligence* (AI), *cloud computing*, dan data besar, telah mengubah proses manufaktur secara fundamental, memungkinkan perusahaan untuk meningkatkan produktivitas, mengurangi biaya, dan merampingkan operasi. Konsep transformasi digital di bidang manufaktur mengacu pada integrasi teknologi digital canggih ke dalam proses produksi (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2019). Hal ini mencakup adopsi IoT, robotika, otomatisasi, dan analitik waktu nyata, yang semuanya bertujuan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi. Perusahaan yang mengadopsi teknologi digital mengalami peningkatan yang nyata dalam hal fleksibilitas produksi, penghematan biaya, dan kecepatan menuju pasar (Pankaj Kumar, Nowinska, & Schramm, 2023). Efisiensi operasional di bidang manufaktur biasanya diukur melalui faktor-faktor seperti pengurangan biaya, kecepatan produksi, minimalisasi limbah, dan peningkatan kualitas (Porter & Heppelmann, 2014). Penelitian telah mengindikasikan bahwa teknologi digital dapat merampingkan proses manufaktur, sehingga meningkatkan efisiensi. Namun, hanya sedikit penelitian yang secara khusus mengukur efek ini pada perusahaan skala kecil (Hasan & Khan, 2024).

Transformasi digital mengacu pada integrasi teknologi digital ke dalam semua bidang bisnis, yang secara fundamental mengubah cara perusahaan beroperasi dan memberikan nilai kepada pelanggan. Di sektor manufaktur, transformasi ini telah menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi operasional. Menurut penelitian Frank et al. (2019), adopsi teknologi digital di bidang manufaktur meningkatkan optimasi proses, pemeliharaan prediktif, dan integrasi rantai pasokan. Faktor-faktor ini berkontribusi pada pengurangan waktu henti, biaya pemeliharaan yang lebih rendah, dan alokasi sumber daya yang lebih baik, yang mengarah pada peningkatan efisiensi operasional. Misalnya, integrasi IoT memungkinkan pemantauan proses produksi secara real-time, sehingga produsen dapat mengidentifikasi dan mengatasi masalah sebelum menyebabkan downtime (Frank et al., 2019). Kemampuan pemeliharaan prediktif ini secara signifikan mengurangi tingkat kegagalan alat berat dan biaya operasional.

Otomasi dan AI adalah komponen penting dari transformasi digital di bidang manufaktur. Teknologi ini membantu mengotomatiskan tugas-tugas yang berulang, meningkatkan akurasi, dan mengurangi kesalahan manusia. Sebuah studi oleh Mittal et al. (2019) menyoroti bahwa analitik berbasis AI memungkinkan produsen untuk mengoptimalkan jadwal produksi, meningkatkan kontrol kualitas, dan membuat keputusan berbasis data. Hal ini menghasilkan siklus produksi yang lebih cepat dan lebih sedikit cacat, sehingga

berkontribusi pada efisiensi operasional yang lebih besar. Mittal et al. (2019) lebih lanjut menegaskan bahwa AI dapat membantu dalam peramalan permintaan prediktif, memastikan bahwa tingkat inventaris dioptimalkan untuk memenuhi permintaan pasar tanpa produksi berlebih, sehingga mengurangi pemborosan dan inefisiensi operasional.

Big data memainkan peran penting dalam transformasi digital dengan menawarkan wawasan yang mendalam ke dalam operasi manufaktur. Analisis data memungkinkan perusahaan untuk memantau indikator kinerja utama (KPI) seperti kinerja mesin, tingkat produksi, dan konsumsi energi (Saad, Bahadori, Bhoovar, & Zhang, 2024). Sebuah studi oleh Alva-Breña, Espíritu-Asensios, & Vargas (2024) menunjukkan bahwa perusahaan yang menggunakan analisis data besar dapat secara signifikan meningkatkan proses pengambilan keputusan, yang mengarah pada peningkatan kinerja operasional. Sasso, Filho, & Ganga (2024) menyatakan bahwa big data memungkinkan produsen untuk mengidentifikasi kemacetan di lini produksi dan mengoptimalkan alokasi sumber daya, yang secara langsung berkontribusi pada efisiensi operasional yang lebih tinggi.

