

Efektivitas *Virtual Reality* dan *Augmented Reality* dalam Pendidikan Vokasi di Sekolah Menengah Kejuruan: Systematic Literature Review (2020–2025)

Murdiyono^{*1}, Andi Kristanto²

^{1,2}Magister Teknologi Pendidikan, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia
Email: ¹25012355002@mhs.unesa.ac.id, ²andikristanto@unesa.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) telah membawa perubahan signifikan dalam pendidikan vokasi dan pelatihan kompetensi teknik di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren penelitian, karakteristik implementasi, efektivitas, serta tantangan penggunaan VR dan AR dalam pembelajaran vokasi selama periode 2020–2025. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengacu pada pedoman PRISMA. Proses pencarian literatur dilakukan melalui basis data *Scopus* dan *Google Scholar*, sehingga diperoleh 27 artikel terindeks yang memenuhi kriteria inklusi untuk dianalisis berdasarkan fokus penelitian, bidang kompetensi, metode pembelajaran, jenis teknologi, dan hasil implementasi. Hasil kajian menunjukkan bahwa penelitian VR dan AR dalam pendidikan vokasi mengalami peningkatan yang signifikan dan berkembang dari sekadar media simulasi menuju *immersive learning*, *virtual laboratory*, *game-based learning*, *metaverse learning*, dan integrasi *Artificial Intelligence* (AI). Implementasi teknologi VR dan AR banyak diterapkan pada bidang otomotif, elektronika, manufaktur, konstruksi, kesehatan, dan pemrograman. Selain itu, penggunaan VR dan AR terbukti efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa pada aspek kognitif, afektif, dan psikomotor melalui pengalaman belajar yang lebih interaktif, realistis, dan kontekstual. Meskipun demikian, implementasi teknologi *immersive learning* masih menghadapi tantangan berupa keterbatasan infrastruktur, biaya perangkat, kompetensi guru, serta pengembangan konten pembelajaran. Penelitian ini menyimpulkan bahwa VR dan AR memiliki potensi besar dalam mendukung transformasi pendidikan vokasi yang lebih adaptif, inovatif, dan relevan dengan kebutuhan industri pada era Revolusi Industri 4.0 dan *Society 5.0*.

Kata kunci: *Augmented Reality*, *Immersive Learning*, Pendidikan Vokasi, SMK, *Systematic Literature Review*, *Virtual Reality*.

Effectiveness of Virtual Reality and Augmented Reality in Vocational Education at Vocational High Schools: A Systematic Literature Review (2020–2025)

Abstract

The development of *Virtual Reality* (VR) and *Augmented Reality* (AR) technologies has significantly transformed vocational education and technical competency training in Vocational High Schools (SMK). This study aims to analyze research trends, implementation characteristics, effectiveness, and challenges of VR and AR utilization in vocational learning during the 2020–2025 period. The study employed a *Systematic Literature Review* (SLR) method based on the PRISMA guidelines. Literature searching was conducted through the *Scopus* and *Google Scholar* databases, resulting in 27 indexed articles that met the inclusion criteria. The selected studies were analyzed according to research focus, competency areas, learning methods, technology types, and implementation outcomes. The findings indicate that research on VR and AR in vocational education has increased significantly and evolved from simulation-based media toward *immersive learning*, *virtual laboratories*, *game-based learning*, *metaverse learning*, and *Artificial Intelligence* (AI) integration. VR and AR technologies have been widely implemented in automotive, electronics, manufacturing, construction, healthcare, and programming fields. Furthermore, VR and AR have proven effective in improving students' cognitive, affective, and psychomotor learning outcomes through more interactive, realistic, and contextual learning experiences. However, *immersive learning* implementation still faces several challenges, including limited infrastructure, high technology costs, teacher competency, and learning content development. This study concludes that VR and AR have substantial potential to support the transformation of vocational education into a more adaptive, innovative, and industry-relevant learning system in the era of Industry 4.0 and *Society 5.0*.

Keywords: *Augmented Reality, Immersive Learning, Systematic Literature Review, Virtual Reality, Vocational Education, Vocational High School.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan Revolusi Industri 4.0 telah mendorong transformasi besar dalam berbagai sektor kehidupan, termasuk pendidikan vokasi. Integrasi teknologi digital, *Internet of Things* (IoT), *artificial intelligence* (AI), *big data*, dan otomatisasi industri menyebabkan perubahan signifikan terhadap kompetensi tenaga kerja yang dibutuhkan di era modern. Dunia industri saat ini tidak hanya membutuhkan tenaga kerja yang memiliki keterampilan teknis dasar, tetapi juga kemampuan adaptasi teknologi, pemecahan masalah, kolaborasi, serta literasi digital yang tinggi [1],[2]. Oleh karena itu, pendidikan vokasi memiliki peran strategis dalam mempersiapkan lulusan yang mampu beradaptasi dengan perkembangan teknologi secara berkelanjutan.

Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) merupakan bagian dari pendidikan vokasi yang diarahkan untuk menghasilkan lulusan yang siap kerja sesuai kebutuhan dunia usaha dan dunia industri. Namun, pelaksanaan pembelajaran praktik di SMK masih menghadapi berbagai kendala, seperti keterbatasan sarana praktik, tingginya biaya peralatan sesuai standar industri, keterbatasan bahan praktik, serta risiko keselamatan kerja pada kegiatan di bengkel atau laboratorium [3]. Selain itu, proses pembelajaran praktik sering kali belum mampu merepresentasikan kondisi kerja industri yang semakin terdigitalisasi sehingga menimbulkan kesenjangan antara kompetensi lulusan dengan kebutuhan industri saat ini [4].

Meningkatnya tuntutan digitalisasi industri menuntut peserta didik SMK memiliki pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan berbasis teknologi. Metode pembelajaran konvensional yang hanya mengandalkan demonstrasi dan praktik langsung dinilai belum sepenuhnya mampu menggambarkan kompleksitas lingkungan kerja modern yang semakin terotomatisasi [5]. Oleh karena itu, diperlukan inovasi pembelajaran yang mampu menghadirkan pengalaman belajar yang aman, interaktif, dan mendekati kondisi kerja nyata.

Salah satu inovasi yang berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir adalah teknologi imersif berupa *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR). VR merupakan teknologi yang memungkinkan pengguna berinteraksi secara penuh dalam lingkungan virtual tiga dimensi sehingga menghasilkan pengalaman belajar yang lebih mendalam (*immersive learning*), sedangkan AR mengintegrasikan objek virtual dengan lingkungan nyata untuk memperkaya pengalaman belajar secara *real-time* [3],[4]. Perkembangan perangkat keras dan perangkat lunak yang semakin terjangkau telah mendorong pemanfaatan VR dan AR secara lebih luas dalam bidang pendidikan.

VR dan AR memiliki potensi besar untuk mendukung pembelajaran praktik di pendidikan vokasi. Melalui VR, siswa dapat melakukan simulasi penggunaan mesin, prosedur kerja, maupun pelatihan keselamatan tanpa menghadapi risiko nyata di lapangan [8]. Sementara itu, AR memungkinkan visualisasi objek, komponen, dan prosedur teknis secara interaktif melalui perangkat *mobile* maupun *wearable devices*, sehingga membantu peserta didik memahami konsep yang kompleks dengan lebih mudah [9]. Pemanfaatan teknologi imersif tersebut mampu menciptakan pengalaman belajar yang menyerupai kondisi kerja sebenarnya dan mendukung pengembangan kompetensi yang relevan dengan kebutuhan industri.

Berbagai penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan VR dan AR memberikan dampak positif terhadap proses pembelajaran. Radianti et al. melaporkan bahwa teknologi VR mampu meningkatkan interaktivitas, keterlibatan, dan kualitas pengalaman belajar dalam lingkungan virtual [10]. Makransky dan Petersen melalui *Cognitive Affective Model of Immersive Learning* menjelaskan bahwa pengalaman belajar berbasis VR dapat meningkatkan keterlibatan emosional dan motivasi intrinsik peserta didik [11]. Selain itu, Hamilton et al. menunjukkan bahwa teknologi *immersive learning* berpotensi meningkatkan pemahaman konseptual, keterampilan prosedural, dan efektivitas pembelajaran pada berbagai bidang pendidikan [12].

Teknologi AR juga menunjukkan pengaruh positif terhadap hasil belajar peserta didik. Kajian terbaru menunjukkan bahwa AR mampu meningkatkan pemahaman konsep, retensi belajar, dan keterampilan praktik melalui visualisasi tiga dimensi yang lebih interaktif dan kontekstual [4]. Dalam pembelajaran teknik, AR membantu peserta didik memahami struktur mesin, sistem kelistrikan, serta prosedur kerja secara lebih mudah melalui representasi objek virtual yang terintegrasi dengan lingkungan nyata [3]. Selain itu, penggunaan AR terbukti dapat meningkatkan motivasi, perhatian, dan keterlibatan peserta didik karena menghadirkan pengalaman belajar yang lebih menarik dan personal [5].

