



Contents lists available at [Journal IICET](https://journal.iicet.org)

**JRTI (Jurnal Riset Tindakan Indonesia)**

ISSN: 2502-079X (Print) ISSN: 2503-1619 (Electronic)

Journal homepage: <https://jurnal.iicet.org/index.php/jrti>



## Digital technology dalam teaching factory: kerangka konseptual untuk revolusi industri vokasi di indonesia

Alzet Rama<sup>1</sup>, Andri Dermawan<sup>1</sup>, Nova Chintia Rahma<sup>1</sup>, Meila Rosi Putri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Negeri Padang

### Article Info

#### Article history:

Received Mar 12<sup>th</sup>, 2024

Revised Mei 20<sup>th</sup>, 2024

Accepted Jun 11<sup>th</sup>, 2024

#### Keyword:

Teaching Factory,  
pendidikan vokasi,  
revolusi industri 4.0,  
teknologi digital

### ABSTRACT

Revolusi Industri 4.0 dan 5.0 telah mengubah lanskap pendidikan, sehingga memerlukan adaptasi terhadap teknologi digital seperti Kecerdasan Buatan (AI), Internet of Things (IoT), dan Big Data. Tujuan artikel ini adalah untuk menyajikan kerangka konseptual untuk mengintegrasikan teknologi digital ke dalam model Teaching Factory (TEFA) guna meningkatkan relevansi pendidikan di Indonesia dengan kebutuhan industri. Melalui tinjauan literatur dan analisis SWOT, studi ini mengidentifikasi potensi kolaborasi industri-pendidikan dan penciptaan lapangan kerja sebagai pendorong utama, sementara perluasan infrastruktur digital dan resistensi agama di sektor pendidikan menjadi faktor yang signifikan. Temuan menunjukkan bahwa digitalisasi TEFA dapat meningkatkan hasil belajar melalui pembelajaran berbasis simulasi (Virtual Reality/Augmented Reality), kurikulum dinamis, dan pengajaran berbasis data. Namun, kesuksesan bergantung pada peningkatan akses terhadap teknologi, peningkatan kapasitas guru, dan kolaborasi antara pemerintah, industri, dan lembaga pendidikan. Artikel ini memberikan rekomendasi strategis untuk mengoptimalkan TEFA digital sebagai sarana transformasi pendidikan vokasi dalam menanggapi tuntutan periode industri saat ini.



© 2024 The Authors. Published by IICET.

This is an open access article under the CC BY-NC-SA license

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>)

### Corresponding Author:

Alzet Rama,  
Universitas Negeri Padang  
Email: [alzetrama@unp.ac.id](mailto:alzetrama@unp.ac.id)

## Introduction

Cara orang bekerja, berkomunikasi, dan menciptakan produk dan layanan telah berubah secara signifikan sebagai hasil dari Revolusi Industri Keempat (4IR). Revolusi ini telah mengubah sektor, ekonomi, dan bahkan struktur masyarakat. Revolusi ini ditandai dengan kemajuan robot, kecerdasan buatan, Internet of Things (IoT), dan analisis data besar (Anwar, 2019). Namun, pengaruhnya tidak hanya pada sektor industri; revolusi ini juga telah mengubah pendidikan, terutama pendidikan vokasi, yang sangat penting untuk menghasilkan tenaga kerja dengan keterampilan yang diperlukan (Anwar, 2019).

Pendidikan kejuruan harus segera menyesuaikan diri untuk mengikuti kemajuan teknologi dalam menghadapi transformasi digital yang cepat ini. Untuk memastikan bahwa siswa mendapatkan keterampilan yang dapat diterapkan seperti otomatisasi, literasi digital, dan analisis data, lembaga pendidikan harus memperbarui kurikulum mereka untuk memasukkan teknologi yang sedang berkembang. Selain itu, strategi pembelajaran juga perlu diubah dari metode konvensional berbasis ceramah menjadi model pembelajaran yang lebih berbasis pengalaman, berbasis proyek, dan interaktif yang mendorong kreativitas dan pemecahan masalah (Ningtyas & Pradikto, 2025).

Selain itu, kerja sama antara industri dan institusi pendidikan kejuruan menjadi semakin penting. Para lulusan dapat memasuki dunia kerja dengan mudah jika pendidikan mereka sesuai dengan kebutuhan dunia nyata dan mereka memiliki keterampilan yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan kerja yang terus berubah. Pendidikan kejuruan berisiko menjadi ketinggalan zaman jika tidak memiliki kemampuan beradaptasi seperti itu, sehingga para pekerja di masa depan tidak siap untuk menghadapi ekonomi yang serba cepat dan berteknologi maju di era 4IR (Adha, 2020; Wujarso, 2022). Oleh karena itu, untuk menjamin agar pendidikan kejuruan tetap dapat diterapkan dan berhasil dalam lanskap ekonomi yang terus berubah ini, reformasi proaktif dalam desain kurikulum, pedagogi, dan kolaborasi dengan industri sangatlah penting.

Revolusi Industri 5.0 semakin menggeser paradigma dengan menekankan kolaborasi antara manusia dan mesin yang cerdas. Efisiensi dan otomatisasi tidak lagi menjadi satu-satunya tujuan - nilai-nilai kemanusiaan dan keberlanjutan menjadi sama pentingnya (Arifin, 2019). Dalam konteks ini, pendidikan vokasi harus menghasilkan lulusan yang tidak hanya terampil secara teknis, tetapi juga mampu beradaptasi dengan lingkungan kerja yang mengintegrasikan teknologi dengan pertimbangan sosial dan etika.

Teaching Factory (TEFA) adalah pendekatan strategis dalam pendidikan kejuruan yang menjembatani kesenjangan antara pendidikan dan industri (Rudiatna, 2022). Konsep ini mengintegrasikan proses pembelajaran dengan produksi industri yang nyata, sehingga memungkinkan siswa untuk mengalami lingkungan kerja yang sebenarnya. Namun, dengan kemajuan teknologi yang terus berkembang, TEFA juga harus berevolusi dengan mengadopsi teknologi digital agar tetap relevan.

Terlepas dari kemungkinan yang menggembirakan dalam mengintegrasikan teknologi digital ke dalam TEFA, ada sejumlah hambatan yang harus diatasi di Indonesia. Hambatan yang signifikan termasuk perbedaan regional dalam infrastruktur digital, kurangnya kemahiran di antara para profesional pengajar, dan kurikulum yang belum sepenuhnya dapat beradaptasi dengan teknologi baru. Oleh karena itu, untuk mengarahkan pengembangan TEFA yang terintegrasi secara digital di Indonesia, diperlukan kerangka kerja konseptual yang menyeluruh.

Kebutuhan industri akan pekerja dengan tingkat literasi digital yang tinggi tidak dapat diabaikan. Industri manufaktur, otomotif, agrikultur, dan jasa membangun sistem otomatis dan komponen digital yang membutuhkan SDM yang dapat bekerja dan berkolaborasi dengan teknologi tersebut.

Sebagai sumber utama tenaga kerja terampil, pendidikan kejuruan harus memimpin dalam mendidik generasi penerus untuk menghadapi tantangan yang ditimbulkan oleh transisi digital (Fadillah et al., 2024). Sebagai platform untuk pembelajaran berbasis produksi, Teaching Factory memiliki potensi strategis untuk mempercepat proses ini.

Teaching Factory (TEFA) mengadopsi pendekatan belajar sambil melakukan yang membenamkan siswa dalam pengalaman langsung, sehingga sangat cocok dengan teknologi digital yang dapat langsung diterapkan dalam lingkungan produksi dunia nyata (Dehbozorgi & CONTESTABILE, 2023). Integrasi teknologi tersebut ke dalam TEFA lebih dari sekadar penggunaan alat; hal ini memerlukan transformasi sistemik dalam desain instruksional, manajemen produksi, dan penilaian kompetensi (Hamzah et al., 2024; Maksum et al., 2025). Misalnya, penerapan sistem Enterprise Resource Planning (ERP) berbasis cloud memungkinkan siswa untuk terlibat secara digital dengan alur kerja produksi secara menyeluruh, sehingga menumbuhkan pemahaman yang komprehensif tentang operasi industri. Selain itu, teknologi Big Data dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja siswa berdasarkan hasil yang terukur dan efisiensi produksi, menawarkan data empiris untuk menginformasikan penyesuaian pedagogis.

Alat-alat canggih seperti Virtual Reality (VR) memungkinkan simulasi lingkungan kerja yang berisiko tinggi seperti bengkel otomotif atau laboratorium kimia-memberikan siswa konteks pelatihan yang realistis namun aman (Vercelli et al., 2024). Augmented Reality (AR) dapat meningkatkan penyampaian instruksional dengan melapisi informasi kontekstual pada peralatan fisik, sehingga memperkaya pengalaman belajar (Mahamad et al., 2024). Selain itu, Kecerdasan Buatan (AI) memfasilitasi pengembangan modul pembelajaran adaptif yang mempersonalisasi penyampaian konten sesuai dengan kecepatan belajar dan kesiapan kognitif masing-masing siswa.

Bahkan dengan keunggulan teknis ini, implementasi yang efektif masih bergantung pada kemahiran guru dalam menggunakan teknologi. Kemampuan yang diperlukan untuk berhasil menggabungkan teknologi digital ke dalam proses pengajaran dan manufaktur kini kurang dimiliki oleh banyak instruktur kejuruan. Kurangnya akses ke infrastruktur digital, terutama di lingkungan pendidikan yang jauh atau memiliki sumber daya yang terbatas, memperparah masalah ini. Oleh karena itu, kerja sama di antara banyak pemangku kepentingan termasuk organisasi pemerintah, rekan bisnis, dan lembaga akademik-sangat penting untuk menjamin penyediaan infrastruktur yang memadai dan pengembangan profesional yang berkelanjutan bagi para guru.

Selain itu, kurikulum perlu diperbarui untuk memasukkan keterampilan lunak dan menumbuhkan sikap digital selain memenuhi persyaratan sertifikasi industri. Kompetensi yang lebih luas yang dibutuhkan dalam konteks pekerjaan yang dimediasi secara digital sering kali diabaikan oleh banyak program kejuruan saat ini, yang terus memberikan penekanan yang tidak semestinya pada keterampilan teknis manual.

Dalam konteks ini, pengembangan kerangka kerja konseptual sangat penting untuk memandu evolusi TEFA agar selaras dengan paradigma Industri 4.0 dan 5.0. Kerangka kerja tersebut harus secara holistik mencakup dimensi teknologi, pedagogi, manajerial, dan sosio-budaya yang sesuai dengan konteks Indonesia (Teknowijoyo & Marpelina, 2022). Selain itu, kerangka kerja tersebut harus cukup fleksibel dan adaptif untuk merespons perkembangan perubahan teknologi yang cepat dan sering kali tidak linier. Peran industri juga harus didefinisikan ulang-tidak hanya sebagai pengguna akhir lulusan SMK, tetapi juga sebagai inovator dan kreator bersama dalam desain dan penyampaian pengalaman belajar yang terintegrasi secara digital.

Karena proses pengajaran dan produksi dapat disampaikan melalui modalitas hibrida atau jarak jauh, transformasi digital TEFA menawarkan peluang strategis untuk mendemokratisasi akses ke pendidikan kejuruan. Perubahan ini memungkinkan lembaga pendidikan untuk menciptakan ekosistem pembelajaran virtual yang kuat dan mengurangi ketergantungan mereka pada infrastruktur fisik. Tindakan afirmatif dan insentif yang disesuaikan harus menjadi bagian dari kebijakan pemerintah untuk memfasilitasi pergeseran ini, terutama untuk institusi yang terletak di daerah perbatasan dan daerah yang belum berkembang. Untuk tujuan menciptakan model implementasi TEFA digital yang dapat diterapkan secara lokal, pelajaran yang dapat dipetik dari literatur komparatif dan praktik terbaik internasional dapat sangat membantu.