*Cloud computing* adalah teknologi penting lainnya dalam perjalanan transformasi digital. Teknologi ini memfasilitasi pembagian data secara real-time di seluruh rantai pasokan, sehingga memungkinkan produsen meningkatkan kolaborasi dengan pemasok dan pelanggan. Solusi berbasis cloud membantu produsen mengoptimalkan operasi rantai pasokan dengan memberikan visibilitas yang lebih besar ke dalam pergerakan barang, mengurangi waktu tunggu, dan meningkatkan efisiensi secara keseluruhan (Joshi, Benitez, Huygh, Ruiz, & De Haes, 2022). *Cloud computing* memungkinkan produsen untuk beralih dari manajemen rantai pasokan yang reaktif menjadi proaktif, yang meningkatkan kelincahan dan ketahanan operasi manufaktur (Ali, Warren, & Mathiassen, 2017; Raut, Priyadarshinee, Gardas, & Jha, 2018).

Terlepas dari manfaatnya, transformasi digital memiliki beberapa tantangan. Masalah seperti biaya implementasi yang tinggi, resistensi terhadap perubahan, dan risiko keamanan siber dapat menghambat keberhasilan adopsi teknologi digital. Sebuah studi oleh Reis et al. (2018) menunjukkan bahwa produsen harus mengembangkan strategi yang komprehensif untuk mengatasi tantangan-tantangan ini agar dapat sepenuhnya mewujudkan potensi keuntungan dalam efisiensi operasional. Reis et al. (2018) juga menyoroti pentingnya pelatihan tenaga kerja dan pengembangan budaya digital untuk mengatasi resistensi dan memaksimalkan manfaat transformasi digital.

## Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain penelitian kuantitatif, dengan menggunakan survei untuk mengumpulkan data dari perusahaan-perusahaan manufaktur berskala kecil. Sampel sebanyak 150 perusahaan dipilih dari berbagai sektor manufaktur di seluruh negeri, untuk memastikan representasi yang beragam. Sebuah survei terstruktur dirancang untuk mengumpulkan data tentang Adopsi Teknologi Digital: Sejauh mana perusahaan telah menerapkan teknologi seperti otomatisasi, IoT, analisis data, dan *cloud computing*; Metrik Efisiensi Operasional: Data dikumpulkan pada indikator kinerja utama seperti kecepatan produksi, efisiensi biaya, kualitas, dan pengurangan limbah.

Data dikumpulkan melalui survei online yang dilakukan antara bulan Maret dan Agustus 2023. Responden termasuk CEO, manajer operasi, dan kepala TI, untuk memastikan pemahaman yang komprehensif mengenai aspek strategis dan operasional transformasi digital. Untuk menguji hubungan antara adopsi teknologi digital dan efisiensi operasional, analisis regresi linier berganda digunakan. Variabel dependennya adalah efisiensi operasional, yang diukur dengan indikator seperti penghematan biaya, kecepatan produksi, dan peningkatan kualitas, sedangkan variabel independennya adalah berbagai teknologi digital yang diadopsi oleh perusahaan.

## Hasil

Tingkat rata-rata adopsi teknologi digital di antara perusahaan-perusahaan yang disurvei adalah moderat, dengan 45% melaporkan penggunaan otomatisasi dan analisis data yang signifikan. Sebaliknya, hanya 20% yang telah mengadopsi *cloud computing*, menyoroti kesenjangan dalam integrasi digital secara penuh.

