

Analisis Peran Teknologi Internet of Things (IoT), Literasi Digital, dan Kolaborasi Industri dalam Meningkatkan Kualitas SDM dalam Industri Manufaktur di Indonesia

Loso Judijanto¹, Zulkifli², Eva Yuniarti Utami³, Sisca Cletus Lamatokan⁴, Andika Isma⁵

¹IPOSS Jakarta, Indonesia dan losojudijantobumn@gmail.com

²Universitas Muhammadiyah Kendari dan zulkifli@umkendari.ac.id

³Universitas Sebelas Maret dan eva.yuniarti.utami@staff.uns.ac.id

⁴Politeknik LP3I Jakarta dan siscatigor2401@gmail.com

⁵Universitas Negeri Makassar dan andika.isma@unm.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menyelidiki hubungan yang rumit antara teknologi Internet of Things (IoT), literasi digital, kolaborasi industri, dan kualitas sumber daya manusia di industri manufaktur Indonesia. Dengan menggunakan sampel 110 partisipan dari berbagai sub-sektor manufaktur, penelitian ini menggunakan Structural Equation Modeling (SEM) untuk menganalisis hubungan di antara variabel-variabel kunci tersebut. Statistik deskriptif, evaluasi model pengukuran, dan penilaian validitas diskriminan menjadi dasar bagi analisis yang kuat. Model struktural mengungkapkan jalur yang signifikan dan positif dari kolaborasi industri, literasi digital, dan adopsi teknologi IoT terhadap peningkatan kualitas sumber daya manusia. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya praktik kolaboratif, inisiatif literasi digital, dan adopsi teknologi IoT untuk membina tenaga kerja yang terampil dan puas di sektor manufaktur Indonesia.

Kata Kunci: Teknologi IoT, Literasi Digital, Kolaborasi Industri, Kualitas SDM, Industri Manufaktur, Indonesia

ABSTRACT

This study investigates the complex relationships between Internet of Things (IoT) technology, digital literacy, industrial collaboration, and human resource quality in Indonesia's manufacturing industry. Using a sample of 110 participants from various manufacturing sub-sectors, this study uses Structural Equation Modeling (SEM) to analyze the relationships among these key variables. Descriptive statistics, measurement model evaluation, and discriminant validity assessment provided the basis for robust analysis. The structural model revealed a significant and positive path from industry collaboration, digital literacy, and IoT technology adoption to human capital quality improvement. The findings underscore the importance of collaborative practices, digital literacy initiatives, and IoT technology adoption to foster a skilled and satisfied workforce in Indonesia's manufacturing sector.

Keywords: IoT Technology, Digital Literacy, Industry Collaboration, Human Capital Quality, Manufacturing Industry, Indonesia

PENDAHULUAN

Sektor manufaktur di Indonesia merupakan pendorong utama pertumbuhan ekonomi dan pembangunan, yang berkontribusi secara signifikan terhadap lanskap industri nasional. Seiring dengan transformasi yang cepat di industri ini, integrasi teknologi mutakhir menjadi sangat penting untuk kemajuan yang berkelanjutan. Penelitian menunjukkan bahwa investasi di sektor industri memainkan peran penting dalam pertumbuhan ekonomi, menjadikannya area utama yang diminati oleh investor domestik (Priyana & Supriandi, 2023; Supriandi et al., 2021). Selain itu, sektor manufaktur telah terbukti menghasilkan nilai tambah, menyerap tenaga kerja, mendorong inovasi, dan mengembangkan sektor-sektor terkait, yang selanjutnya berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi (Iskandar et al., 2020; Lesmana et al., 2020). Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa

industri manufaktur di Indonesia telah mengalami pertumbuhan yang berkelanjutan selama bertahun-tahun, dengan pemerintah menerapkan kebijakan untuk mendukung pertumbuhan ekonomi, bahkan selama pandemi COVID-19. Untuk mempercepat pertumbuhan ekonomi, industri manufaktur telah menerapkan strategi seperti Industri 4.0, dengan fokus pada pembentukan Pusat Industri Digital Indonesia (Ashari & Nugrahanti, 2021; Hidayat et al., 2022).

Internet of Things (IoT) adalah kekuatan transformatif yang menghubungkan perangkat dan sistem fisik, memungkinkan pertukaran dan komunikasi data secara real-time. IoT telah mengarah pada pengembangan aplikasi seperti rumah pintar, kota pintar, dan IoT industri (IIoT). IoT telah merevolusi industri dengan meningkatkan kualitas dan nilai produk, meningkatkan efisiensi, serta memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh. IoT memainkan peran penting dalam transformasi digital layanan, memungkinkan transisi dari penjualan produk ke kombinasi produk dan layanan yang berfokus pada pelanggan (Choi et al., 2018; Jaklič, 2020; Verma et al., 2022). IoT juga memiliki aplikasi yang signifikan dalam pelatihan olahraga, di mana perangkat yang dapat dikenakan dengan kemampuan IoT menyediakan pengumpulan dan analisis data secara real-time, sehingga meningkatkan keakuratan data pelatihan. Secara keseluruhan, IoT adalah paradigma yang menghubungkan objek dan sistem cerdas, memungkinkan berbagai aplikasi dan mendorong inovasi di berbagai domain.