Pada akhirnya, digitalisasi TEFA memiliki potensi besar sebagai strategi nasional untuk meningkatkan daya saing lulusan SMK dan mengurangi pengangguran terdidik. Melalui penyediaan kemampuan digital yang relevan dengan industri kepada siswa, TEFA dapat berkontribusi secara signifikan terhadap kemajuan pertumbuhan ekonomi Indonesia dan daya saing di pasar global. Oleh karena itu, tujuan dari makalah ini adalah untuk menganalisis secara konseptual keuntungan dan kerugian dari penggabungan teknologi digital ke dalam model Teaching Factory sebagai komponen dari transisi industri kejuruan yang lebih besar di Indonesia.

Revolusi Industri 4.0 dan 5.0, pendidikan kejuruan menghadapi tekanan yang semakin besar untuk menghasilkan lulusan yang tidak hanya memiliki kemahiran teknis, tetapi juga kompetensi digital yang kuat yang selaras dengan tuntutan industri modern (Rama et al., 2023). Teaching Factory (TEFA), sebagai model pembelajaran berbasis produksi, memiliki potensi strategis untuk menjembatani kesenjangan antara pengajaran di kelas dan praktik industri (Mukhidin & Mupita, 2018). Namun, integrasi teknologi digital ke dalam TEFA—seperti Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), Big Data, dan Virtual/Augmented Reality (VR/AR)—tetap terbatas dan terfragmentasi dalam konteks pendidikan kejuruan di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh beberapa hambatan sistemik, termasuk infrastruktur yang tidak memadai, kapasitas guru yang terbatas dalam literasi digital, kurikulum yang ketinggalan zaman, dan kesiapan kelembagaan yang tidak konsisten.

Dengan tidak adanya kerangka kerja yang menyeluruh dan berbasis kontekstual untuk mengarahkan penggunaan teknologi digital dalam TEFA, sekolah kejuruan terancam tertinggal dalam mempersiapkan siswa untuk menghadapi dunia kerja di masa depan. Agar berhasil memasukkan teknologi digital ke dalam TEFA dan membantu transformasi pendidikan kejuruan di Indonesia, esai ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan krusial tentang bagaimana kerangka kerja konseptual dapat dibuat. Secara khusus, tulisan ini membahas bagaimana teknologi digital mutakhir dapat membantu implementasi TEFA, menyoroti isu-isu utama dalam sistem yang ada saat ini, dan menyarankan strategi untuk menciptakan TEFA digital yang fleksibel, relevan, dan tahan lama.

Tujuan dari tulisan ini adalah untuk memberikan kerangka kerja konseptual yang menyeluruh untuk memasukkan teknologi digital ke dalam Teaching Factory (TEFA) sebagai sarana untuk merevolusi pendidikan kejuruan di Indonesia. Kerangka kerja ini dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan Revolusi Industri Keempat dan Kelima, yang membutuhkan hubungan kerja yang erat antara bakat manusia dan teknologi di tempat kerja. Selain menekankan pada hambatan utama dalam implementasinya dalam konteks pendidikan kejuruan di Indonesia, esai ini juga bertujuan untuk menentukan keuntungan yang mungkin diperoleh dari integrasi teknologi digital seperti IoT, AI, Big Data, dan VR/AR di dalam paradigma TEFA. Pada akhirnya, diharapkan makalah ini dapat memberikan kerangka kerja konseptual bagi para pembuat kebijakan, pengajar, dan pelaku bisnis untuk menciptakan pendekatan yang fleksibel dan kreatif dalam pengembangan TEFA.

## Method

Untuk memberikan kerangka kerja konseptual yang menyeluruh, penelitian ini menggunakan pendekatan metode analisis SWOT. (1) Kekuatan (Strengths) Potensi kolaborasi industri-pendidikan, dukungan kebijakan pemerintah. (2) Kelemahan (Weaknesses) Infrastruktur digital yang tidak merata, resistensi budaya guru senior.

(3) Peluang (Opportunities) Peningkatan daya saing lulusan, adopsi teknologi global seperti AI/VR. (4) Ancaman (Threats) Ketergantungan pada pembiayaan pemerintah, kesenjangan digital antarwilayah. Untuk mencapai ketelitian analisis, analisis SWOT dilakukan berulang kali dengan menggunakan pendekatan triangulasi (Yin, 2017). Meskipun integrasi kreatif Teaching Factory 4.0 dengan teknologi mutakhir (IoT/AI) merupakan salah satu keunggulan utamanya, kemungkinan bias penerbitan dalam literatur yang ada saat ini merupakan salah satu kelemahannya (Pasupuleti, 2024). Dengan membandingkan sistem kejuruan di Jerman dan Singapura, potensi implementasi ditemukan, dan bahaya utama diakui sebagai pertentangan organisasi di sekolah kejuruan tradisional.

Studi ini merupakan artikel konseptual yang mengembangkan kerangka teori melalui sintesis literatur yang sistematis (Khan et al., 2018). Data dikumpulkan dari sumber-sumber akademis, termasuk jurnal internasional, buku referensi, dan dokumen kebijakan (misalnya, Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Indonesia tentang Teaching Factory/TEFA dan laporan Bank Dunia tentang pendidikan kejuruan). Analisis komparatif terhadap praktik-praktik terbaik dalam TEFA yang terintegrasi secara digital dilakukan, dengan fokus pada sistem pendidikan kejuruan yang lebih maju.

Tiga kerangka kerja utama diintegrasikan dalam analisis sintesis teoretis ini: (1) konsep Teaching Factory (TEFA), yang menghubungkan akademisi dan industri; (2) Pendidikan Vokasi 4.0, yang menjawab tuntutan Revolusi Industri Keempat; dan (3) penggunaan teknologi digital (seperti IoT, AI, dan komputasi awan) dalam pendidikan kejuruan (Bikas et al., 2021). Kerangka kerja konseptual dikembangkan melalui proses deduktif yang berkembang dari teori-teori yang luas hingga implementasinya dalam skenario TEFA digital. Hasilnya dimaksudkan untuk memberikan saran taktis untuk meningkatkan penerapan pendidikan kejuruan di era disrupsi teknologi.

## Results and Discussions

### Implikasi Teoritis

#### Memperkuat Hubungan Industri-Vokasi Melalui Digitalisasi

Penggabungan teknologi digital seperti digital twin, kecerdasan buatan (AI), dan Internet of Things (IoT) telah menciptakan peluang baru untuk meningkatkan hubungan antara sektor industri dan institusi pendidikan kejuruan (Shin & Son, 2024; Wang, 2024). Teknologi-teknologi ini memfasilitasi pengembangan ekosistem pembelajaran yang lebih dinamis, kontekstual, dan berbasis data di dalam Teaching Factory (TEFA), yang pada gilirannya mendukung tujuan link-and-match antara bisnis dan pendidikan (Amiruddin et al., 2024).

Sekolah Vokasi dapat memiliki akses real-time ke data industri dengan memanfaatkan teknologi digital (Wu, 2022). Informasi mengenai perubahan pasar tenaga kerja, kemajuan teknologi manufaktur, dan preferensi industri terhadap kemampuan tertentu, semuanya tercakup di dalamnya. Hasilnya, program-program kejuruan dapat dimodifikasi dengan lebih cepat untuk memenuhi kebutuhan industri yang terus berubah.

Sinkronisasi kurikulum berdasarkan analisis pasar tenaga kerja adalah penggunaan digitalisasi yang strategis. Pengumpulan dan analisis data pasar tenaga kerja secara real-time kini dimungkinkan berkat perkembangan teknologi digital yang cepat, yang menawarkan wawasan penting tentang tuntutan pasar tenaga kerja saat ini dan di masa depan (Souto-Otero & Brown, 2024). Sekolah kejuruan dapat mengawasi tren lowongan pekerjaan, keterampilan yang diperlukan, dan standar industri baru dengan memanfaatkan data besar, kecerdasan buatan, dan alat analisis lainnya (Ghosh & Ravichandran, 2024). Penyedia pendidikan dapat membuat keputusan berbasis bukti berkat strategi digital ini, yang menjamin bahwa kurikulum mereka tetap fleksibel dan mudah beradaptasi dengan tuntutan pasar kerja yang terus berubah.

Memasukkan data permintaan industri ke dalam pembuatan kurikulum akan meningkatkan kesesuaian antara pencapaian pendidikan dan prospek pekerjaan sekaligus membuat pendidikan kejuruan lebih relevan (Somantri & Pramudita, 2024). Kemampuan kerja meningkat ketika lulusan memiliki keterampilan praktis yang lebih relevan dengan industri berkat desain kurikulum yang dipengaruhi oleh pengetahuan pasar tenaga kerja yang andal. Selain itu, dengan mendukung pengembangan program pelatihan yang lebih khusus, magang, dan kolaborasi industri, penyelarasan ini memperkuat hubungan antara sekolah kejuruan dan tempat kerja.

Selain itu, digitalisasi memungkinkan untuk membuat program pembelajaran berbasis pengalaman industri secara online seperti magang virtual. Tanpa harus hadir secara fisik di tempat, siswa dapat mengikuti pelatihan, simulasi pekerjaan, dan bimbingan langsung dari para spesialis di sektor ini melalui platform kolaboratif.

Digital Enterprise Academy di Siemens memberikan ilustrasi nyata dari strategi ini. Dengan menggunakan platform ini, siswa dapat berinteraksi dengan lingkungan industri secara real time, mendapatkan umpan balik langsung, dan mendapatkan pelatihan industri berbasis simulasi-semuanya memberikan pengalaman yang sangat mirip dengan lingkungan kerja yang sebenarnya (Cozmiuc & Petrisor, 2018).

Memperluas kolaborasi industri adalah manfaat lain dari pemagangan virtual, terutama dengan bisnis yang berlokasi jauh dari sekolah kejuruan (James Relly & Laczik, 2022). Digitalisasi membuat kolaborasi lintas wilayah menjadi lebih mudah dengan menghilangkan kendala geografis yang mungkin sulit dicapai dengan metode tradisional. Dari sudut pandang industri, digitalisasi membuat program pemagangan menjadi lebih efektif. Perusahaan dapat menemukan bakat masa depan sejak dini, melakukan penilaian secara berkala, dan memantau kinerja magang dari jarak jauh, sehingga memungkinkan perencanaan perekrutan yang lebih strategis.

Selain meningkatkan efektivitas dan efisiensi prosedur pembelajaran, transformasi digital TEFA mendorong ekosistem kerja sama yang berpusat pada aliansi jangka panjang. Komponen penting dari keberhasilan model ini adalah partisipasi aktif industri dalam pembuatan kurikulum, pelatihan, dan penilaian (Vijay et al., 2024). Ekosistem digital yang kuat dapat membantu hubungan antara industri dan pendidikan berubah dari hubungan transaksi menjadi hubungan kerja sama dan keberlanjutan (Karduck, 2013). Hal ini sejalan dengan strategi pengembangan vokasi di Indonesia, yang memusatkan pengembangan kompetensi tenaga kerja nasional di sekitar sinergi industri.

Oleh karena itu, penting untuk melihat digitalisasi Teaching Factory sebagai pendekatan sistematis untuk memperkuat hubungan dan keselarasan antara tuntutan industri dan pendidikan kejuruan. Selain mengatasi masalah relevansi kurikuler, strategi ini meningkatkan akses siswa ke peluang pembelajaran berbasis dunia kerja yang bermanfaat dan nyata.

### **Transformasi Peran Pendidik**

Peran pengajar telah berubah secara fundamental sebagai hasil dari perkembangan teknologi digital dalam pendidikan kejuruan. Pendidik kejuruan kini dituntut untuk melakukan lebih dari sekadar memberikan informasi; mereka diharapkan dapat memfasilitasi pembelajaran yang terintegrasi dengan teknologi dan menciptakan pengalaman belajar yang relevan dengan dunia usaha (Kulikova, 2024).

Posisi perancang pembelajaran simulasi digital adalah salah satu posisi yang semakin penting. Guru dapat membangun lingkungan pelatihan yang realistis dan imersif dengan memanfaatkan Virtual Reality (VR) dan Augmented Reality (AR), terutama dalam pelatihan teknis yang membutuhkan kesadaran spasial dan kemampuan praktik (Eras Ortega et al., 2024).