Analisis regresi menunjukkan hubungan yang positif dan signifikan secara statistik antara adopsi teknologi digital dan efisiensi operasional ( $p < 0,05$ ). Penggunaan teknologi otomasi dan IoT dikaitkan dengan peningkatan kecepatan produksi sebesar 30% dan pengurangan biaya operasional sebesar 25%. Hasil ini sejalan dengan temuan dari penelitian sebelumnya pada perusahaan skala besar, tetapi memperluas pemahaman untuk manufaktur skala kecil (Shang, Jia, Zhong, & Cao, 2024; Zhao, Huang, Zhang, & Zhao, 2023; Zu, Gu, & Lei, 2022). Pada Tabel 1. Dibawah ini menyajikan hasil analisis regresi linier berganda mengenai hubungan antara adopsi teknologi digital dan efisiensi operasional.

Tabel 1. Analisis Hubungan Adopsi Teknologi Digital dan Efisiensi Operasional

Variabel	Coefficient ( $\beta$ )	Standard Error (SE)	t-value	p-value	Signifikansi
Constant	1,233	0,487	2,53	0,013	Signifikan
Otomatisasi	0,305	0,067	4,55	0,001	Sangat Signifikan
<i>Internet of Things</i> (IoT)	0,276	0,058	4,76	0,000	Sangat Signifikan
Analisis Data	0,198	0,072	2,75	0,007	Signifikan
<i>Cloud computing</i>	0,121	0,079	1,53	0,129	Tidak Signifikan
R-squared					0,64
Adjusted R-squared					0,62

Constant: Intersep dari model regresi signifikan secara statistik ( $p = 0,013$ ), menunjukkan bahwa bahkan tanpa adopsi teknologi digital, beberapa tingkat efisiensi operasional tetap ada. Otomatisasi: Koefisien sebesar 0,305 ( $p = 0,001$ ) menunjukkan bahwa otomatisasi memiliki efek positif yang sangat signifikan terhadap efisiensi operasional. Untuk setiap kenaikan satu unit tingkat otomatisasi, efisiensi operasional meningkat sekitar 30,5%. *Internet of Things* (IoT): Dengan koefisien 0,276 ( $p = 0,000$ ), IoT juga memiliki dampak yang sangat signifikan dan positif terhadap efisiensi operasional, berkontribusi terhadap peningkatan sebesar 27,6%. Analisis Data: Variabel ini menunjukkan dampak positif yang signifikan terhadap efisiensi operasional ( $\beta = 0,198$ ,  $p = 0,007$ ), meningkatkan efisiensi sebesar 19,8%. *Cloud computing*: Koefisien untuk *cloud computing* adalah 0,121 ( $p = 0,129$ ), menunjukkan hubungan yang positif namun tidak signifikan secara statistik dengan efisiensi operasional. R-squared (0,64) dan Adjusted R-squared (0,62) menunjukkan bahwa 62% dari variabilitas dalam efisiensi operasional dapat dijelaskan oleh variabel-variabel adopsi teknologi digital yang termasuk dalam model ini.

Hasil ini menegaskan bahwa otomatisasi, IoT, dan analisis data berkontribusi secara signifikan dalam meningkatkan efisiensi operasional, sementara efek *cloud computing*, meskipun positif, dalam konteks ini tidak signifikan secara statistik. Beberapa perusahaan melaporkan adanya hambatan dalam adopsi teknologi, termasuk biaya yang tinggi, kurangnya tenaga terampil, dan kekhawatiran akan keamanan data. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya (Asiri et al., 2024; Jain et al., 2024; Yi et al., 2024), yang menunjukkan bahwa dukungan pemerintah dan industri sangat penting untuk mendorong transformasi digital di sektor-sektor berskala kecil.

## Pembahasan

Hasil analisis regresi linier berganda menunjukkan hubungan yang kuat dan signifikan secara statistik antara adopsi teknologi digital dan efisiensi operasional di industri manufaktur skala kecil. Secara khusus, teknologi seperti otomatisasi, IoT, dan analitik data menunjukkan dampak positif terhadap indikator kinerja utama, seperti kecepatan produksi, efisiensi biaya, dan kualitas produk.