Selain meningkatkan motivasi dan pemahaman konsep, VR dan AR juga berkontribusi terhadap peningkatan keselamatan kerja dalam pendidikan vokasi. Simulasi berbasis VR memungkinkan peserta didik mempelajari prosedur keselamatan dan pengoperasian peralatan tanpa menghadapi risiko kecelakaan secara langsung [8]. Hal ini sangat penting pada bidang otomotif, manufaktur, pengelasan, dan kelistrikan yang

memiliki tingkat risiko kerja tinggi. Melalui lingkungan virtual, peserta didik dapat memahami prosedur operasional standar dan langkah mitigasi risiko sebelum melakukan praktik di bengkel maupun industri [17].

Pemanfaatan VR dan AR dalam pendidikan teknik juga mendukung pembelajaran yang berpusat pada peserta didik (*student-centered learning*). Teknologi imersif memungkinkan peserta didik belajar secara mandiri, eksploratif, dan interaktif melalui pengalaman belajar yang lebih autentik [12]. Lingkungan virtual memungkinkan pengulangan praktik tanpa batas sehingga membantu penguasaan keterampilan secara bertahap [11]. Selain itu, pengalaman multisensori yang dihasilkan oleh teknologi imersif dapat meningkatkan keterlibatan kognitif dan memperkuat proses pembentukan memori dalam pembelajaran [12].

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, implementasi VR dan AR dalam pendidikan vokasi masih menghadapi sejumlah tantangan. Tingginya biaya perangkat, kebutuhan pengembangan konten, serta keterbatasan infrastruktur menjadi kendala utama dalam penerapan teknologi imersif [13]. Selain itu, kompetensi guru dalam memanfaatkan teknologi digital serta kesiapan institusi pendidikan turut memengaruhi keberhasilan implementasinya [9]. Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa efektivitas VR tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi sangat dipengaruhi oleh kualitas desain instruksional yang digunakan [14].

Efektivitas VR dan AR juga dipengaruhi oleh faktor pedagogis dan psikologis peserta didik. Lingkungan belajar yang terlalu kompleks dapat menimbulkan *cognitive overload* sehingga mengurangi efektivitas pembelajaran [11]. Selain itu, beberapa pengguna masih mengalami *cybersickness* atau ketidaknyamanan fisik ketika menggunakan perangkat VR dalam waktu yang lama [15]. Oleh karena itu, pengembangan pembelajaran berbasis VR dan AR perlu mempertimbangkan aspek pedagogi, ergonomi, serta karakteristik pengguna agar pengalaman belajar yang dihasilkan tetap optimal.

Penelitian mengenai VR dan AR dalam pendidikan vokasi mengalami peningkatan yang signifikan selama periode 2020–2025. Kajian yang dilakukan mencakup berbagai bidang, seperti otomotif, manufaktur, konstruksi, elektronika, kesehatan, dan keselamatan kerja industri [3]. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengembangan media dan pengujian efektivitas dalam konteks yang terbatas, sehingga belum memberikan gambaran yang komprehensif mengenai dampak jangka panjang teknologi imersif terhadap kompetensi peserta didik.

Beberapa penelitian melaporkan bahwa VR dan AR mampu meningkatkan keterampilan praktik, motivasi belajar, dan keterlibatan peserta didik secara signifikan [8]. Namun, penelitian lain menunjukkan bahwa peningkatan hasil belajar tidak selalu berbeda secara signifikan dibandingkan metode konvensional apabila implementasi teknologi tidak didukung oleh desain pembelajaran yang tepat [14]. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa efektivitas VR dan AR dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis teknologi yang digunakan, strategi pembelajaran, bidang kompetensi, karakteristik peserta didik, serta metode evaluasi yang diterapkan [12]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang lebih sistematis untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai efektivitas teknologi VR dan AR dalam pendidikan vokasi.

Meningkatnya perhatian terhadap teknologi imersif dalam pendidikan vokasi terjadi pada periode 2020–2025. Rentang waktu tersebut dipilih karena merupakan fase percepatan transformasi digital pendidikan yang dipengaruhi oleh perkembangan teknologi Revolusi Industri 4.0, kebutuhan pembelajaran jarak jauh selama dan pascapandemi COVID-19, serta semakin matangnya ekosistem perangkat dan aplikasi VR/AR. Pemanfaatan teknologi imersif pada periode ini tidak lagi terbatas pada simulasi sederhana, tetapi mulai berkembang menuju *immersive learning*, *virtual laboratory*, *metaverse learning*, dan integrasi *Artificial Intelligence* (AI). Oleh karena itu, pembatasan kajian pada tahun 2020–2025 dianggap penting untuk memperoleh gambaran yang lebih mutakhir mengenai tren penelitian, efektivitas implementasi, serta arah pengembangan teknologi VR dan AR dalam pendidikan vokasi yang relevan dengan kebutuhan industri saat ini.