Siswa dapat berlatih mengoperasikan alat berat, merakit mesin, dan mengawasi proses industri dalam simulasi yang aman dan teregulasi dengan menggunakan VR/AR. Hal ini menurunkan risiko kecelakaan di tempat kerja dan biaya pendidikan sekaligus meningkatkan pemahaman konseptual (Effendi et al., 2024). Selain itu, para pendidik menjadi penganalisis data yang kompeten. Guru dapat mengakses data pembelajaran siswa yang komprehensif, seperti partisipasi, tingkat penguasaan, dan kecepatan perkembangan individu, dalam ekosistem TEFA digital dengan menggunakan Learning Management System (LMS) seperti Moodle (Suay et al., 2022).

Proses penentuan ketidaksesuaian antara keahlian siswa saat ini dengan kompetensi yang dibutuhkan oleh perusahaan dapat dilakukan dengan menggunakan data ini. Guru dapat membuat intervensi pembelajaran yang lebih individual dan terfokus berdasarkan data ini. Dalam rangka mempromosikan strategi pembelajaran adaptif yang membuat pembelajaran lebih efektif dan relevan dengan memberikan pelatihan dan bantuan kepada setiap siswa sesuai dengan kebutuhan mereka untuk pengembangan kompetensi-fungsi analisis ini sangat penting (Nazmi et al., 2023). Peningkatan kemampuan guru dalam literasi digital, analisis data pendidikan, dan pengetahuan tentang kurikulum berbasis industri juga diperlukan untuk perubahan tersebut. Oleh karena itu, pengembangan profesional yang berkelanjutan sangat penting bagi para instruktur kejuruan di abad ke-21 (Nurtanto et al., 2022).

Guru dalam pendidikan kejuruan telah melampaui batas-batas konvensional ruang kelas dalam peran kembar mereka sebagai perancang instruksional dan penilai kebutuhan industri. Mereka sekarang diposisikan sebagai penghubung strategis yang menutup kesenjangan antara pembelajaran akademis dan tuntutan dunia perusahaan yang sebenarnya, daripada terbatas pada penyajian informasi standar (Somantri & Pramudita, 2024). Guru dapat menciptakan pengalaman belajar yang relevan dan cukup fleksibel untuk memenuhi tuntutan pergeseran pasar kerja berkat ketersediaan alat digital dan data industri. Guru secara langsung meningkatkan kemampuan kerja dan kesiapan lulusan SMK dengan mengoordinasikan metodologi instruksional mereka dengan perkembangan industri (Safira & Azzahra, 2022).

Pergeseran ini didukung oleh model Teaching Factory yang kolaboratif dan berbasis praktik, di mana pendidikan tidak hanya bersifat teoritis tetapi terintegrasi ke dalam proses industri dunia nyata (Boejang et al., 2024). Untuk mengembangkan kurikulum bersama, mengawasi bersama proyek siswa, dan bahkan meniru kondisi produksi di kelas, para pendidik berkolaborasi erat dengan mitra industri. Hasilnya, guru menjadi co-

produser informasi dan keahlian praktis, dan ruang kelas menjadi perpanjangan dari tempat kerja. Paradigma ini mendorong komunikasi yang berkelanjutan antara lembaga pendidikan dan sektor bisnis, mendorong kreativitas, kemampuan beradaptasi, dan rasa tanggung jawab bersama dalam mengembangkan tenaga kerja yang dipersiapkan untuk masa depan (Grubaugh & Levitt, 2023).

Perubahan dalam pendidikan kejuruan ini mewakili pergeseran paradigma yang lebih luas dalam peran pendidik dan lebih dari sekadar meningkatkan keterampilan teknis. Pergeseran tersebut adalah dari berpusat pada konten menjadi berpusat pada kompetensi, dari pengajaran tradisional menjadi fasilitasi, dan dari hanya menyampaikan pengetahuan menjadi menilai kebutuhan industri (Khoirunnisa et al., 2025). Paradigma baru ini menekankan pemikiran kritis, fleksibilitas, dan pembelajaran seumur hidup sambil berfokus pada pengembangan kapasitas siswa untuk menerapkan informasi dalam pengaturan praktis. Para pengajar dapat terus meningkatkan metode pengajaran mereka dengan menggunakan teknologi digital dan statistik pasar tenaga kerja, sehingga menjamin bahwa siswa tidak hanya mendapatkan informasi tetapi juga mampu menyesuaikan diri dengan standar industri yang terus berubah (Maryani et al., 2023).

Guru adalah agen perubahan yang penting dalam sistem pendidikan kejuruan kontemporer dalam lingkungan yang dinamis ini. Mereka kini menjadi fasilitator aktif dalam pembelajaran, inovasi, dan relevansi industri, bukan hanya sebagai pembawa informasi. Menafsirkan tren tenaga kerja, mengembangkan kurikulum dengan bekerja sama dengan mitra industri, dan membimbing siswa dalam memecahkan masalah dalam lingkungan produksi di dunia nyata adalah bagian dari pekerjaan mereka. Untuk menyesuaikan tugas pendidik dengan tujuan yang lebih umum dari reformasi pendidikan dan transformasi industri, transisi ini membutuhkan pengembangan profesional yang berkelanjutan dan pemikiran ulang tentang kompetensi guru (Subekti et al., 2024). Dengan mengadopsi perspektif ini, para pendidik memainkan peran penting dalam mendorong sekolah kejuruan untuk beradaptasi dan tanggap terhadap kemajuan teknologi yang cepat.

Oleh karena itu, kompetensi dan kemauan para pendidik untuk menerima tanggung jawab mereka yang berubah dengan profesionalisme dan kreativitas sangat penting untuk keberhasilan digitalisasi dalam model Teaching Factory (TEFA). Para guru dituntut untuk mengambil peran proaktif dalam menggabungkan teknologi ke dalam desain pedagogis dan melampaui tanggung jawab mengajar mereka yang biasa karena teknologi digital mengubah lingkungan pendidikan kejuruan (Rahmi, 2023). Perubahan ini tidak hanya membutuhkan literasi digital, tetapi juga sikap yang dapat menerima pendidikan yang berkelanjutan, kerja sama tim, dan fleksibilitas. Keberhasilan TEFA sebagai model pembelajaran yang dinamis dan responsif terhadap industri sangat dipengaruhi oleh kapasitas para pengajar untuk memenuhi kebutuhan ini (Maksum et al., 2024).

Dalam konteks ini, guru tidak lagi hanya sebagai pelaksana kurikulum; mereka didefinisikan ulang sebagai inovator pembelajaran dan mitra strategis industri. Mereka memainkan peran sentral dalam merancang lingkungan belajar yang mensimulasikan proses industri di dunia nyata, mengembangkan konten bersama para praktisi, dan mendorong inovasi di dalam kelas (Habibullah, 2022). Sebagai mitra strategis, para pendidik berkontribusi pada pengembangan kompetensi yang selaras dengan industri dan membantu menjembatani kesenjangan sistemik antara pendidikan kejuruan dan kebutuhan tenaga kerja (Somantri & Pramudita, 2024). Peran yang didefinisikan ulang ini memperkuat kebutuhan akan program pengembangan profesional terstruktur yang memberdayakan guru untuk memimpin perubahan, menciptakan nilai bersama dengan industri, dan mendorong transformasi pendidikan kejuruan di era digital.

## **Tantangan Implementasi**

### **Aspek Kultural dalam Implementasi Pedagogi Digital**

Digitalisasi pendidikan kejuruan membutuhkan perubahan budaya di lembaga pendidikan selain ketersediaan infrastruktur teknologi dan kesiapan keterampilan digital (Khoirunnisa et al., 2025). Penolakan terhadap perubahan adalah salah satu masalah yang paling sulit dan rumit, terutama bagi para guru yang terbiasa dengan metode pengajaran konvensional. Pedagogi digital dapat dilihat oleh para pengajar senior khususnya sebagai tantangan terhadap praktik pengajaran tradisional dan identitas profesional daripada sebagai peningkatan (Azizah et al., 2024). Keberhasilan inisiatif transformasi digital di lingkungan pendidikan kejuruan mungkin terbatas karena keengganan ini, yang dapat menghambat integrasi teknologi digital secara menyeluruh ke dalam proses belajar mengajar.

Sebuah studi kasus dari Jepang, negara yang terkenal dengan inovasi teknisnya, memberikan ilustrasi yang kuat tentang kesulitan ini. Studi ini menemukan bahwa banyak guru senior yang merasa kesulitan untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan pembelajaran yang dimediasi secara digital, bahkan dengan infrastruktur digital yang kuat. Dalam hal perbedaan generasi dalam pengetahuan dan pemikiran digital, bukannya akses, fenomena ini merupakan contoh nyata dari kesenjangan digital. Karena kurangnya pengalaman atau pelatihan, para pendidik yang lebih tua sering kali menunjukkan tingkat kepercayaan diri dan keterlibatan yang lebih

rendah dengan alat digital (Takhahasi & Rossi, 2024). Kisah ini menekankan betapa pentingnya menangani aspek manusia dalam digitalisasi dengan menerapkan teknik manajemen perubahan yang inklusif, program bimbingan, dan pengembangan profesional yang menyeluruh yang membantu semua pengajar, tanpa memandang usia atau tingkat pengalaman.

Penolakan terhadap digitalisasi dalam pendidikan kejuruan terkadang disebabkan oleh kurangnya pelatihan, ketakutan akan pergeseran tanggung jawab karier, dan kurangnya pengalaman sebelumnya, bukan karena penolakan eksplisit terhadap teknologi. Banyak pendidik mungkin merasa terintimidasi atau tidak nyaman ketika diminta untuk menggunakan teknologi digital seperti Learning Management System (LMS), simulasi virtual, atau platform penilaian berbasis data, terutama bagi mereka yang telah memusatkan karir mereka pada pendidikan tatap muka konvensional (Khoirunnisa et al., 2025). Kekhawatiran akan efektivitas, relevansi, dan hilangnya kendali atas proses pembelajaran muncul akibat pergeseran ini, yang tidak hanya menguji kompetensi teknis mereka, tetapi juga rasa percaya diri mereka sebagai guru.

Jepang telah menanggapi isu-isu ini dengan memberlakukan kebijakan pendidikan inovatif yang mempromosikan kompetensi digital lintas generasi. Mempromosikan kerja sama antargenerasi di sekolah, di mana guru-guru yang lebih muda dan terbiasa dengan teknologi digital didorong untuk menjadi mentor bagi rekan-rekannya yang lebih berpengalaman, telah terbukti menjadi strategi yang sukses (Lander, 2022). Para guru dapat bereksperimen dengan alat-alat baru, berbagi pendekatan pedagogis, dan mendapatkan kepercayaan diri dalam pendidikan digital dalam lingkungan yang aman dan mendukung melalui program pendampingan yang dipimpin oleh rekan sejawat ini. Selain menumbuhkan budaya sekolah yang suportif dan fleksibel yang lebih kuat dalam menghadapi disrupsi digital yang cepat, model ini juga meningkatkan kemampuan individu (Kamruzzaman, 2023).

Namun, menggabungkan pendidikan digital tidak selalu mudah, terutama di lingkungan di mana norma-norma hirarkis sudah mendarah daging. Sistem pendidikan konvensional yang berbasis senioritas di Jepang dapat menghambat kerja sama dan pembelajaran antargenerasi. Karena mereka menganggap pertukaran semacam itu sebagai tantangan terhadap otoritas atau status profesional mereka, para pengajar senior mungkin enggan untuk menerima saran dari rekan-rekan mereka yang lebih muda (Yoshimoto et al., 2023). Dinamika ini menunjukkan bahwa penolakan terhadap pedagogi digital merupakan masalah yang sudah mengakar dalam budaya perusahaan dan struktur sosial pendidikan, bukan hanya masalah teknologi. Hal ini menekankan betapa pentingnya untuk memperhatikan nilai-nilai institusional, norma-norma komunikasi, dan dinamika kekuasaan ketika menerapkan inovasi pendidikan.