Koefisien otomatisasi yang positif dan sangat signifikan ( $\beta = 0,305$ ,  $p = 0,001$ ) menunjukkan bahwa otomatisasi merupakan salah satu teknologi yang paling berdampak untuk meningkatkan efisiensi operasional. Otomatisasi meningkatkan proses produksi dengan mengurangi kesalahan manusia, meningkatkan kecepatan produksi, dan menurunkan biaya tenaga kerja. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, di mana otomatisasi ditemukan secara signifikan meningkatkan kinerja manufaktur dengan menyederhanakan proses dan memungkinkan produksi yang berkelanjutan (Ghobakhloo, 2020). Di perusahaan yang lebih kecil, otomatisasi memungkinkan skalabilitas tanpa peningkatan biaya tenaga kerja yang proporsional, sebuah faktor penting bagi produsen kecil yang memiliki sumber daya terbatas (Filippi, Bannò, & Trento, 2023).

Adopsi teknologi IoT menunjukkan pengaruh positif yang signifikan terhadap efisiensi operasional ( $\beta = 0,276$ ,  $p = 0,000$ ). Perangkat dan sistem yang mendukung IoT memungkinkan pemantauan lini produksi secara real-time, pemeliharaan prediktif, dan pengambilan keputusan yang lebih baik berdasarkan wawasan berbasis data (Porter & Heppelmann, 2014). Kemampuan untuk mengumpulkan dan menganalisis data tentang kinerja mesin dan hambatan operasional membantu produsen kecil mengoptimalkan proses dan mengurangi waktu henti (Lu & Xu, 2019). Temuan ini konsisten dengan penelitian internasional yang menekankan IoT sebagai pendorong utama efisiensi dan daya saing di industri manufaktur (Nalajala et al., 2023).

Analisis data juga menunjukkan pengaruh positif yang signifikan terhadap efisiensi operasional ( $\beta = 0,198$ ,  $p = 0,007$ ). Penggunaan analitik data memungkinkan produsen untuk membuat keputusan yang tepat tentang penjadwalan produksi, manajemen inventaris, dan alokasi sumber daya (Shang et al., 2024; Zhao et al., 2023; Zu et al., 2022). Dengan memanfaatkan data, produsen skala kecil dapat mengidentifikasi inefisiensi, memperkirakan permintaan, dan mengoptimalkan parameter produksi, yang menghasilkan peningkatan kinerja operasional Yasmin et al. (2020). Hal ini mendukung temuan sebelumnya bahwa pengambilan keputusan berbasis data dapat menghasilkan hasil yang lebih baik di lingkungan produksi (Büyükoçkan & Göçer, 2018).

Koefisien untuk *cloud computing* ( $\beta = 0,121$ ,  $p = 0,129$ ) adalah positif tetapi tidak signifikan secara statistik. Hasil ini menunjukkan bahwa, meskipun *cloud computing* menawarkan manfaat potensial seperti akses jarak jauh ke data dan penyimpanan yang dapat diskalakan, pengadopsiannya mungkin belum meluas atau sepenuhnya terintegrasi ke dalam operasi produsen skala kecil. Manfaat *cloud computing* mungkin juga lebih terasa di perusahaan yang lebih besar dengan penyimpanan data dan kebutuhan komputasi yang lebih kompleks (Clemente-Almendros et al., 2024; Tian et al., 2023). Untuk produsen skala kecil, masalah biaya dan keamanan mungkin masih menjadi penghalang untuk sepenuhnya mengadopsi solusi berbasis cloud (Asiri et al., 2024; Jain et al., 2024; Yi et al., 2024).

Beberapa tantangan dalam adopsi teknologi digital dilaporkan oleh responden, termasuk biaya yang tinggi, kurangnya tenaga kerja yang terampil, dan masalah keamanan data. Tantangan-tantangan ini sejalan dengan temuan dari penelitian sebelumnya, yang mengidentifikasi kendala keuangan dan kesenjangan keterampilan tenaga kerja sebagai hambatan utama dalam transformasi digital di industri skala kecil (Aghimien et al., 2021; Hasan & Khan, 2024). Produsen kecil sering kali kesulitan dengan biaya awal

teknologi digital dan tidak memiliki akses ke keahlian khusus yang diperlukan untuk implementasi dan integrasi (Khasawneh & Dweiri, 2024; Prashant Kumar et al., 2022).