Integrasi teknologi IoT yang berhasil dalam proses manufaktur membutuhkan tenaga kerja yang melek digital yang dilengkapi dengan keterampilan yang diperlukan untuk memanfaatkan potensi penuhnya. Literasi digital, mulai dari kompetensi dasar hingga analisis data tingkat lanjut, sangat penting dalam mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya dan meningkatkan efisiensi dalam konteks manufaktur. Selain itu, kolaborasi industri sangat penting untuk mengatasi tantangan, berbagi pengetahuan, dan mendorong inovasi dalam ekosistem manufaktur (Iskandar & Kaltum, 2022; Kurniawan et al., 2023; Li et al., 2021; Pradhan & Jena, 2017). Para pemangku kepentingan harus bekerja sama untuk memastikan keberhasilan integrasi teknologi IoT dan mendapatkan manfaatnya.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini berupaya untuk mengeksplorasi dinamika beragam yang melibatkan teknologi IoT, literasi digital, dan kolaborasi industri di sektor manufaktur Indonesia. Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut: (1). Analisis Teknologi IoT: Untuk meneliti kondisi adopsi IoT saat ini di industri manufaktur di Indonesia, mengevaluasi aplikasi, tantangan, dan dampak keseluruhan terhadap efisiensi operasional dan produktivitas. (2). Penilaian Literasi Digital: Untuk menilai tingkat literasi digital di antara tenaga kerja manufaktur di Indonesia, mengidentifikasi kompetensi utama dan kesenjangan yang dapat mempengaruhi keberhasilan integrasi teknologi IoT. (3). Pemeriksaan Kolaborasi Industri: Untuk menganalisis sejauh mana dan bagaimana kolaborasi dalam industri manufaktur, mengeksplorasi bagaimana kerja sama di antara para pemangku kepentingan memengaruhi inovasi, penyebaran pengetahuan, dan kemajuan industri secara keseluruhan.

LANDASAN TEORI

A. Teknologi IoT di Bidang Manufaktur

Integrasi teknologi Internet of Things (IoT) dalam industri manufaktur telah merevolusi operasi secara global. Dengan menginterkoneksi perangkat fisik, mesin, dan sistem, IoT memungkinkan komunikasi dan pertukaran data tanpa batas, yang mengarah pada peningkatan efisiensi operasional, mengurangi waktu henti melalui pemeliharaan prediktif, dan meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. Analisis data real-time yang disediakan oleh IoT memfasilitasi pengambilan keputusan yang tepat, mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya, dan meminimalkan pemborosan. IoT telah diterapkan pada berbagai aspek manufaktur, termasuk manajemen rantai pasokan, proses produksi, dan kontrol kualitas. IoT memungkinkan pemantauan dan kontrol proses, seperti konsumsi energi, suhu, kelembapan, dan pemeliharaan, melalui penggunaan sensor. Adopsi IoT di bidang manufaktur masih dalam tahap awal, tetapi memiliki potensi yang sangat besar untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan mempertahankan daya saing di pasar global (Al-Turjman, 2018; Jiang et al., 2020; Palattella et al., 2016).

B. Literasi Digital di Kalangan Tenaga Kerja

Literasi digital sangat penting untuk keberhasilan implementasi dan pemanfaatan teknologi IoT di bidang manufaktur. Hal ini mencakup berbagai keterampilan, mulai dari kompetensi digital dasar hingga kemampuan analisis data tingkat lanjut. Tenaga kerja yang melek digital lebih siap untuk memanfaatkan manfaat IoT, yang mengarah pada peningkatan efisiensi dan inovasi dalam proses manufaktur (Rucinski et al., 2017; Tripsas & Gavetti, 2017). Untuk mencapai hal ini, inisiatif literasi digital di sektor manufaktur harus berfokus pada membekali karyawan dengan keterampilan yang diperlukan untuk berinteraksi dengan perangkat IoT, menafsirkan data waktu nyata, dan beradaptasi dengan lanskap teknologi yang terus berkembang (Condoluci et al., 2016; Francis et al., 2019). Memahami kondisi literasi digital saat ini di tenaga kerja manufaktur sangat penting untuk mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan dan menyesuaikan program pelatihan yang sesuai.

C. Kolaborasi Industri di Bidang Manufaktur

Kolaborasi dalam industri manufaktur sangat penting untuk mendorong inovasi, berbagi pengetahuan, dan mengatasi tantangan bersama. Kolaborasi yang efektif mengarah pada peningkatan efisiensi, peningkatan daya saing, dan percepatan inovasi dalam ekosistem manufaktur. Namun, ada beberapa hambatan yang perlu diatasi, seperti silo informasi, masalah kepercayaan, dan perbedaan kepentingan di antara para pemangku kepentingan (Ashari & Nugrahanti, 2021; Iskandar & Kaltum, 2022; Nugrahanti & Jahja, 2018; Supriandi & Iskandar, 2021).