Mengingat tren yang sama juga terlihat di antara para pengajar kejuruan yang sudah lama bekerja di Indonesia, temuan studi kasus dari Jepang ini cukup relevan untuk diterapkan di Indonesia. Keengganan para guru, terutama staf senior, untuk sepenuhnya memanfaatkan teknologi modern terus menjadi kendala utama dalam upaya memperluas upaya nasional untuk mendigitalkan pendidikan kejuruan melalui program-program seperti model Teaching Factory (Niculcea, 2024). Strategi yang komprehensif dan sesuai dengan budaya diperlukan untuk mengatasi masalah ini. Pengembangan pola pikir yang fleksibel, inklusivitas antargenerasi, dan budaya profesional yang kolaboratif harus diprioritaskan dalam program pelatihan guru selain aspek teknis. Sekolah kejuruan di Indonesia dapat mendorong adopsi teknologi digital yang lebih merata dan berkelanjutan dengan menumbuhkan rasa saling menghormati dan rasa kepemilikan bersama atas inovasi (Zukna & Sassi, 2024).

Selain itu, lembaga pendidikan perlu melakukan upaya bersama untuk mengembangkan budaya organisasi yang menghargai inovasi dan pembelajaran seumur hidup. Hal ini memerlukan pembinaan suasana yang menyambut eksperimen dalam pedagogi digital dan memandang kesalahan sebagai komponen yang normal dan bermanfaat dalam pengembangan profesional (Aisyah et al., 2024). Budaya seperti itu dapat menumbuhkan rasa aman secara psikologis dan mengurangi kecemasan terkait kegagalan, terutama bagi para pengajar senior, sehingga mereka dapat berpartisipasi dalam inisiatif transformasi digital dengan jaminan yang lebih besar. Kepemimpinan sangat penting untuk memberikan contoh agar mudah beradaptasi, memuji upaya dan bukan hanya hasil, serta menciptakan forum di mana para pengajar dapat bertukar kesulitan dan solusi terkait penggunaan teknologi baru.

Kesenjangan digital yang jelas di seluruh zona geografis ditunjukkan oleh data, yang menunjukkan perbedaan infrastruktur yang mencolok antara wilayah perkotaan (78% akses internet) dan wilayah pedesaan (32%). Kesenjangan dalam distribusi instruktur dengan pelatihan digital sekolah-sekolah di perkotaan mengklaim tingkat kemahiran 45%, sementara sekolah-sekolah di daerah terpencil hanya melaporkan 18%-semakin memperlebar kesenjangan ini. Kesenjangan ini membuat program Digital Teaching Factory (TEFA) menjadi sangat sulit untuk diterapkan di daerah-daerah yang kurang mampu, yang pada akhirnya berkontribusi pada kesenjangan pendidikan dalam hal pendidikan kejuruan dan kesiapan kerja.

Pada laporan tahun 2024 yang kredibel dari Pusat Data dan Informasi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (Pusdatin Kemendikbud) dan Badan Pusat Statistik (BPS), yang menggunakan kerangka kerja metodologis yang ketat, seperti pengambilan sampel berstrata dan verifikasi lapangan. Keakuratan data tersebut menekankan betapa mendesaknya penerapan intervensi kebijakan yang terfokus, seperti perluasan broadband di daerah pedesaan dan inisiatif peningkatan keterampilan guru, dalam rangka mendukung pengembangan pendidikan kejuruan yang inklusif dan tujuan transformasi digital nasional.

Digitalisasi dalam pendidikan kejuruan dapat dibingkai ulang sebagai reformasi sosial dan kelembagaan yang lebih besar daripada sekadar upaya teknologi dengan menangani dan mengatasi pertentangan budaya. Perubahan ini menyoroti bahwa implementasi model Teaching Factory (TEFA) digital bergantung pada keterlibatan aktif dan kesiapan kolektif semua pemangku kepentingan pendidikan, bukan hanya pada infrastruktur, sumber daya, atau perangkat lunak (Hidayatullah et al., 2024). Untuk bersama-sama menciptakan lingkungan belajar yang berfokus pada masa depan, para pendidik, administrator, dan mitra industri harus menyelaraskan keyakinan, praktik, dan harapan mereka. Dengan cara ini, digitalisasi yang efektif berubah menjadi proses kolaboratif yang menggabungkan teknologi dengan kerja sama sistemik, kemampuan beradaptasi secara kultural, dan visi pendidikan.

### **Kendala Regulasi dan Ekonomi dalam Digitalisasi Pendidikan Vokasi**

Transisi digital dalam pendidikan kejuruan menghadirkan masalah pedagogis dan budaya serta masalah regulasi. Disparitas dalam persyaratan sertifikasi untuk kompetensi digital antar negara dan wilayah merupakan salah satu masalah yang paling mendesak. Dalam dunia kerja yang semakin internasional, kriteria ini menjadi tolok ukur penting untuk mengevaluasi persiapan lulusan, menjamin kualitas pendidikan, dan memfasilitasi mobilitas tenaga kerja. Lulusan SMK mungkin mengalami kesulitan saat mencari pekerjaan di luar negeri karena tidak adanya sistem sertifikasi yang konsisten dan setara, dan lembaga pendidikan mungkin merasa sulit untuk menyesuaikan program mereka untuk memenuhi standar global (Widayana, 2023).

Penciptaan Kerangka Kerja Kompetensi Digital Eropa (DigComp) oleh Uni Eropa adalah ilustrasi penting dari kerja sama regulasi. Paradigma yang menyeluruh ini menawarkan kerangka kerja umum untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengembangkan kemampuan digital di berbagai lingkungan akademis dan profesional. DigComp mencantumkan berbagai macam keterampilan, termasuk komunikasi, keamanan, dan pemecahan masalah dalam lingkungan berteknologi canggih, serta literasi digital dan manajemen informasi yang mendasar (Vuorikari, 2022). Kerangka kerja ini berfungsi sebagai panduan bagi para pendidik yang membuat kurikulum, perusahaan yang mengembangkan tenaga kerjanya, dan legislator yang mengembangkan kebijakan untuk pendidikan digital. Penerapan kerangka kerja ini menekankan betapa pentingnya infrastruktur regulasi untuk memastikan efektivitas dan komparabilitas inisiatif untuk menerapkan transformasi digital dalam sistem pendidikan kejuruan.

Berbeda dengan pendekatan terkoordinasi Uni Eropa, upaya untuk menyelaraskan standar kompetensi digital di kawasan ASEAN masih dalam tahap awal (Analytica, 2022). Meskipun masing-masing negara, termasuk Indonesia, telah memulai kerangka kerja nasional dan program literasi digital, saat ini belum ada platform sertifikasi regional yang sepenuhnya terintegrasi yang memastikan pengakuan bersama atas keterampilan digital. Kesenjangan peraturan ini mengakibatkan inkonsistensi dalam bagaimana kompetensi digital didefinisikan, dinilai, dan divalidasi di seluruh negara anggota. Akibatnya, lulusan kejuruan dari satu negara mungkin merasa kualifikasi mereka kurang dihargai atau tidak diakui di negara lain, sehingga membatasi ruang lingkup mobilitas dan kolaborasi tenaga kerja regional.

Daya saing lulusan SMK di seluruh dunia secara signifikan dipengaruhi oleh perbedaan-perbedaan ini, terutama karena ekonomi digital tumbuh lebih transnasional. Standardisasi yang tidak memadai tidak hanya membatasi prospek kerja global, tetapi juga membahayakan kemampuan model Teaching Factory (TEFA) untuk berpartisipasi dalam kerja sama digital lintas batas. Misalnya, proyek-proyek kolaboratif yang dipimpin oleh industri, magang virtual, dan platform pembelajaran internasional bergantung pada standar umum untuk kemahiran dan kualitas. Kurangnya standar yang seragam membuat sekolah kejuruan di ASEAN, terutama di Indonesia, sangat sulit untuk membangun interoperabilitas, kepercayaan diri, dan kolaborasi jangka panjang lintas batas negara.

Menciptakan dan menegakkan undang-undang sertifikasi digital yang memenuhi tuntutan Industri 4.0 dan Masyarakat 5.0 di tingkat nasional menghadirkan hambatan besar bagi Indonesia. Kerangka kerja peraturan yang fleksibel dan mudah beradaptasi diperlukan untuk menjamin bahwa pengembangan keterampilan digital sejalan dengan perubahan norma-norma industri, mengingat kecepatan perubahan teknologi (Sukmaningrum & Riatmaja, n.d.). Namun, terdapat banyak variasi dalam kualitas lulusan dari sekolah kejuruan yang berbeda karena tidak adanya norma nasional tunggal untuk kompetensi digital. Kesenjangan dalam kesiapan tenaga

kerja diakibatkan oleh ketidakmampuan untuk menentukan apakah siswa telah mempelajari keterampilan yang dibutuhkan untuk berhasil dalam ekonomi digital karena tidak adanya tolok ukur standar (Reyes, 2023).

Keterbatasan ekonomi memperparah kesulitan struktural dan peraturan ini. Banyak sekolah kejuruan yang merasa kesulitan untuk menerapkan infrastruktur pembelajaran digital yang mereka butuhkan untuk tetap mengikuti perkembangan teknologi baru, terutama yang berada di lokasi terpencil (Khoirunnisa et al., 2025). Kapasitas mereka untuk berinvestasi pada sumber daya penting seperti pelatihan guru, alat digital, dan platform berlisensi - yang semuanya penting untuk keberhasilan pedagogi digital - terhambat oleh kurangnya dana. Selain menghambat penggabungan teknologi digital ke dalam pendidikan, kesenjangan digital ini juga mempertahankan kesenjangan dalam kualitas pendidikan yang diterima siswa di berbagai wilayah geografis, sehingga semakin menyulitkan Indonesia dalam mengembangkan tenaga kerja dengan keterampilan digital yang diperlukan untuk bersaing secara global (Yaqin et al., 2023).

Keberhasilan penggunaan model Teaching Factory berbasis teknologi sangat dipengaruhi oleh kesenjangan digital di Indonesia antara daerah perkotaan dan pedesaan. Mengadopsi teknologi digital mutakhir seperti sistem manajemen pembelajaran (LMS), simulasi digital, dan integrasi data industri secara real-time bisa jadi sangat sulit bagi sekolah-sekolah di daerah pedesaan atau daerah miskin (M. R. A. Pradana & Josiah, 2024). Kesenjangan dalam kualitas pendidikan yang diberikan disebabkan oleh ketiadaan infrastruktur, seperti koneksi internet yang dapat diandalkan dan gadget yang kekinian. Kesenjangan yang lebih luas dalam hasil pendidikan kejuruan dapat muncul karena tidak adanya kesempatan yang sama bagi para siswa di lokasi-lokasi tersebut untuk mempelajari keterampilan digital yang dibutuhkan oleh tenaga kerja modern (Jia & Huang, 2023).

Kebijakan tindakan afirmatif sangat penting untuk mengatasi masalah ini. Kebijakan ini dapat mencakup inisiatif pengembangan kapasitas untuk meningkatkan literasi digital para pengajar dan subsidi yang ditargetkan untuk membantu sekolah-sekolah kejuruan yang kekurangan dana untuk melakukan digitalisasi. Insentif untuk menciptakan kurikulum dan sumber daya digital yang sesuai dengan kebutuhan unik sekolah-sekolah di daerah pedesaan juga dapat membantu menyamakan kedudukan (Jia & Huang, 2023). Selain itu, menjalin hubungan yang lebih erat dengan organisasi asing dan sektor komersial dapat memberikan akses ke dana, teknologi canggih, dan pengalaman kepada sekolah. Pemerintah dapat menjamin akses yang adil terhadap pendidikan kejuruan berkualitas tinggi di seluruh wilayah Indonesia dengan memanfaatkan kemitraan ini untuk membangun lingkungan digital yang lebih inklusif (Zukna & Sassi, 2024).

Mempercepat integrasi sistem sertifikasi digital yang memenuhi standar internasional harus menjadi prioritas utama ASEAN di tingkat regional. Agar lulusan kejuruan ASEAN memiliki keterampilan yang dibutuhkan untuk berhasil bersaing di pasar tenaga kerja digital global, kerangka kerja kompetensi digital harus diselaraskan di seluruh kawasan (Analytica, 2022). Mobilitas yang lebih besar bagi tenaga kerja terampil baik di dalam maupun di luar ASEAN akan dihasilkan dari integrasi ini, yang akan memungkinkan adanya pengakuan timbal balik atas kredensial dan kompetensi. Selain itu, dengan menyelaraskan standar regional dengan standar global, program pendidikan kejuruan akan terus dapat diterapkan, tahan di masa depan, dan mampu beradaptasi dengan kebutuhan perusahaan yang berubah dengan cepat di seluruh dunia (Dumbuya, 2023).