Studi ini memberikan beberapa kontribusi penting terhadap literatur tentang transformasi digital dan efisiensi operasional di industri manufaktur skala kecil:

1. **Bukti Empiris:** Studi ini memberikan bukti empiris yang menghubungkan adopsi teknologi digital-khususnya otomatisasi, IoT, dan analitik data-terhadap peningkatan efisiensi operasional, sehingga mengisi kesenjangan kritis dalam penelitian yang ada.
2. **Fokus pada Produsen Skala Kecil:** Meskipun sebagian besar penelitian yang ada berfokus pada perusahaan besar, penelitian ini secara unik berkontribusi untuk memahami tantangan dan manfaat spesifik yang dihadapi oleh produsen skala kecil selama transformasi digital.
3. **Analisis Kuantitatif:** Dengan menggunakan regresi linier berganda, penelitian ini menawarkan penilaian kuantitatif terhadap hubungan antara adopsi teknologi digital dan efisiensi, yang berkontribusi pada penelitian yang terus berkembang yang menggunakan metodologi yang ketat untuk mengukur dampak digitalisasi (Pankaj Kumar et al., 2023).

Studi ini mendukung dan memperluas kerangka teori yang ada tentang dampak teknologi digital terhadap kinerja operasional. Temuan ini konsisten dengan kerangka kerja Technology-Organization-Environment (TOE), yang menekankan bahwa adopsi teknologi dipengaruhi oleh kesiapan organisasi, ketersediaan teknologi, dan tekanan lingkungan (Tornatzky & Fleischer, 1990). Penelitian ini menegaskan bahwa teknologi digital seperti otomatisasi, IoT, dan analisis data telah menjadi komponen penting dari lanskap teknologi di bidang manufaktur dan merupakan pendorong utama efisiensi operasional. Selain itu, penelitian ini berkontribusi pada teori Resource-Based View (RBV), yang menyatakan bahwa perusahaan mendapatkan keunggulan kompetitif melalui konfigurasi sumber daya yang unik (Barney, 1991). Teknologi digital, dalam konteks ini, merupakan sumber daya yang berharga, langka, dan sulit ditiru yang meningkatkan kemampuan operasional dan daya saing perusahaan kecil di pasar yang semakin digital.

Temuan ini memberikan wawasan yang dapat ditindaklanjuti untuk produsen skala kecil yang mempertimbangkan transformasi digital. Otomasi, IoT, dan analisis data harus diprioritaskan karena menawarkan pengembalian investasi terbesar dalam hal efisiensi operasional. Hambatan adopsi teknologi yang diidentifikasi dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pembuat kebijakan harus fokus pada penyediaan dukungan keuangan dan program pelatihan yang disesuaikan dengan produsen kecil. Kemitraan publik-swasta dapat berperan dalam mengurangi biaya pengadopsian teknologi digital dan meningkatkan keterampilan tenaga kerja agar dapat mengelola alat digital dengan lebih baik (Asiri et al., 2024; Jain et al., 2024; Yi et al., 2024). Penyedia teknologi digital harus mengenali kebutuhan dan kendala unik dari produsen skala kecil. Menawarkan solusi yang lebih terjangkau, terukur, dan ramah pengguna dapat membantu mempercepat adopsi digital di sektor ini.

Penelitian di masa depan harus berfokus pada studi longitudinal untuk menilai dampak jangka panjang dari adopsi teknologi digital terhadap efisiensi operasional. Meskipun penelitian ini memberikan gambaran singkat, memahami keberlanjutan peningkatan efisiensi ini dari waktu ke waktu akan menambah wawasan yang berharga. Perbandingan lintas industri dengan memperluas penelitian untuk membandingkan adopsi digital pada produsen skala kecil di berbagai industri dapat memberikan pemahaman yang lebih bernuansa tentang bagaimana faktor-faktor spesifik sektoral memengaruhi transformasi digital. Penelitian di masa depan dapat mengeksplorasi peran kebijakan pemerintah dalam mendorong atau menghambat adopsi digital

di industri skala kecil. Studi perbandingan antara negara-negara dengan tingkat dukungan pemerintah yang berbeda terhadap digitalisasi dapat memberikan rekomendasi kebijakan yang berharga.

## Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan hubungan yang jelas dan signifikan antara adopsi teknologi digital dan efisiensi operasional di industri manufaktur skala kecil. Dengan berfokus pada teknologi seperti otomatisasi, IoT, dan analisis data, produsen kecil dapat mencapai peningkatan substansial dalam hal kecepatan produksi, pengurangan biaya, dan kualitas. Namun, hambatan seperti kendala keuangan dan kesenjangan keterampilan terus menghambat adopsi yang lebih luas. Dengan mengatasi tantangan spesifik yang dihadapi perusahaan-perusahaan ini, para pembuat kebijakan dan pemimpin industri dapat mendorong digitalisasi lebih lanjut, mendorong daya saing dan keberlanjutan di sektor manufaktur. Temuan studi ini memberikan wawasan penting bagi produsen, pembuat kebijakan, dan penyedia teknologi yang ingin mengoptimalkan manfaat transformasi digital di sektor manufaktur. Penelitian di masa depan harus mengeksplorasi dampak jangka panjang dari transformasi digital dan mempertimbangkan peran kebijakan pemerintah dalam mendukung produsen skala kecil.

## Referensi

- Aghimien, D., Aigbavboa, C., Meno, T., & Ikuabe, M. (2021). Unravelling the risks of construction digitalisation in developing countries. *Construction Innovation*, 21(3), 456–475. <https://doi.org/10.1108/CI-02-2020-0026>
- Ali, A., Warren, D., & Mathiassen, L. (2017). Cloud-based business services innovation: A risk management model. *International Journal of Information Management*, 37(6), 639–649. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.05.008>
- Alva-Breña, K. A., Espíritu-Asensios, A. K., & Vargas, C. Z. (2024). Lean Manufacturing tools integrated with Industry 4.0 technologies for operational efficiency: Systematic review. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.555>
- Asiri, A. M., Al-Somali, S. A., & Maghrabi, R. O. (2024). The Integration of Sustainable Technology and Big Data Analytics in Saudi Arabian SMEs: A Path to Improved Business Performance. *Sustainability*, 16(8), 3209. <https://doi.org/10.3390/su16083209>
- Büyükköçkan, G., & Göçer, F. (2018). Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*, 97, 157–177. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.010>
- Clemente-Almendros, J. A., Nicoara-Popescu, D., & Pastor-Sanz, I. (2024). Digital transformation in SMEs: Understanding its determinants and size heterogeneity. *Technology in Society*, 77, 102483. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102483>
- Filippi, E., Bannò, M., & Trento, S. (2023). Automation technologies and their impact on employment: A review, synthesis and future research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 191, 122448. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122448>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26.