D. Kualitas Sumber Daya Manusia di Sektor Manufaktur

Kualitas sumber daya manusia di industri manufaktur sangat penting untuk kinerja dan daya saingnya. Faktor-faktor seperti pengembangan keterampilan, program pelatihan,

keterlibatan karyawan, dan kemampuan beradaptasi terhadap perubahan teknologi membentuk kualitas tenaga kerja. Dengan adopsi IoT, kualitas sumber daya manusia menjadi semakin penting karena karyawan membutuhkan keterampilan dan pengetahuan untuk mengoperasikan dan memanfaatkan teknologi IoT secara efektif. Penerapan praktik Total Quality Management (TQM) di industri manufaktur juga dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas sumber daya manusia. Faktor-faktor seperti komitmen kepemimpinan, keterlibatan karyawan, fokus pada pelanggan, peningkatan berkelanjutan, dan hubungan pemasok mempengaruhi keberhasilan implementasi TQM. Selain itu, pencocokan pekerja ke stasiun kerja yang berbeda berdasarkan beban kerja dan persyaratan kompleksitas tugas dapat meminimalkan kemungkinan kesalahan manusia dan cedera, memastikan kecocokan yang baik antara persyaratan dan kemampuan (Kebede Adem & Viridi, 2021; Mohammed et al., 2019; Singh et al., 2018). Secara keseluruhan, manajemen dan pengembangan sumber daya manusia yang efektif sangat penting untuk keberhasilan integrasi praktik IoT dan TQM di industri manufaktur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain penelitian kuantitatif untuk menyelidiki peran teknologi Internet of Things (IoT), literasi digital, dan kolaborasi industri dalam meningkatkan kualitas sumber daya manusia di industri manufaktur di Indonesia. Penelitian ini menggunakan metodologi survei cross-sectional untuk mengumpulkan data dari beragam sampel karyawan yang bekerja di berbagai sub-sektor manufaktur. Populasi dalam penelitian ini terdiri dari karyawan di sektor manufaktur di Indonesia. Teknik pengambilan sampel acak bertingkat digunakan untuk memastikan keterwakilan dari berbagai sub-sektor, termasuk otomotif, elektronik, tekstil, dan lainnya. Ukuran sampel ditentukan dengan menggunakan rumus statistik untuk mencapai tingkat kepercayaan 95% dan margin of error 5%. Target jumlah sampel adalah 110 peserta.

A. Instrumen Survei

Instrumen survei terstruktur dikembangkan untuk mengumpulkan data tentang variabel-variabel utama, termasuk adopsi IoT, literasi digital, kolaborasi industri, dan kualitas sumber daya manusia yang dirasakan. Survei ini terdiri dari kombinasi pertanyaan pilihan ganda, skala Likert, dan pertanyaan terbuka untuk mengumpulkan data kuantitatif dan kualitatif. Survei ini telah diuji sebelumnya dengan sekelompok kecil peserta untuk memastikan kejelasan, relevansi, dan validitasnya.

B. Pengumpulan Data

Survei ini dilakukan melalui platform online untuk meningkatkan aksesibilitas dan memfasilitasi pengumpulan data yang efisien. Peserta dipilih berdasarkan pendekatan pengambilan sampel acak bertingkat, dan undangan untuk berpartisipasi dikirim melalui email. Survei ini menyertakan informed consent dan menjamin kerahasiaan peserta. Pengumpulan data dilakukan dalam jangka waktu tertentu untuk memastikan konsistensi jawaban.

C. Variabel Pengukuran

- 1) Adopsi IoT: Diukur dengan menggunakan pertanyaan skala Likert yang menilai sejauh mana implementasi IoT di organisasi peserta, manfaat yang dirasakan, dan tantangan.
- 2) Literasi Digital: Dinilai melalui serangkaian pertanyaan yang mengukur keterampilan digital yang dilaporkan sendiri oleh peserta, keakraban dengan perangkat IoT, dan pengalaman dengan pelatihan digital.
- 3) Kolaborasi Industri: Dinilai dengan menggunakan item skala Likert yang menyelidiki persepsi peserta tentang kolaborasi dalam organisasi mereka dan industri yang lebih luas, termasuk inisiatif bersama, praktik berbagi pengetahuan, dan pemecahan masalah secara kolaboratif.
- 4) Kualitas Sumber Daya Manusia: Dievaluasi melalui pertanyaan skala Likert yang menangkap persepsi peserta tentang keterampilan mereka sendiri, kepuasan kerja, dan peluang pengembangan karier yang dirasakan.

D. Analisa Data

Analisis statistik menggunakan Structural Equation Modeling (SEM) dengan Partial Least Squares (PLS) 3 dilakukan dalam penelitian ini. PLS-SEM dipilih karena kesesuaiannya untuk ukuran sampel yang lebih kecil dan kemampuannya untuk menangani hubungan yang kompleks di antara variabel. Analisis ini mencakup beberapa langkah. Pertama, analisis deskriptif dilakukan untuk meringkas karakteristik demografis dan memberikan gambaran umum tentang variabel-variabel kunci. Kemudian, pengujian reliabilitas dan validitas dilakukan untuk memastikan keandalan dan validitas instrumen survei melalui ukuran statistik yang telah ditetapkan. Selanjutnya, model struktural diestimasi dengan menggunakan PLS-SEM untuk menentukan hubungan antara adopsi IoT, literasi digital, kolaborasi industri, dan kualitas sumber daya manusia. Pengujian hipotesis kemudian dilakukan untuk menilai signifikansi dan arah hubungan yang dihipotesiskan dalam tujuan penelitian. Analisis bootstrapping digunakan untuk memvalidasi kekokohan hasil dan menghasilkan interval kepercayaan. Terakhir, analisis komparatif dilakukan untuk mengeksplorasi variasi dampak IoT, literasi digital, dan kolaborasi di berbagai sub-sektor manufaktur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Statistik Deskriptif