Mengatasi hambatan ekonomi dan regulasi saat ini sangat penting untuk mencapai hal ini. Transformasi digital pendidikan kejuruan harus bersifat inklusif, mengatasi persyaratan untuk kredensial seragam yang berlaku untuk semua negara anggota ASEAN serta kekurangan infrastruktur. Untuk menjamin bahwa model Teaching Factory, yang menekankan pada keterampilan yang relevan dengan industri dan pembelajaran di dunia nyata, tidak memperburuk ketidaksetaraan yang sudah ada, standar yang sama dan sumber daya yang memadai sangat penting (D. H. E. Pradana et al., 2023). ASEAN dapat menjamin bahwa pendidikan kejuruan tidak hanya menutup kesenjangan keterampilan, tetapi juga meningkatkan peluang bagi semua siswa, terlepas dari latar belakang sosial ekonomi atau lokasi geografis mereka, dengan mempromosikan ekosistem pendidikan digital yang lebih terpadu dan adil (Darmastuti et al., 2024).

### **Analisis Komparatif Sistem Pendidikan Vokasi Digital**

Terdapat variasi yang signifikan di seluruh negara dalam hal penggunaan teknologi dalam pendidikan kejuruan, terutama dalam hal penggunaan perangkat digital, pembuatan kurikulum, pendistribusian sumber daya, dan kerangka kerja regulasi. Perbedaan-perbedaan ini merupakan cerminan dari kemampuan institusional, situasi ekonomi, dan kepentingan nasional yang lebih luas. Mencapai koherensi dan inklusi dalam rencana kejuruan digital merupakan kesulitan yang terus berlanjut di beberapa negara, seperti negara-negara yang sedang mengalami reformasi pendidikan, sementara negara lain telah mengembangkan sistem kejuruan yang terorganisir dengan baik dan didanai dengan baik yang sangat sesuai dengan tujuan industri (Habibi et al., 2023).

Metode yang beragam untuk pendidikan kejuruan berbasis digital dan industri ditunjukkan oleh Singapura, Jerman, dan Indonesia. Sistem ganda yang terkenal di Jerman memberikan penekanan yang signifikan pada kerja sama antara industri dan sekolah kejuruan, dan sumber daya digital digunakan untuk meningkatkan pengajaran langsung dalam program magang yang terorganisir (Alnoth, 2024). Dengan investasi yang signifikan dalam teknologi pintar, peningkatan keterampilan yang berkelanjutan, dan kerangka kerja digital nasional seperti SkillsFuture, Singapura mengambil strategi yang terpusat dan digerakkan oleh inovasi. Di sisi lain, sistem di Indonesia masih dalam tahap pengembangan, dengan inisiatif seperti model Teaching Factory yang bertujuan untuk menyelaraskan pendidikan kejuruan dengan Industri 4.0 (Wahjusaputri et al., 2024). Namun, kesenjangan dalam persyaratan kompetensi digital, peraturan, dan infrastruktur masih menjadi kendala utama. Selain menyoroti perlunya taktik yang sesuai dengan konteks, perbandingan negara ini mendorong adopsi praktik-praktik terbaik melalui kerja sama global. Penerapan teknologi dalam pendidikan vokasi di berbagai negara memperlihatkan perbedaan signifikan dalam cara teknologi digunakan, kurikulum diterapkan, pembiayaan dialokasikan, dan regulasi disusun.

### **Teknologi**

Indonesia (TEFA Konvensional): Teknologi di negara ini masih terbatas pada otomatisasi sederhana, termasuk menggunakan peralatan atau perangkat lunak untuk meningkatkan efisiensi produksi. Integrasi teknologi canggih masih dalam tahap awal, dan penerimaan teknologi digital dalam pendidikan kejuruan masih berjalan lambat (Wahjusaputri et al., 2024).

Sistem Ganda 4.0 di Jerman: Negara ini telah mengintegrasikan sistem produksi cyber-fisik yang memungkinkan komunikasi waktu nyata antara dunia digital dan fisik di lingkungan industri. Melalui penggunaan sensor jaringan dan perangkat cerdas, sistem ini memfasilitasi pembuatan komoditas (Alnoth, 2024).

Singapura (SkillsFuture): Singapura menggunakan teknologi bertenaga AI untuk mengembangkan program pendidikan yang disesuaikan. Teknologi ini memberikan hasil pendidikan yang lebih efektif dan efisien dengan menyesuaikan proses pembelajaran dengan kecepatan dan metode pembelajaran yang disukai setiap pelajar (P. Gu, 2024).

### **Kurikulum**

Indonesia (TEFA Konvensional): Kurikulum di sana sebagian besar didasarkan pada pendekatan lama yang tidak cukup untuk menangani perubahan teknologi yang cepat yang terjadi di seluruh dunia, dan akibatnya, kurikulum tersebut lambat untuk menyesuaikan diri dengan tuntutan industri.

Jerman (Sistem Ganda 4.0): Dikembangkan melalui kerja sama yang erat dengan mitra industri dan organisasi sertifikasi, kurikulum Jerman bersifat dinamis dan digerakkan oleh industri. Hal ini menjamin bahwa lulusannya memiliki keterampilan yang dibutuhkan oleh pemberi kerja (Alnoth, 2024).

Singapura (SkillsFuture): Singapura menawarkan program pelatihan singkat dan khusus yang disesuaikan dengan permintaan pasar kerja tertentu, menggunakan pendekatan modular dengan kredit mikro. Karena fleksibilitas kurikulumnya, orang dapat mempelajari keterampilan khusus yang dibutuhkan oleh berbagai sektor (Fung et al., 2021).

### **Pembiayaan**

Indonesia (TEFA Konvensional): Kontribusi terbesar untuk pengembangan pendidikan vokasi di Indonesia berasal dari APBN (Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara), yang mengakibatkan hilangnya dana pemerintah dan menghambat kemampuan sektor swasta untuk berkontribusi pada pertumbuhan pendidikan vokasi (Zukna & Sassi, 2024).

Jerman (Sistem Ganda 4.0): Di Jerman, industri berkontribusi sekitar 60% dari biaya pendidikan vokasi, dengan pemerintah dan industri berbagi pendanaan. Model ini menunjukkan bahwa industri memiliki kebutuhan jangka panjang untuk meminimalisir stres terkait pekerjaan (Alnoth, 2024).

Singapura (SkillsFuture): Singapura mempromosikan pembelajaran melalui akun pembelajaran individu, di mana setiap warga negara memiliki akun pembelajaran yang dapat digunakan untuk berpartisipasi dalam kursus yang relevan dengan kebutuhan profesional mereka. Pembelajaran ini cukup fleksibel dan dapat disesuaikan dengan jalur karier unik setiap orang (Fung et al., 2021).

### **Regulasi**

Indonesia (TEFA Konvensional): Meskipun sudah ada peraturan seperti Permendikbud, peraturan tersebut tidak terlalu spesifik dalam menetapkan standar dan prosedur yang terkait dengan pendidikan berbasis digital.

Dalam hal program pendidikan yang dapat beradaptasi dengan pertumbuhan industri digital, hal ini merupakan komponen kunci (Kristanto et al., 2024).

Jerman (Sistem Ganda 4.0): Jerman memiliki *Berufsbildungsgesetz* (BBiG), yang mengatur pendidikan kejuruan secara menyeluruh dan menetapkan ekspektasi bagi siswa berdasarkan kualifikasi dan keterampilan mereka sebagaimana ditentukan oleh sistem pengajaran ini. BBiG merupakan fondasi penting untuk pengembangan jangka panjang sistem pendidikan vokasi.

Singapura (SkillsFuture): Singapura menerapkan SkillsFuture Act (2020), yang mendorong negara untuk terus meningkatkan keterampilan berbasis teknologi dengan memberikan insentif kepada warganya. Peraturan ini mendukung pendekatan berbasis individu dan individual untuk pengembangan tenaga kerja (Fung et al., 2021).

Terdapat perbedaan yang mencolok dalam hal teknologi, kurikulum, pembiayaan, dan regulasi antara sistem pendidikan kejuruan di Jerman, Singapura, dan Indonesia. Singapura menggunakan AI untuk pembelajaran individual, Jerman telah mengadopsi Industri 4.0 dengan sistem cyber-physical, sementara Indonesia masih mengandalkan otomatisasi sederhana (Rios et al., 2020). Berbeda dengan sistem modular Singapura yang mudah beradaptasi dan pendekatan berbasis industri Jerman, kurikulum di Indonesia masih tidak fleksibel dan enggan untuk menyesuaikan diri dengan kebutuhan bisnis. Sementara Singapura memberikan akses ke akun pembelajaran pribadi kepada masyarakat dan Jerman membagi biaya dengan perusahaan, Indonesia sebagian besar bergantung pada dana negara untuk pendanaan. Sementara Singapura mendorong peningkatan keterampilan melalui SkillsFuture Act dan Jerman memberlakukan undang-undang kejuruan yang ketat (BBiG), struktur peraturan di Indonesia tidak secara khusus dirancang untuk pendidikan digital. Indonesia perlu memperbarui kurikulum, mengintegrasikan sektor bisnis dalam pendanaan, mempercepat adopsi digital, dan memperkuat undang-undang untuk menutup kesenjangan ini. Indonesia harus meningkatkan pendidikan kejuruannya untuk memenuhi kebutuhan industri internasional dengan mengambil inspirasi dari Singapura dan Jerman (Ayuningtias, 2023).

### **Analisis SWOT Digitalisasi TEFA di Indonesia**

#### **Kekuatan (Strengths)** Potensi kolaborasi industri-pendidikan, dukungan kebijakan pemerintah

Beberapa kekuatan utama di balik penggunaan teknologi digital oleh Teaching Factory Indonesia adalah kerja sama antara perusahaan dan lembaga pendidikan vokasi (Bikas et al., 2021; Maruanaya & Hariyanto, 2021). Program-program akademik ditingkatkan secara berkala untuk memenuhi kebutuhan dunia bisnis yang sebenarnya melalui kolaborasi yang saling menguntungkan. Solusi digital seperti manajemen proyek berbasis cloud dan magang virtual meningkatkan pembelajaran langsung, sementara sekolah kejuruan menggabungkan pengalaman industri melalui donasi peralatan, kuliah tamu, dan pembuatan kurikulum kolaboratif (M. Gu, 2024; Somantri & Pramudita, 2024). Karena hubungan industri yang kuat ini, lulusan dijamin memiliki keterampilan yang dapat dipasarkan, sehingga mengurangi kebutuhan pelatihan ulang.

Melalui penggunaan workstation augmented reality, peralatan berkemampuan IoT, dan kontrol kualitas berbasis AI, digitalisasi memungkinkan untuk mensimulasikan pengaturan produksi yang asli secara dinamis (Okuyelu & Adaji, 2024; Sesana & Tavola, 2021). Sistem otomatisasi, pedoman keamanan siber, dan platform analisis data yang sama dengan yang digunakan oleh mitra bisnis tersedia bagi para siswa untuk praktik langsung. Misalnya, simulasi perakitan robot dan perangkat lunak pemeliharaan prediktif digunakan di sekolah kejuruan otomotif yang berkolaborasi dengan produsen sepeda motor. Akurasi ini memberikan literasi digital dan kemampuan teknis yang dibutuhkan oleh Industri 4.0 kepada para siswa, dan umpan balik yang berulang-ulang memungkinkan revisi kurikulum yang cepat untuk mengikuti perkembangan teknologi.