<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>

- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>
- Hasan, M., & Khan, T. (2024). The Role of Industry 4.0 Enablers in Enhancing Supply Chain Visibility and Efficiency. *SSRN Electronic Journal*, 1–35. Retrieved from <https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/4958449.pdf?abstractid=4958449&mirid=1>
- Jain, R., Palaniappan, D., Bekuma, Y., & Parmar, K. (2024). Cloud-Based MIS Model for Medium and Small Enterprises in Ethiopia. *International Research Journal of Multidisciplinary Scope*, 05(01), 766–780. <https://doi.org/10.47857/irjms.2024.v05i01.0366>
- Joshi, A., Benitez, J., Huygh, T., Ruiz, L., & De Haes, S. (2022). Impact of IT governance process capability on business performance: Theory and empirical evidence. *Decision Support Systems*, 153, 113668. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113668>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2019). Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. In *Proceedings of the 2019 20th International Conference on Research and Education in Mechatronics, REM 2019*. Forschungsunion. Retrieved from <https://books.google.co.id/books?id=AsfOoAEACAAJ>
- Khasawneh, M. A., & Dweiri, F. (2024). Analyzing the Digital Infrastructure Enabling Project Management Success: A Hybrid FAHP-FTOPSIS Approach. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(17), 8080. <https://doi.org/10.3390/app14178080>
- Kumar, Pankaj, Nowinska, A., & Schramm, H. (2023). The signaling effect of supplier's customer network instability on service price: Insights from the container shipping charter market. *Journal of Operations Management*, 69(8), 1282–1319. <https://doi.org/10.1002/joom.1254>
- Kumar, Prashant, Kushwaha, A. K., Kar, A. K., Dwivedi, Y. K., & Rana, N. P. (2022). Managing buyer experience in a buyer–supplier relationship in MSMEs and SMEs. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04954-3>
- Lu, Y., & Xu, X. (2019). Cloud-based manufacturing equipment and big data analytics to enable on-demand manufacturing services. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 57, 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.11.006>
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2019). Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 233(5), 1342–1361. <https://doi.org/10.1177/0954405417736547>
- Nalajala, P., Gudikandhula, K., Shailaja, K., Tigadi, A., Rao, S. M., & Vijayan, D. S. (2023). Adopting *Internet of Things* for manufacturing firms business model development. *The Journal of High Technology Management Research*, 34(2), 100456. <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2023.100456>
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. *Harvard Business Review*, 92, 18. Retrieved from <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:167014495>

- Raut, R. D., Priyadarshinee, P., Gardas, B. B., & Jha, M. K. (2018). Analyzing the factors influencing cloud computing adoption using three stage hybrid SEM-ANN-ISM (SEANIS) approach. *Technological Forecasting and Social Change*, *134*, 98–123. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.05.020>
- Reis, J., Amorim, M., Melão, N., & Matos, P. (2018). Digital transformation: A literature review and guidelines for future research. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 745, pp. 411–421). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77703-0\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77703-0_41)
- Saad, S. M., Bahadori, R., Bhoovar, C., & Zhang, H. (2024). Industry 4.0 and Lean Manufacturing – a systematic review of the state-of-the-art literature and key recommendations for future research. *International Journal of Lean Six Sigma*, *15*(5), 997–1024. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-02-2022-0021>
- Sasso, R. A., Filho, M. G., & Ganga, G. M. D. (2024). Synergizing lean management and circular economy: Pathways to sustainable manufacturing. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. <https://doi.org/10.1002/csr.2962>
- Shang, M., Jia, C., Zhong, L., & Cao, J. (2024). What determines the performance of digital transformation in manufacturing enterprises? A study on the linkage effects based on fs/QCA method. *Journal of Cleaner Production*, *450*, 141856. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141856>
- Tian, M., Chen, Y., Tian, G., Huang, W., & Hu, C. (2023). The role of digital transformation practices in the operations improvement in manufacturing firms: A practice-based view. *International Journal of Production Economics*, *262*, 108929. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108929>
- Yasmin, M., Tatoglu, E., Kilic, H. S., Zaim, S., & Delen, D. (2020). Big data analytics capabilities and firm performance: An integrated MCDM approach. *Journal of Business Research*, *114*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.03.028>
- Yi, X., Lu, S., Li, D., & Liu, W. (2024). Manufacturing enterprises digital collaboration empowered by Industrial Internet Platform: A multi-agent stochastic evolutionary game. *Computers & Industrial Engineering*, *194*, 110415. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110415>
- Zhao, X., Huang, Q., Zhang, H., & Zhao, L. (2023). Can digital transformation in manufacturing enterprises mitigate financial distress? *Technology Analysis & Strategic Management*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/09537325.2023.2290161>
- Zu, W., Gu, G., & Lei, S. (2022). Does Digital Transformation in Manufacturing Affect Trade Imbalances? Evidence from US–China Trade. *Sustainability*, *14*(14), 8381. <https://doi.org/10.3390/su14148381>