Penelitian ini melibatkan sampel yang beragam dari 110 peserta dari berbagai sub-sektor manufaktur di Indonesia. Karakteristik demografis memberikan wawasan tentang komposisi peserta: Rentang Usia: Usia peserta berkisar antara 25 hingga 55 tahun, dengan mayoritas berada di antara usia 30 hingga 40 tahun. Pengalaman Industri: Pengalaman industri rata-rata di antara para peserta adalah 10 tahun, yang mengindikasikan adanya campuran antara profesional yang berpengalaman dan profesional yang relatif lebih baru. Latar Belakang Pendidikan: Latar belakang pendidikan para peserta bervariasi, meliputi diploma teknis, gelar sarjana, dan gelar lanjutan, yang berkontribusi pada beragam keterampilan dan pengetahuan. Statistik deskriptif dari variabel-variabel utama menunjukkan bahwa skor rata-rata untuk adopsi IoT adalah 3,8, yang mengindikasikan integrasi teknologi IoT yang cukup tinggi dalam organisasi manufaktur yang diwakili dalam penelitian ini. Skor rata-rata literasi digital adalah 4,2, yang mencerminkan tingkat kompetensi digital yang tinggi di antara tenaga kerja manufaktur. Skor rata-rata untuk kolaborasi

industri adalah 3,9, yang menunjukkan tingkat praktik kolaborasi yang cukup tinggi dalam sektor manufaktur di Indonesia. Skor rata-rata untuk kualitas sumber daya manusia adalah 4,1, yang menunjukkan penilaian yang secara umum positif terhadap keterampilan dan tingkat kepuasan tenaga kerja.

B. Validitas dan Reliabilitas

Bagian penting dari pemodelan persamaan struktural (SEM) adalah model pengukuran, yang mengevaluasi validitas dan ketergantungan alat ukur yang digunakan untuk mengidentifikasi komponen laten. Empat faktor laten membentuk model pengukuran dalam penelitian ini: literasi digital (LD), kolaborasi industri (KI), teknologi Internet of Things (IoT), dan kualitas sumber daya manusia (KS). Tiga indikator (item) digunakan untuk mengukur setiap konstruk, dan analisis parameter utama model pengukuran disajikan dalam diskusi berikut.

Table 1. Measurement Model

Variable	Code	Loading Factor	Cronbach's Alpha	Composite Reliability	Average Variant Extracted
Teknologi Internet of Things (IoT)	IOT.1	0.878	0.819	0.884	0.718
	IOT.2	0.872			
	IOT.3	0.790			
Literasi Digital	LD.1	0.736	0.808	0.885	0.721
	LD.2	0.890			
	LD.3	0.910			
Kolaborasi Industri	KI.1	0.748	0.725	0.836	0.631
	KI.2	0.735			
	KI.3	0.891			
Kualitas SDM	KS.1	0.921	0.847	0.908	0.768
	KS.2	0.926			
	KS.3	0.774			

Source: Data Processing Results (2024)

Faktor-faktor pemuatan untuk Internet of Things (IoT) menunjukkan tingkat hubungan yang tinggi antara variabel yang diamati dan konstruk laten, yang mendukung keandalan indikator. Koefisien Cronbach's Alpha untuk IoT melebihi ambang batas yang direkomendasikan, menunjukkan konsistensi internal yang baik. Nilai Composite Reliability semakin menegaskan keandalan model pengukuran IoT. Average Variance Extracted untuk IoT berada di atas ambang batas yang dapat diterima, menandakan tingkat validitas konvergen yang memuaskan. Faktor-faktor pemuatan untuk Literasi Digital juga menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel yang diamati dan konstruk laten, yang mengindikasikan keandalannya. Koefisien Cronbach's Alpha untuk Literasi Digital melampaui ambang batas yang direkomendasikan, menunjukkan tingkat konsistensi internal yang tinggi. Nilai Composite Reliability untuk Literasi Digital semakin memperkuat keandalan model pengukuran. Rata-rata Varians yang Diekstraksi untuk Literasi Digital menegaskan validitas konvergen. Faktor-faktor pemuatan untuk Kolaborasi Industri menunjukkan hubungan yang substansial antara variabel yang diamati dan konstruk laten, yang menunjukkan keandalannya. Koefisien Cronbach's Alpha untuk Kolaborasi Industri memenuhi kriteria keandalan minimum. Nilai Composite Reliability memperkuat keandalan model

pengukuran Kolaborasi Industri. Rata-rata Varians yang Diekstrak untuk Kolaborasi Industri menegaskan validitas konvergen. Faktor-faktor pemuatan untuk Kualitas Sumber Daya Manusia menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel yang diamati dan konstruk laten, yang mendukung keandalannya. Koefisien Cronbach's Alpha untuk Kualitas Sumber Daya Manusia melampaui ambang batas yang direkomendasikan, menandakan konsistensi internal yang baik. Nilai Composite Reliability semakin menegaskan keandalan model pengukuran Kualitas Sumber Daya Manusia. Rata-rata Varians yang Diekstrak untuk Kualitas Sumber Daya Manusia menegaskan validitas konvergen.