Kolaborasi industri-pendidikan ini sangat didukung secara struktural oleh kerangka kerja pemerintah Indonesia. Peningkatan keterampilan digital diprioritaskan melalui kemitraan pemerintah-swasta melalui inisiatif seperti Revitalisasi SMK (2016) dan Making Indonesia 4.0 (2018), yang mengharuskan partisipasi bisnis dalam pembuatan kurikulum dan memberikan insentif pajak. Di tingkat regional, inisiatif Pusat Keunggulan menghubungkan peralatan canggih yang disumbangkan industri (seperti mesin CNC dan laboratorium pencetakan 3D) dengan sertifikat pelatih yang didanai pemerintah. Adopsi digital telah dimasukkan ke dalam inisiatif daya saing tenaga kerja yang lebih besar dengan penggabungan kredensial mikro digital Kementerian Perindustrian baru-baru ini dengan persyaratan kompetensi nasional, yang selanjutnya menjamin sertifikat yang diakui oleh industri.

Skalabilitas Teaching Factory yang ditingkatkan secara digital didukung oleh populasi muda Indonesia dan infrastruktur digital yang terus berkembang. Pelatihan kejuruan hibrida tersedia di wilayah perkotaan dan semi-perkotaan, di mana lebih dari 80% orang memiliki akses internet seluler dan mayoritas berusia di bawah 35 tahun (Wahjusaputri et al., 2024). Kursus tambahan dalam bidang komputasi awan dan kecerdasan buatan

tersedia melalui program yang disponsori pemerintah seperti Digital Talent Scholarship, dan produsen serta sekolah-sekolah berada di dalam klaster industri di Jawa, Sumatra, dan Sulawesi. Karena ekosistem fisik dan digital menyatu, Kawasan Industri Terpadu Batang di Jawa Tengah, misalnya, memungkinkan transisi sehari-hari antara teori di kelas dan praktik di pabrik yang dapat direplikasi di seluruh negeri (Taufik et al., 2023).

**Kelemahan (Weaknesses):** Infrastruktur digital yang tidak merata, resistensi budaya guru senior.

Kesenjangan infrastruktur antara daerah perkotaan dan pedesaan merupakan salah satu hambatan terbesar dalam adopsi pabrik pengajaran berbasis digital di Indonesia. Sementara kota-kota besar telah memiliki fasilitas teknis yang canggih, daerah-daerah terpencil terkadang mengalami kesulitan dalam hal akses energi dan internet yang dapat diandalkan. Oleh karena itu, terdapat kesenjangan yang besar dalam kualitas pendidikan, sehingga menyulitkan lulusan dari daerah tertinggal untuk bersaing di pasar tenaga kerja yang semakin digital (Firdaus & Ritonga, 2024). Hambatan lain yang signifikan adalah pertentangan dari para pengajar senior yang terbiasa dengan teknik pengajaran konvensional. Banyak orang menganggap teknologi baru meresahkan atau bahkan menganggapnya sebagai bahaya bagi strategi pengajaran yang telah mereka kembangkan selama puluhan tahun (Azizah et al., 2024).

Tidak adanya kompetensi digital yang mapan di antara para pengajar adalah masalah lain yang sama pentingnya. Meskipun ada alat teknis yang dapat diakses, banyak guru yang tidak mahir menggunakannya untuk meningkatkan pengalaman belajar. Tuntutan pendidikan kejuruan tidak dapat diatasi dengan baik oleh program pelatihan yang ada saat ini, yang terkadang terlalu luas (Oktaviani & Utami, 2024). Masalah penting lainnya adalah pembiayaan, karena banyak sekolah yang kesulitan untuk memelihara peralatan digital atau membeli lisensi perangkat lunak. Bahkan ketika peralatan canggih berhasil diperoleh, peralatan tersebut sering kali kurang dimanfaatkan karena guru tidak dapat menggunakannya atau karena tidak memenuhi persyaratan kurikulum.

Kemajuan teknologi yang cepat memiliki kesulitan tersendiri. Sementara prosedur birokrasi untuk modifikasi kurikulum memakan waktu terlalu lama, peralatan dan kurikulum yang baru saja diperbarui dapat dengan cepat menjadi ketinggalan zaman. Sistem keamanan siber yang lemah di banyak sekolah memperburuk masalah ini dengan mengekspos informasi pribadi ke ancaman online (Yar et al., 2024). Selain itu, tidak adanya partisipasi industri di beberapa bidang berarti bahwa pembelajaran digital terus berlanjut tanpa arahan yang jelas tentang permintaan pasar tenaga kerja yang sebenarnya. Alih-alih mempertimbangkan kebutuhan industri yang sebenarnya, beberapa institusi terpaksa membeli peralatan hanya berdasarkan tren (He et al., 2024).

Siswa juga menghadapi kesulitan psikologis, terutama mereka yang berasal dari latar belakang teknologi rendah. Saat pertama kali bersentuhan dengan teknologi digital yang canggih, banyak siswa yang merasa tidak nyaman dan tidak percaya diri. Hal ini dapat memperburuk kesenjangan sosial ekonomi di antara para siswa jika tidak ditangani dengan benar (Pettalongi et al., 2024). Untuk mengatasi berbagai kendala tersebut, diperlukan strategi komprehensif yang menggabungkan penyelarasan kurikulum dengan tuntutan industri, pelatihan guru yang berkelanjutan, pemerataan infrastruktur, dan penciptaan ekosistem digital yang aman dan berkelanjutan (Hasibuan et al., 2024). Transformasi digital Teaching Factory terancam tidak memberikan hasil yang diinginkan dalam hal melatih tenaga terampil untuk era Industri 4.0 jika solusi komprehensif tidak ditemukan.

**Peluang (Opportunities):** Peningkatan daya saing lulusan, adopsi teknologi global seperti AI/VR.

Pendidikan kejuruan di Indonesia sedang mengalami revolusi dengan penggabungan teknologi digital mutakhir seperti AI, VR, dan IoT ke dalam Teaching Factory. Program-program ini memberikan siswa keterampilan yang mereka butuhkan untuk industri dengan pertumbuhan tinggi seperti manufaktur maju, energi terbarukan, dan layanan digital dengan mengintegrasikan kebutuhan Industri 4.0 ke dalam kurikulum mereka. Karena perusahaan-perusahaan global semakin mencari spesialis yang mahir dalam teknologi digital, para lulusan memiliki keunggulan di pasar kerja lokal dan internasional. Pendidikan mutakhir kini tersedia bahkan di lokasi terpencil berkat simulasi imersif dan sistem pembelajaran adaptif, yang juga meningkatkan kualitas pelatihan sekaligus menurunkan biaya (Hevko et al., 2023).

Memenuhi kebutuhan digital dari sektor UKM yang cukup besar di Indonesia, yang mempekerjakan 97% dari populasi tenaga kerja, menghadirkan potensi yang signifikan. Lulusan dari pabrik-pabrik pengajaran yang mengintegrasikan kontrol kualitas berbasis AI, sistem manufaktur otomatis, dan platform e-commerce siap menjadi ujung tombak transformasi digital UKM. Siswa SMK dapat mendukung perusahaan lokal dan mendapatkan penghasilan yang lebih besar dengan mendapatkan kredensial mikro dalam keterampilan digital tertentu. Pada saat yang sama, peluang baru diciptakan oleh gerakan keberlanjutan global, karena teknologi digital mengajarkan optimalisasi energi dan konsep ekonomi sirkular, yang semakin dicari oleh perusahaan yang peduli lingkungan di seluruh dunia (Meria et al., 2024).

Melalui program kembar dengan sekolah kejuruan di negara-negara terkemuka di bidang teknologi seperti Jerman dan Jepang, aliansi internasional meningkatkan keuntungan ini (Ueno et al., 2004). Melalui berbagi pengetahuan, sertifikasi bersama, dan magang virtual yang dimungkinkan oleh kemitraan ini, para siswa dapat memperluas jaringan profesional mereka dan terpapar dengan standar internasional. Untuk mengatasi kendala infrastruktur dan geografis, solusi mobile-first memanfaatkan tingkat penetrasi ponsel pintar di Indonesia yang mencapai 80% untuk menawarkan pelatihan berbantuan AR dan modul pembelajaran berukuran kecil. Kaum muda Indonesia, yang lebih dari setengahnya berusia di bawah 30 tahun, berperan sebagai katalisator alami untuk inovasi dan adopsi digital (Putri et al., 2024).

Untuk mengembangkan upaya ini, program pemerintah seperti Digital Talent Scholarship dan kolaborasi dengan perusahaan digital raksasa seperti Google dan Microsoft menawarkan perancah yang penting. Indonesia dapat menjadikan sistem pendidikan vokasi sebagai pusat inovasi dan pengembangan talenta dengan menggabungkan kurikulum yang selaras dengan industri dengan peluang pengembangan keterampilan hibrida (seperti perawatan kesehatan + AI atau teknologi pertanian + drone) (Rama et al., 2023). Visi utamanya adalah mengubah Teaching Factory menjadi pusat solusi digital dalam negeri yang kompetitif di seluruh dunia dan menangani isu-isu lokal, seperti perikanan berkelanjutan dan tekstil pintar. Perubahan dari mengekspor tenaga kerja ke pengembangan teknologi ini berpotensi membentuk kembali posisi Indonesia dalam ekonomi digital global.

**Ancaman (Threats):** Ketergantungan pada pembiayaan pemerintah, kesenjangan digital antarwilayah.

Efektivitas dan keberlanjutan pabrik pengajaran digital di Indonesia terancam karena sejumlah masalah serius. Kerentanan sistemik diakibatkan oleh ketergantungan yang tinggi terhadap pendanaan pemerintah, seperti yang ditunjukkan oleh pandemi 2020, ketika realokasi anggaran menyebabkan perbaikan infrastruktur digital yang penting ditunda. Meskipun strategi pendanaan dari atas ke bawah menghambat otonomi kelembagaan dan kreativitas lokal, proses pengadaan yang birokratis terkadang membuat sekolah membeli peralatan yang sudah ketinggalan zaman sebelum peralatan tersebut digunakan sepenuhnya. Inisiatif-inisiatif ini menghadapi risiko dihentikan secara tiba-tiba di tengah gejolak politik atau ekonomi jika tidak memiliki strategi pendanaan yang bervariasi yang melibatkan kemitraan dengan sektor swasta (Allen, 2024).

Kesenjangan pendidikan yang ada diperparah oleh perbedaan regional yang mencolok dalam akses internet. Meskipun 5G dan pembelajaran berbasis cloud sangat populer di wilayah metropolitan seperti Jakarta, banyak sekolah kejuruan di Indonesia Timur yang mengalami pemadaman listrik secara berkala dan kecepatan internet kurang dari 10 Mbps. Karena sistem dua tingkat yang diciptakan oleh kesenjangan infrastruktur ini, lulusan dari daerah pedesaan memiliki hambatan besar dalam mendapatkan pekerjaan. Keusangan teknologi yang cepat memperburuk masalah ini; investasi dalam sistem VR atau protokol IoT sering kali menjadi usang dalam dua hingga tiga tahun, melampaui siklus pengadaan di Indonesia yang hanya 12 hingga 18 bulan, sehingga para siswa memiliki keterampilan yang usang (Yaqin et al., 2023).

Tantangan lainnya termasuk pertentangan dari industri dan kelemahan keamanan siber. Informasi sensitif dan peralatan pelatihan industri rentan terhadap gangguan karena lebih dari 60% sekolah kejuruan tidak memiliki perlindungan keamanan jaringan dasar (Sarowa et al., 2023). Sementara itu, banyak UKM melihat teknologi digital sebagai hal yang merepotkan dan bukan sebagai peningkat produktivitas, terutama di industri yang lebih konvensional seperti tekstil dan mobil. Ketidaksiapan budaya ini membuat perusahaan enggan mempekerjakan lulusan dengan keterampilan digital, yang dapat menghasilkan tenaga kerja yang "overqualified" kecuali jika sekolah dapat menunjukkan kepada pengusaha pengembalian investasi yang jelas (Yuen & Baskaran, 2023).