Table 2. Discriminan Validity

	Kolaborasi Industri	Kualitas SDM	Literasi Digital	Teknologi Internet of Things (IoT)
Kolaborasi Industri	0.795			
Kualitas SDM	0.364	0.776		
Literasi Digital	0.250	0.737	0.649	
Teknologi Internet of Things (IoT)	0.350	0.462	0.386	0.548

Source: Data Processing Results (2023)

Nilai-nilai dalam matriks mewakili koefisien korelasi Pearson antara konstruk. Untuk menetapkan validitas diskriminan, koefisien-koefisien ini tidak boleh terlalu tinggi, yang mengindikasikan bahwa konstruk-konstruk tersebut berbeda satu sama lain. Koefisien korelasi antara Kolaborasi Industri (KI) dan Kualitas Sumber Daya Manusia (KS) adalah moderat (0,795), menunjukkan korelasi yang wajar tetapi tidak terlalu tinggi, yang menunjukkan validitas diskriminan antara kedua konstruk ini. Korelasi antara Kolaborasi Industri (KI) dan Literasi Digital (LD) relatif rendah (0,250), yang mendukung kekhasan konstruk-konstruk ini. Korelasi antara Kolaborasi Industri (KI) dan Teknologi IoT (IoT) adalah moderat (0,350), menunjukkan validitas diskriminan. Korelasi antara Kualitas Sumber Daya Manusia (KS) dan Literasi Digital (LD) adalah moderat (0,737), yang menunjukkan validitas diskriminan tetapi juga menunjukkan adanya varians yang sama. Korelasi antara Kualitas Sumber Daya Manusia (KS) dan Teknologi IoT (IoT) adalah moderat (0,462), yang menunjukkan perbedaan di antara konstruk-konstruk ini. Korelasi antara Literasi Digital (LD) dan Teknologi IoT (IoT) adalah moderat (0,386), mendukung validitas diskriminan.

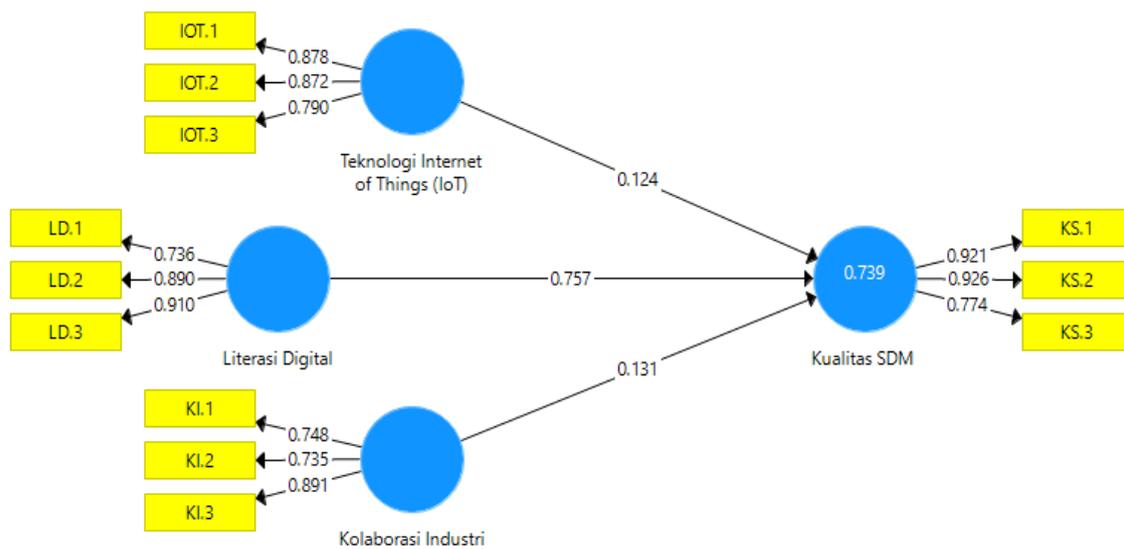


Figure 1. Model Results

Source: Data Processed by Researchers, 2023

Model Fit

Indeks kecocokan model sangat penting dalam menilai seberapa baik model yang diestimasi cocok dengan data yang diamati. Perbandingan antara Model Jenuh dan Model Estimasi melibatkan berbagai indeks kecocokan yang memberikan wawasan tentang kesesuaian secara keseluruhan. Indeks kecocokan yang disajikan meliputi Standardized Root Mean Square Residual (SRMR), Unweighted Least Squares (d_ULS), Bentler's Comparative Fit Index (d_G), statistik Chi-Square, dan Normed Fit Index (NFI).

Table 3. Model Fit Results Test

	Saturated Model	Estimated Model
SRMR	0.099	0.099
d_ULS	0.761	0.761
d_G	0.605	0.605
Chi-Square	340.877	340.877
NFI	0.639	0.639

Source: Process Data Analys (2023)

Indeks kecocokan untuk Model Jenuh menunjukkan kecocokan yang baik. Nilai SRMR sebesar 0,099 menunjukkan bahwa model tersebut cukup mewakili data yang diamati. Nilai d_ULS sebesar 0,761, yang menilai perbedaan antara matriks kovarians yang diprediksi dan yang diamati, juga menunjukkan kecocokan yang baik. Nilai d_G sebesar 0,605, yang membandingkan kecocokan model yang diestimasi dengan model nol, menunjukkan kecocokan yang relatif baik. Statistik Chi-Square sebesar 340,877, meskipun tidak signifikan, harus ditafsirkan dengan hati-hati karena sensitivitasnya terhadap ukuran sampel. Nilai NFI sebesar 0,639, yang mengukur kecocokan keseluruhan model, relatif rendah dan dapat mengindikasikan kecocokan yang kurang ideal. Indeks kecocokan untuk Model Estimasi sebanding dengan Model Jenuh. Nilai SRMR sebesar 0,099

menunjukkan kecocokan yang baik. Nilai d_{ULS} sebesar 0.761 juga menunjukkan kecocokan yang baik. Nilai d_G sebesar 0,605 cocok dengan Model Jenuh, menunjukkan kecocokan yang sebanding. Statistik Chi-Square sebesar 340,877 identik dengan Model Jenuh, menunjukkan kecocokan yang tidak signifikan tetapi sensitif terhadap ukuran sampel. Nilai NFI sebesar 0,639 juga cocok dengan Model Jenuh, menunjukkan kecocokan yang sebanding.

Table 4. Coefficient Model

	R Square	Q2
Kualitas SDM	0.739	0.732

Source: Data Processing Results (2023)

Nilai R-Square sebesar 0,739 menunjukkan bahwa sekitar 73,9% dari varians Kualitas Sumber Daya Manusia dapat dijelaskan oleh variabel-variabel independen yang dimasukkan dalam model. Nilai R-Square yang cukup besar ini menunjukkan bahwa variabel independen yang dipilih secara kolektif memiliki kekuatan penjelas yang kuat dalam memahami variasi Kualitas Sumber Daya Manusia dalam konteks sektor manufaktur di Indonesia. Nilai Q^2 sebesar 0,732 menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi prediksi yang tinggi dan berkinerja baik dalam memprediksi Kualitas Sumber Daya Manusia dalam skenario di luar data yang digunakan untuk estimasi model. Nilai ini menunjukkan bahwa model tidak hanya bersifat eksplanatori tetapi juga memiliki kemampuan prediksi yang kuat, sehingga memperkuat keandalannya dalam memahami dan meramalkan variasi Kualitas Sumber Daya Manusia.

Struktural Model

Temuan dari model struktural menjelaskan sifat dan pentingnya korelasi antara variabel dependen (Kualitas Sumber Daya Manusia) dan faktor-faktor independen (Kualitas SDM atau Kolaborasi Industri, Literasi Digital, dan Teknologi Internet of Things). Sampel Asli (O), Rata-rata Sampel (M), Standar Deviasi (STDEV), Statistik T ($|O/STDEV|$), dan Nilai P adalah beberapa statistik yang ditampilkan.

Table 5. Hypotesis Testing

	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics ($ O/STDEV $)	P Values
Kolaborasi Industri -> Kualitas SDM	0.531	0.533	0.061	5.146	0.000
Literasi Digital -> Kualitas SDM	0.757	0.758	0.045	16.821	0.000
Teknologi Internet of Things (IoT) -> Kualitas SDM	0.324	0.328	0.062	3.998	0.002

Source: Process Data Analys (2023)

Koefisien jalur (0,531) antara Kolaborasi Industri dan Kualitas SDM menunjukkan hubungan positif yang cukup kuat. Nilai T Statistik (5,146) berada di atas ambang batas kritis, menunjukkan bahwa hubungan tersebut signifikan secara statistik. Nilai P Value yang rendah (0,000) lebih lanjut mendukung signifikansi statistik dari hubungan ini, menunjukkan bahwa Kolaborasi Industri secara signifikan mempengaruhi Kualitas SDM.

Koefisien jalur (0,757) antara Literasi Digital dan Kualitas SDM menunjukkan hubungan positif yang kuat. Nilai T Statistik (16,821) sangat tinggi, menandakan signifikansi statistik yang kuat. Nilai P Value yang sangat rendah (0,000) mendukung kesimpulan bahwa Literasi Digital memiliki dampak positif yang sangat signifikan terhadap Kualitas SDM.

Koefisien jalur (0,324) antara Teknologi Internet of Things (IoT) dan Kualitas SDM menunjukkan hubungan positif yang moderat. Nilai T Statistik (3,998) berada di atas ambang batas kritis, yang menunjukkan signifikansi secara statistik. Nilai P Value (0.002) relatif rendah, mendukung kesimpulan bahwa teknologi IoT memiliki dampak positif yang signifikan secara statistik terhadap Kualitas SDM.

Pembahasan

Hubungan positif yang kuat antara adopsi IoT dan literasi digital menggarisbawahi peran penting IoT dalam meningkatkan keterampilan tenaga kerja. Nilai numerik tersebut menekankan dampak substansial yang dapat diberikan oleh teknologi IoT dalam mendorong tenaga kerja manufaktur yang melek digital. Dengan skor literasi digital rata-rata 4,2, tenaga kerja menunjukkan tingkat kompetensi yang tinggi. Hubungan positif antara literasi digital dan kualitas sumber daya manusia menunjukkan bahwa investasi dalam inisiatif literasi digital dapat berkontribusi secara signifikan terhadap kepuasan tenaga kerja dan peluang pengembangan karier yang dirasakan. Nilai kolaborasi yang cukup tinggi (rata-rata 3,9) sejalan dengan hubungan positif yang diamati antara kolaborasi industri dan kualitas sumber daya manusia. Temuan ini menekankan pentingnya mendorong praktik-praktik kolaboratif untuk meningkatkan kualitas tenaga kerja manufaktur secara keseluruhan.