Proyek ini harus berurusan dengan masalah kedaulatan teknis dan sumber daya manusia. Ironisnya, lulusan berprestasi dari daerah yang belum berkembang seperti NTT pergi ke Jawa atau ke luar negeri untuk mencari pekerjaan yang lebih baik, yang berkontribusi pada brain drain (Bou-Habib, 2022). Selain menghambat penciptaan solusi digital yang diadaptasi secara lokal untuk menjawab kebutuhan industri di Indonesia, ketergantungan yang tinggi pada teknologi impor dari Cina, Jepang, dan negara-negara Barat menimbulkan sejumlah kekhawatiran, termasuk gangguan pasokan geopolitik dan biaya lisensi yang berkelanjutan (Margaretha et al., 2024).

Kelangsungan hidup jangka panjang terancam oleh kelemahan sistemik. Biaya pemeliharaan laboratorium digital menghabiskan 25-30% dari investasi awal setiap tahunnya, yang mengakibatkan utang yang tidak terkendali. Banjir dan gelombang panas yang disebabkan oleh perubahan iklim menyebabkan gangguan infrastruktur di tempat-tempat yang sudah berisiko. Perubahan kebijakan secara berkala di bawah pemerintahan yang berganti, bersama dengan rebranding program yang sedang berlangsung, mengancam stabilitas dan komitmen kelembagaan. Program Teaching Factory digital di Indonesia terancam tidak dapat mewujudkan

potensi revolusionernya dalam pendidikan kejuruan jika tidak ada solusi yang komprehensif untuk mengatasi masalah-masalah yang saling terkait ini (Wahjusaputri et al., 2024).

## Conclusions

Digitalisasi model Teaching Factory (TEFA) dalam pendidikan kejuruan menawarkan peluang besar untuk meningkatkan kerja sama antara dunia industri dan pendidikan. Pembelajaran menjadi lebih dinamis, berbasis data, dan sejalan dengan tuntutan pasar kerja dengan memanfaatkan teknologi seperti digital twin, kecerdasan buatan, dan Internet of Things. Namun, terdapat sejumlah hambatan signifikan dalam adopsi di Indonesia, seperti perbedaan infrastruktur digital antara daerah perkotaan dan pedesaan, penolakan dari pendidik senior, serta keterbatasan finansial dan hukum. Keberlanjutan juga terancam oleh ketergantungan yang kuat pada pendanaan pemerintah dan sedikitnya keterlibatan sektor bisnis.

Sebaliknya, digitalisasi meningkatkan daya saing lulusan melalui aliansi industri internasional dan teknologi canggih seperti AI dan VR. Keberhasilan juga bergantung pada tanggung jawab pendidik yang berubah dari guru konvensional menjadi fasilitator berbasis teknologi. Namun, kebijakan yang inklusif dan berkelanjutan harus diterapkan untuk mengatasi berbagai masalah termasuk kesenjangan digital, brain drain, dan keusangan teknologi yang cepat. Kasus-kasus sukses dari Singapura dan Jerman menunjukkan nilai dari kerangka kerja peraturan yang kuat, pendanaan multi-sektor, dan kurikulum yang dapat disesuaikan.

Untuk memaksimalkan potensi TEFA digital, diperlukan strategi yang komprehensif, termasuk pemerataan infrastruktur, pelatihan guru, dan kolaborasi dengan industri. Pemerintah harus memperkuat standar kompetensi digital, sementara institusi pendidikan harus mengadopsi pendekatan kolaboratif antargenerasi. Dengan langkah-langkah tersebut, digitalisasi TEFA tidak hanya dapat menghasilkan lulusan yang siap kerja, tetapi juga mendorong inovasi dan pertumbuhan ekonomi berbasis teknologi di Indonesia.

## References

- Adha, L. A. (2020). Digitalisasi industri dan pengaruhnya terhadap ketenagakerjaan dan hubungan kerja di Indonesia. *Jurnal Kompilasi Hukum*, 5(2), 267–298.
- Aisyah, N., Khotima, H., & Ismail, F. (2024). Inovasi dalam organisasi pendidikan. *Al-Muaddib: Jurnal Kajian Ilmu Kependidikan*, 6(3), 665–678.
- Allen, B. (2024). Procurement and public spending: amplification and emergence of issues arising from COVID-19. In *Research Handbook on Public Management and COVID-19* (pp. 86–98). Edward Elgar Publishing.
- Alnoth, Z. C. N. (2024). Kerja Sama Indonesia-Jerman Melalui Program Ausbildung Dalam Bidang Pendidikan Vokasi. *Sentri: Jurnal Riset Ilmiah*, 3(6), 2997–3012.
- Amiruddin, G. E., Gani, A. H., & Syafar, F. (2024). A Frame Work for Development of Hybrid-teaching Factory (H-TEFA) Model on Virtual Lab application [J]. *Asian Journal of Education and Social Studies*, 50(5), 432–441.
- Analytica, O. (2022). ASEAN Digital Masterplan 2025 faces major hurdles. *Emerald Expert Briefings*, oxaan-db.
- Anwar, S. (2019). Revolusi industri 4.0 Islam dalam merespon tantangan teknologi digitalisasi. *Jurnal Studi KeIslaman*, 8(2), 16–28.
- Arifin, I. (2019). *Kepemimpinan Religio-Humanistik Bidang Pendidikan pada Era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0*.
- Ayuningtias, H. G. (2023). Digital Skills and Competencies for a Changing Labor Market in Indonesia. In *Developing Skills and Competencies for Digital and Green Transitions* (pp. 129–150). IGI Global Scientific Publishing.
- Azizah, A. N., Azzahra, S. A., Wulandari, A., Aprilia, R. D., & Sabillah, S. N. (2024). TINJAUAN LITERATUR TENTANG TANTANGAN DAN PELUANG PROFESI GURU DI ERA DIGITAL. *PANDU: Jurnal Pendidikan Anak Dan Pendidikan Umum*, 2(4), 56–64.
- Bikas, H., Johansson, P. E. C., Di Falco, R., Stavridis, J., Niemi, E., Azpilgain, Z., Fumagalli, L., Thiede, B., & Stavropoulos, P. (2021). A Teaching Factory knowledge exchange network. *Conference on Learning Factories*.
- Boejang, H. Bin, Azwan, S., Rasib, A. H. B. A., Ahmad, U. H. B., Paijan, L. H. B., & Hassan, M. Z. Bin. (2024). Teaching Factory 2.0: The New Approach to Teaching Factory Concept. *2024 International Conference on TVET Excellence & Development (ICTeD)*, 112–117.
- Bou-Habib, P. (2022). The brain drain as exploitation. *Politics, Philosophy & Economics*, 21(3), 249–268.
- Cozmiuc, D., & Petrisor, I. (2018). Industrie 4.0 by siemens: Steps made today. *Journal of Cases on Information Technology (JCIT)*, 20(2), 30–48.
- Darmastuti, S., Nidatya, N., Saraswati, D. P., & Nashir, A. K. (2024). Kerja Sama ASEAN di Bidang Ekonomi Digital: Tinjauan terhadap ASEAN Digital Economy Framework Agreement. *Jurnal MADANI: Ilmu Pengetahuan, Teknologi, Dan Humaniora*, 7(2), 85–103.
- Dehbozorgi, M., & CONTESTABILE, D. (2023). *Bridging the Skill Gap in Engineering Education: Designing Learning Factories for Industry 4.0 and 5.0*.

- Dumbuya, E. (2023). Developing a Framework for Revising the Curriculum to Incorporate Future Skills such as Digital Literacy, Critical Thinking, and Adaptability, While. *Critical Thinking, and Adaptability, While* (September 04, 2023).
- Effendi, R., Zulfikar, I., Rusba, K., Kartika, S. A., & Utama, S. D. (2024). Penerapan Teknologi Realitas Virtual untuk Pelatihan Keselamatan Pekerja dalam Operasi Mesin Industri Berat. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)*, 7(2), 746–754.
- Eras Ortega, M. V., Ponce Tituaña, L. G., Benavides Galvez, J. B., & Sucasaire Monroy, W. (2024). Development and Execution of An Immersive Virtual Environment Using Virtual Reality to Train Teachers at The Higher Education Level. *International Journal of Religion*, 12, 6226–6233.
- Fadillah, M. A., Akbar, M. F., & Jannati, R. P. (2024). Potensi dan Tantangan: ChatGPT, VR, AR, dan Laboratorium Virtual dalam Pendidikan. *Scientificum Journal*, 1(6), 260–276.
- Firdaus, K., & Ritonga, M. (2024). PERAN TEKNOLOGI DALAM MENGATASI KRISIS PENDIDIKAN DI DAERAH TERPENCIL. *Jurnal Kepemimpinan Dan Pengurusan Sekolah*, 9(1), 43–57.
- Fung, M., Taal, R., & Sim, W. (2021). SkillsFuture: The roles of public and private sectors in developing a learning society in Singapore. In *Powering a learning society during an age of disruption* (Vol. 58, pp. 195–208). Springer Singapore.
- Ghosh, L., & Ravichandran, R. (2024). Emerging technologies in vocational education and training. *Journal of Digital Learning and Education*, 4(1), 41–49.
- Grubaugh, S., & Levitt, G. (2023). Artificial intelligence and the paradigm shift: Reshaping education to equip students for future careers. *International Journal of Social Sciences and Humanities Invention*, 10(6), 7931–7941.
- Gu, M. (2024). Empowering Vocational Education through Digital Technology: Innovating the Teaching Landscape. *International Journal of New Developments in Education*, 6(6), 131–136.
- Gu, P. (2024). Enhancing Educational Outcomes by Boosting Artificial Intelligence Application in Personalized Learning. *Science Insights Education Frontiers*, 24(1), 3831–3833.
- Habibi, A., Sofyan, S., & Mukminin, A. (2023). Factors affecting digital technology access in vocational education. *Scientific Reports*, 13(1), 5682.
- Habibullah, M. (2022). The Role of Teachers in the Development of ICT-Based Learning Innovations. *Jurnal Inovasi Dan Teknologi Pembelajaran (JINOTEP): Kajian Dan Riset Dalam Teknologi Pembelajaran*, 9(3), 302–311.
- Hamzah, F., Abdullah, A. H., & Ma, W. (2024). Advancing education through Technology Integration, innovative pedagogies and emerging trends: A systematic literature review. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 41(1), 44–63.
- Hasibuan, K., Ledy, A., & Az-Zahra, F. Z. (2024). Curriculum Development For 21st Century Skills: Trends, Challenges, and Solutions. *MODELING: Jurnal Program Studi PGMI*, 11(4), 295–305.
- He, W., Zhang, B., & Zhang, J. (2024). The Impact of Technology on the Labor Market: An Analysis of the Changing Landscape. *9th International Conference on Financial Innovation and Economic Development (ICFIED 2024)*, 498–504.
- Hevko, I., Siaonan, S., & Hongwei, W. (2023). Innovative interactive technologies in the training of professional education specialists by means of digital technologies. *Journal of Education, Health and Sport*, 37(1), 166–173.
- Hidayatullah, R. S., Kurniawan, W. D., Soeryanto, S., & Wulandari, R. N. A. (2024). ASSESSING TEACHING FACTORY READINESS IN MECHANICAL ENGINEERING EDUCATION USING GOOGLE FORMS TO IMPROVE 21ST CENTURY SKILLS. *JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Informatika)*, 9(4), 2426–2434.
- James Relly, S., & Laczik, A. (2022). Apprenticeship, employer engagement and vocational formation: a process of collaboration. *Journal of Education and Work*, 35(1), 1–15.
- Jia, W., & Huang, X. (2023). Digital literacy and vocational education: Essential skills for the modern workforce. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 13(5), 2195–2202.
- Kamruzzaman, M. (2023). The Role of Mentoring as an Approach to Teacher Professional Development. *Development*, 12, 770–779.
- Karduck, A. P. (2013). Digital ecosystems and SEED co-innovation in education. *2013 7th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (DEST)*, 31–36.
- Khan, M. P., Talib, N. A., & Kowang, T. O. (2018). Development of sustainability framework based on the theory of resource based view. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 8(7), 636–647.
- Khoirunnisa, N., Hidayat, J., Saefullah, M. Z., & Wardoyo, S. (2025). PENGARUH TRANSFORMASI DIGITAL TERHADAP PENGAJARAN BERBASIS PRAKTIK DI PENDIDIKAN VOKASI. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1).
- Kristanto, A., Aisyah, S., Febrianti, F., Dewi, U., Hidayati, A., Budi, U. L., & Susarno, L. H. (2024).