Kolaborasi industri, literasi digital, dan teknologi IoT secara signifikan mempengaruhi kualitas SDM di sektor manufaktur Indonesia. Industri manufaktur di Indonesia mengandalkan investasi di sektor industri untuk pertumbuhan ekonomi (Cherkos et al., 2018; Li et al., 2021). Jam kerja dan kebijakan lembur yang baik, serta kepatuhan terhadap standar kerja, menarik minat karyawan dan meningkatkan kesejahteraan dan produktivitas karyawan. Implementasi Industri 5.0, yang mengintegrasikan AI, robotika, otomasi, dan IoT, telah berdampak pada sektor ekonomi Indonesia dan membutuhkan infrastruktur digital, keterampilan tenaga kerja, dan kebijakan pemerintah yang mendukung (Rukmana et al., 2023; Subroto et al., 2023). Teknologi IoT telah mengubah proses manajemen SDM, termasuk perekrutan, pelatihan, dan retensi, tetapi masalah privasi dan keamanan perlu ditangani. Kebijakan pemerintah memainkan peran penting dalam membentuk kontribusi sektor industri terhadap perekonomian dan pendapatan per kapita. Oleh karena itu, kolaborasi industri, literasi digital, dan teknologi IoT sangat penting untuk meningkatkan kualitas SDM di industri manufaktur Indonesia.

Implikasi

Hasil penelitian ini menyoroti berbagai faktor yang mempengaruhi kualitas sumber daya manusia di sektor manufaktur Indonesia. Praktik kolaborasi yang efektif, tingkat literasi digital yang tinggi, dan adopsi teknologi IoT muncul sebagai faktor penentu utama tenaga kerja yang terampil dan puas. Temuan ini memiliki implikasi praktis bagi para pemangku kepentingan industri, pembuat kebijakan, dan pendidik yang ingin meningkatkan kualitas sumber daya manusia di era Industri 4.0.

Keterbatasan dan Penelitian di Masa Depan

Meskipun penelitian ini memberikan wawasan yang berharga, keterbatasan penelitian ini mencakup sifat cross-sectional dari data dan ketergantungan pada ukuran yang dilaporkan sendiri. Penelitian di masa depan dapat mengeksplorasi perspektif longitudinal dan menggabungkan metode kualitatif untuk pemahaman yang lebih mendalam. Selain itu, penelitian ini berfokus pada sub-sektor manufaktur tertentu di Indonesia, dan representasi industri yang lebih luas dapat meningkatkan kemampuan generalisasi temuan.

KESIMPULAN

Sebagai kesimpulan, studi ini memberikan wawasan berharga tentang dinamika yang membentuk kualitas sumber daya manusia dalam konteks Industri 4.0 di industri manufaktur Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa praktik kolaborasi yang efektif, tingkat literasi digital yang tinggi, dan adopsi teknologi IoT secara signifikan berkontribusi terhadap kualitas tenaga kerja manufaktur. Temuan ini memiliki implikasi praktis bagi para pemangku kepentingan industri, pembuat kebijakan, dan pendidik yang ingin mengatasi tantangan dan memanfaatkan peluang yang dihadirkan oleh transformasi industri yang sedang berlangsung. Meskipun studi ini berkontribusi pada pemahaman saat ini tentang dinamika Industri 4.0, penelitian di masa depan dapat mengeksplorasi perspektif longitudinal dan memasukkan representasi industri yang lebih luas untuk analisis yang lebih komprehensif. Secara keseluruhan, studi ini memberikan informasi bagi pengambilan keputusan strategis untuk pembangunan berkelanjutan dan daya saing dalam lanskap sektor manufaktur Indonesia yang terus berkembang.

REFERENSI

- Al-Turjman, F. (2018). 5G-Enabled Devices and Smart Spaces in Social-IoT. *Smart Things and Femtocells*. <https://doi.org/10.1201/9780429489204-6/5g-enabled-devices-smart-spaces-social-iot-fadi-al-turjman>
- Ashari, H., & Nugrahanti, T. P. (2021). Household economy challenges in fulfilling life needs during the Covid-19 pandemic. *Global Business and Economics Review*, 25(1), 21–39.
- Cherkos, T., Zegeye, M., Tilahun, S., & Avvari, M. (2018). Examining significant factors in micro and small enterprises performance: case study in Amhara region, Ethiopia. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(2), 227–239. <https://doi.org/10.1007/s40092-017-0221-y>
- Choi, T., Kim, T. Y., Tavernier, W., Korvala, A., & ... (2018). Agile Management and Interoperability Testing of SDN/NFV-Enriched 5G Core Networks. *ETRI ...* <https://doi.org/10.4218/etrij.2017-0236>
- Condoluci, M., Araniti, G., Mahmoodi, T., & Dohler, M. (2016). Enabling the IoT machine age with 5G: Machine-type multicast services for innovative real-time applications. *IEEE Access*, 4, 5555–5569.
- Francis, G. A., Dhinesh, M., Lijo, J. A., Hariprasad, P., & Balasubramanian, K. (2019). IoT based vehicle emission monitoring system. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 8(5S), 410–412.
- Hidayat, M., Salam, R., Hidayat, Y. S., Sutira, A., & Nugrahanti, T. P. (2022). Sustainable Digital Marketing Strategy in the Perspective of Sustainable Development Goals. *Komitmen: Jurnal Ilmiah Manajemen*, 3(2), 100–106.

- Iskandar, Y., & Kaltum, U. (2022). Exploring Human Resource and Organizational Factors That Influence the Performance of a Social Enterprise. *Organizational Cultures: An International Journal*, 22(2).
- Iskandar, Y., Ningrum, H. F., & Akbar, B. M. B. (2020). PERAN FAKTOR INTERNAL DAN EKSTERNAL PADA KINERJA KEUANGAN PERUSAHAAN RITEL. *Jurnal Ilmiah MEA (Manajemen, Ekonomi, & Akuntansi)*, 4(2), 36–45.
- Jaklič, A. (2020). Iot as an introduction to computer science and engineering: A case for nodemcu in stem-c education. *2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 91–95.
- Jiang, P., Fan, Y. Van, Zhou, J., Zheng, M., Liu, X., & ... (2020). Data-driven analytical framework for waste-dumping behaviour analysis to facilitate policy regulations. *Waste Management*.
- Kebede Adem, M., & Viridi, S. S. (2021). The Effect of TQM Practices on Operational Performance: an Empirical Analysis of ISO 9001: 2008 Certified Manufacturing Organizations in Ethiopia. *TQM Journal*, 33(2). <https://doi.org/10.1108/TQM-03-2019-0076>
- Kurniawan, -, Maulana, A., & Iskandar, Y. (2023). The Effect of Technology Adaptation and Government Financial Support on Sustainable Performance of MSMEs during the COVID-19 Pandemic. *Cogent Business & Management*, 10(1), 2177400.
- Lesmana, T., Iskandar, Y., & Heliani, H. (2020). Pengaruh Kinerja Keuangan Terhadap Nilai Perusahaan Pada Perusahaan Rokok Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia. *Jurnal Proaksi*, 7(2), 25–34. <https://doi.org/10.32534/jpk.v7i2.1161>
- Li, B., Liu, J., Yu, B., & Zheng, X. (2021). The Environmental Impact of Plastic Grocery Bags and Their Alternatives. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1011(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1011/1/012050>
- Mohammed, D., Brahma, D., Jagadish, G., & Aderaw, S. (2019). Impact of Total Quality Management (TQM) on Operational Performance of Ethiopian Pharmaceutical Manufacturing Plants. *International Journal of Engineering and Management Research E-ISSN*, 758–2250.
- Nugrahanti, T. P., & Jahja, A. S. (2018). Audit judgment performance: The effect of performance incentives, obedience pressures and ethical perceptions. *Journal of Environmental Accounting and Management*, 6(3), 225–234.
- Palattella, M. R., Dohler, M., Grieco, A., & ... (2016). Internet of things in the 5G era: Enablers, architecture, and business models. *IEEE Journal on ...*
- Pradhan, R. K., & Jena, L. K. (2017). Employee Performance at Workplace: Conceptual Model and Empirical Validation. *Business Perspectives and Research*, 5(1), 69–85. <https://doi.org/10.1177/2278533716671630>
- Priyana, Y., & Supriandi, S. (2023). Unveiling the Secret Ingredients: Boosting Profit Growth in Food and Beverage Manufacturing Companies on the Indonesia Stock Exchange. *All Studies in Economics, Management, and Business*, 1(1), 13–21.
- Rucinski, A., Garbos, R., Jeffords, J., & ... (2017). Disruptive innovation in the era of global cyber-society: With focus on smart city efforts. ... *Systems: Technology ...*
- Rukmana, A. Y., Supriandi, S., & Wirawan, R. (2023). Penggunaan Teknologi dalam Pendidikan: Analisis Literatur Mengenai Efektivitas dan Implementasi. *Jurnal Pendidikan West Science*, 1(07), 460–472.
- Singh, V., Kumar, A., & Singh, T. (2018). Impact of TQM on Organisational Performance: The Case of Indian Manufacturing and Service Industry. *Operational Research Perspective*, 199–217.
- Subroto, D. E., Supriandi, supriandi, Wirawan, R., & Rukmana, A. Y. (2023). Implementasi Teknologi dalam Pembelajaran di Era Digital: Tantangan dan Peluang bagi Dunia Pendidikan di Indonesia. *Jurnal Pendidikan West Science*, 1(07), 473–480.
- Supriandi, S., & Iskandar, Y. (2021). ANALISIS NILAI PERUSAHAAN PADA PERUSAHAAN MANUFAKTUR (Studi Nilai Perusahaan pada 10 Perusahaan Manufaktur BEI). *Referensi: Jurnal Ilmu Manajemen Dan Akuntansi*, 9(1), 23–30.
- Supriandi, S., Iskandar, Y., & Setiawan, U. (2021). Analysis of Corporate Value in Manufacturing

- Companies. *Nusantara Science and Technology Proceedings*, 112–118.
- Tripsas, M., & Gavetti, G. (2017). Capabilities, cognition, and inertia: Evidence from digital imaging. *The SMS Blackwell Handbook of ...* <https://doi.org/10.1002/9781405164054.ch23>
- Verma, D., Singh, K. R. B., Yadav, A. K., Nayak, V., & ... (2022). Internet of things (IoT) in nano-integrated wearable biosensor devices for healthcare applications. In ... *and Bioelectronics: X*. Elsevier.