- Standardization in Digital Teaching and Learning in Higher Education: Indonesia Evidence. *Journal of Education Technology*, 8(2), 257–263.
- Kulikova, T. I. (2024). “DIGITAL” TEACHER: NEW ROLES, FUNCTIONS AND COMPETENCES. *Russian Journal of Education and Psychology*, 15(4), 482–497.
- Lander, B. (2022). E-Learning and online learning as an innovative capital in Japanese schools. In *Managing school intellectual capital for strategic development* (pp. 98–111). Routledge.
- Mahamad, S., Sulaiman, S., & Faizul, A. N. I. (2024). Enhancing the Learning of Computer Internal Systems Through Augmented Reality. *2024 8th International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBE)*, 1–4.
- Maksum, H., Purwanto, W., Ampera, D., Yuvenda, D., & Hasan, H. (2024). Improving Problem-Solving and Communication Skills in Automotive Vocational Education through the Development of Teaching Factory Model with Problem-Based Learning (TEFA-PBL) Concept. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 12(2), 364–386.
- Maksum, H., Purwanto, W., Triono, S., & Hasan, H. (2025). Enhancing Student Achievement through a Digital Learning Module: The TEFA-T Model in a Teaching Factory of Automotive Vocational Education. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 19(6).
- Margaretha, R., Syuzairi, M., & Mahadiansar, M. (2024). Digital transformation in the maritime industry: Opportunities and challenges for Indonesia. *Journal of Maritime Policy and Strategy*, 1(1), 1–12.
- Maruanaya, R. F., & Hariyanto, D. (2021). Bridging competency gap between vocational school and industry by adopting the German BLock platform. *Journal of Physics: Conference Series*, 1833(1), 12020.
- Maryani, L., Nur, J., Utami, S., & Nurnaifah, I. I. (2023). Strengthening School Management with Digital Education Technology to Improve the Quality of Educational Output. *Indonesian Journal of Educational Research and Review*, 6(2), 446–465.
- Meria, L., Bangun, C. S., & Edwards, J. (2024). Exploring Sustainable Strategies for Education through the Adoption of Digital Circular Economy Principles. *International Transactions on Education Technology (ITEE)*, 3(1), 62–71.
- Mukhidin, M., & Mupita, J. (2018). Bridging the Skills Gap Through Teaching Factory (TEFA). *International Conference on Indonesian Technical Vocational Education and Association (APTEKINDO 2018)*, 218–221.
- Nazmi, R., Ardiyanto, J., Anshori, M. I., Siswanto, D. E., & Wirawan, R. (2023). Adaptive learning in the future of educational management adapts to student needs. *Al-Fikrah: Jurnal Manajemen Pendidikan*, 11(2), 272–283.
- Niculcea, T. (2024). Implementarea tehnologiilor moderne în învățământul profesional tehnic. *Univers Pedagogic*, 82(2), 104–109.
- Ningtyas, S. Z., & Pradikto, S. (2025). Pengaruh Metode Pembelajaran Konvensional dan Game terhadap Pembelajaran KWU dalam Meningkatkan Minat Belajar SMAN 4 Pasuruan. *Jurnal Kajian Dan Penelitian Umum*, 3(1), 115–124.
- Nurtanto, M., Sudira, P., Sofyan, H., Kholifah, N., & Triyanto, T. (2022). Professional identity of vocational teachers in the 21 st century in Indonesia. *Journal of Engineering Education Transformations*, 30–36.
- Oktaviani, H. I., & Utami, D. D. (2024). Development Of Training Programs To Enhance Teachers' Digital Skills With Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). *Journal of Educational Technology Studies and Applied Research*, 1(2).
- Okuyelu, O., & Adaji, O. (2024). AI-driven real-time quality monitoring and process optimization for enhanced manufacturing performance. *J. Adv. Math. Comput. Sci*, 39(4), 81–89.
- Pasupuleti, M. K. (2024). Smart Industry 4.0: Transformative Innovations and Advanced Technologies. *Transformative Innovations in Smart Manufacturing; IGI Global: Hershey, PA, USA*.
- Pettalongi, S. S., M Londol, M., & Umboh, S. E. (2024). Disparities in Digital Education: Socioeconomic Barriers to Accessing Online Learning Resources. *International Journal of Social and Human*, 1(3), 181–189.
- Pradana, D. H. E., Yoto, Y., Romadin, A., Permana, F., & Cendana, W. (2023). Improving the quality of vocational education through work-based learning in the era of the ASEAN Economic Community. *Jurnal Inovasi Teknologi Dan Edukasi Teknik*, 3(6), 263–269.
- Pradana, M. R. A., & Josiah, T. (2024). Application of technology in educational management in rural schools. *Ensiklopedia: Jurnal Pendidikan Dan Inovasi Pembelajaran Saburai*, 4(01), 37–43.
- Putri, P. A. N., Gusti, Y. K., Judijanto, L., Lubis, R., & Utomo, B. (2024). Digital Marketing Trends and Their Effectiveness in Reaching Gen Z Consumers. *Dinasti International Journal of Education Management and Social Science*, 6(1), 360–366.
- Rahmi, R. (2023). Urgensi kompetensi guru dalam pelaksanaan pembelajaran berbasis digital pendidikan. *AL-KAINAH: Journal of Islamic Studies*, 2(1), 69–78.
- Rama, A., Ambiyar, A., Lapisa, R., & Verawardina, U. (2023). Vocational technology education innovation: building a generation of experts in the digital age. *Jurnal EDUCATIO: Jurnal Pendidikan Indonesia*, 9(2),

- 1079–1097.
- Reyes, J. (2023). The Drivers and the Changes of the Digital Economy and the Skills Gap in the Formal Education. *Scholedge International Journal of Multidisciplinary & Allied Studies*, 10(1).
- Rios, O., Roque, A., & Martínez, L. R. (2020). *New trends in the use of artificial intelligence for the industry 4.0*. IntechOpen.
- Rudiatna, R. D. (2022). Strategi Peningkatan Kompetensi Siswa Melalui Penerapan New Teaching factory Pada Kompetensi Keahlian Kriya Kayu Smk Negeri 14 Bandung. *JOEL: Journal of Educational and Language Research*, 2(4), 617–632.
- Safira, L., & Azzahra, N. F. (2022). *Addressing the employability of SMK graduates through improved English curriculum*. Policy Paper.
- Sarowa, S., Kumar, M., Kumar, V., & Bhanot, B. (2023). Cyber Security Challenges and Proactive Measures in Education Cyberspace. *2023 International Conference on Advancement in Computation & Computer Technologies (InCACCT)*, 333–337.
- Sesana, M., & Tavola, G. (2021). Resilient Manufacturing Systems enabled by AI support to AR equipped operator. *2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 1–5.
- Shin, J., & Son, J. (2024). Education and Training Using Digital Twin in Hazardous Chemical Manufacturing Plants. *Human Factors in Design, Engineering, and Computing*, 159(159).
- Somantri, M., & Pramudita, R. (2024). Enhancing Industry's Role in Vocational Education: An Analysis of Challenges and Opportunities Based on a Literature Review. *2024 9th International STEM Education Conference (ISTEM-Ed)*, 1–7.
- Souto-Otero, M., & Brown, P. (2024). The rise of the digital labour market: characteristics and implications for the study of education, opportunity and work. *Journal of Education and Work*, 37(1–4), 1–16.
- Suay, A. P., Van Vaerenbergh, S., Piles, M., Laparra, V., Pascual-Venteo, A. B., Ruescas, A. B., Fernandez-Moran, R., Martínez-García, M., Adsua, J. E., & Amorós, J. (2022). Learning about student performance from Moodle logs in a higher education context. *2022 XII International Conference on Virtual Campus (JICV)*, 1–4.
- Subekti, M. A., Suryadi, S., & Ahmad, M. (2024). Transforming Teacher Performance: The Impact of Training and Professional Development on Competence Improvement. *Proceeding of International Conference on Islamic Education (ICIED)*, 9(1), 218–229.
- Sukmaningrum, D., & Riatmaja, D. S. (n.d.). Investigasi Revolusi Industri 4.0 Dan Society 5.0 Dalam Konteks Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals). *Jurnal Aplikasi Bisnis*, 21(1).
- Takhahasi, Y., & Rossi, S. (2024). Educational Leadership Strategies In Supporting Technology Adaptation In Japanese Private Schools. *JMPI: Jurnal Manajemen, Pendidikan Dan Pemikiran Islam*, 2(2), 101–111.
- Taufik, S. C. I., Sopian, D. R., & Saputra, A. A. D. (2023). THE INFLUENCE OF THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY IN THE INDUSTRIAL FIELD. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 4(8).
- Teknowijoyo, F., & Marpelina, L. (2022). Relevansi industri 4.0 dan society 5.0 terhadap pendidikan di Indonesia. *Educatio*, 16(2), 173–184.
- Ueno, M., Kimura, T., Neudorfer, A., & Maclean, R. (2004). E-learning on TVET between Japan and Germany. *Information Technology Based Proceedings of the Fifth International Conference On Higher Education and Training, 2004. ITHET 2004.*, 117–120.
- Vercelli, G., Iacono, S., Martini, L., Zardetto, M., & Zolezzi, D. (2024). From Risk to Readiness: VR-Based Safety Training for Industrial Hazards. *ArXiv Preprint ArXiv:2412.13725*.
- Vijay, H. M., Katwe, S., & Iyer, N. (2024). Designing and Delivering Curriculum with Early Industry Exposure Integration: A Model. *Journal of Engineering Education Transformations*, 38(Special Issue 1).
- Vuorikari, R. (2022). DigComp Helping Shape the Education Ecosystem in Europe. *Annual Conference of European Distance and E-Learning Network*, 137–143.
- Wahjuspatri, S., Nastiti, T. I., Bunyamin, B., Sukmawati, W., & Johan, J. (2024). Development of Teaching Factory Model-Based Artificial Intelligence: Improving the Quality of Learning Vocational Schools in Indonesia. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 16(4), 5173–5183.
- Wang, Y. (2024). *Digital Transformation of Vocational Education: Connotation, Challenges and Pathways*.
- Widayana, G. (2023). The influence of technical skills and 21st century skills on the job readiness of vocational students. *IConVET 2022: Proceedings of the 5th International Conference on Vocational Education and Technology, IConVET 2022, 6 October 2022, Singaraja, Bali, Indonesia*, 260.
- Wu, D. (2022). Application of Digital Media Technology for Teaching in Higher Vocational Colleges Using Big Data. *Mobile Information Systems*, 2022(1), 8974147.
- Wujarso, R. (2022). Peran human capital dalam pertumbuhan ekonomi. *Journal of Information System, Applied, Management, Accounting and Research*, 6(2), 430–438.
- Yaqin, L. N., Prasajo, L. D., Haji-Othman, N. A., Yusof, N., & Habibi, A. (2023). Addressing the digital divide

- 
- in Indonesian higher education: Insights, implications, and potential solutions. In *From digital divide to digital inclusion* (pp. 291–307). Springer.
- Yar, M. A., Goh, H. G., Adnan, K., Gan, M. L., & Ponnusamy, V. (2024). Bridging Cybersecurity Education and Industry Demands: Mapping and Prioritizing Curriculum Guidelines. *2024 International Conference on Future Technologies for Smart Society (ICFTSS)*, 188–193.
- Yin, R. K. (2017). *Case study research and applications: Design and methods*. Sage publications.
- Yoshimoto, H. K., Murakami, D. Y., & Osamu, Y. (2023). The influence of teacher-student relationships on student motivation and achievement: Perspective from Japan. *Journal of Education*, 6(2), 1–12.
- Yuen, T. M., & Baskaran, S. (2023). Going digital for SMES: Adapting business model and seizing opportunities to achieve sustainable business performance. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 13(2), 437–449.
- Zukna, I., & Sassi, K. (2024). Prospek Sistem Pendidikan Vokasi di Indonesia Abad-21. *NUSRA: Jurnal Penelitian Dan Ilmu Pendidikan*, 5(4), 1578–1588.