Peneliti dapat mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis temuan penelitian secara sistematis melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) [16]. Metode SLR memungkinkan penyusunan bukti ilmiah secara lebih transparan dan komprehensif sehingga dapat memberikan gambaran mengenai tren penelitian, karakteristik implementasi, efektivitas teknologi, serta kesenjangan penelitian yang masih memerlukan kajian lebih lanjut [17]. Selain itu, pendekatan ini juga mampu menghasilkan rekomendasi berbasis bukti (*evidence-based recommendations*) yang mendukung pengembangan pembelajaran berbasis teknologi imersif di masa depan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggunaan *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) dalam pendidikan vokasi di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) selama periode 2020–2025. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi tren penelitian, karakteristik implementasi, dampak terhadap hasil belajar siswa, serta tantangan penerapan teknologi imersif dalam pembelajaran vokasi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis bagi pengembangan pembelajaran berbasis teknologi imersif serta menjadi referensi praktis bagi pendidik, pengembang kurikulum, dan pengambil kebijakan dalam merancang pembelajaran vokasi yang lebih adaptif, inovatif, dan sesuai dengan kebutuhan dunia usaha dan dunia industri.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis penelitian terkait efektivitas penggunaan *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) dalam pendidikan vokasi di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK). Metode SLR dipilih karena mampu memberikan kajian yang sistematis, transparan, dan terstruktur terhadap berbagai hasil penelitian terdahulu [17]. Pelaksanaan penelitian mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) [17] serta tahapan *systematic review* yang dikembangkan oleh Kitchenham dan Charters [16].

Penelitian ini difokuskan untuk menjawab beberapa *Research Questions* (RQ) berikut:

- RQ1: Bagaimana tren penelitian penggunaan VR dan AR dalam pendidikan vokasi dan pelatihan kompetensi teknik di SMK selama periode 2020–2025?
- RQ2: Bagaimana karakteristik implementasi VR dan AR berdasarkan bidang kompetensi teknik, metode pembelajaran, dan jenis teknologi yang digunakan?
- RQ3: Bagaimana efektivitas penggunaan VR dan AR terhadap hasil belajar siswa SMK pada aspek kognitif, afektif, dan psikomotor?
- RQ4: Apa saja tantangan dan faktor pendukung implementasi VR dan AR dalam pembelajaran teknik di SMK?

Pencarian literatur dilakukan pada basis data *Scopus* dan *Google Scholar* terhadap artikel yang dipublikasikan pada periode 2020–2025. Proses pencarian menggunakan kombinasi kata kunci “*Virtual Reality*”, “*Augmented Reality*”, “*Vocational Education*”, “*Technical Training*”, “*Technical Competency*”, dan “*Vocational High School*” dengan bantuan operator Boolean (AND dan OR).

Artikel yang diperoleh kemudian diseleksi melalui tahapan identifikasi, penyaringan (*screening*), uji kelayakan (*eligibility*), dan inklusi (*included*) sesuai alur PRISMA 2020 [17]. Seleksi dilakukan berdasarkan judul, abstrak, kata kunci, serta telaah teks penuh (*full-text review*) menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Aspek	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Tahun Publikasi	2020–2025	Di luar rentang tahun
Jenis Publikasi	Jurnal dan prosiding ilmiah	Editorial, opini, <i>book review</i>
Topik Penelitian	VR/AR dalam pendidikan teknik dan vokasi	Tidak relevan dengan pendidikan vokasi
Fokus Kajian	Kompetensi teknik/pembelajaran praktik	Hanya pengembangan aplikasi
Metode Penelitian	Penelitian empiris	Tidak memiliki data penelitian
Bahasa	Inggris dan Indonesia	Selain Inggris dan Indonesia
Akses Artikel	<i>Full text</i> tersedia	<i>Full text</i> tidak tersedia

Dari hasil penelusuran dari database *Scopus* dihasilkan 200 artikel tentang VR dan AR serta 405 artikel bersumber dari *Google Scholar*. Terdapat satu artikel duplikasi sehingga hanya 604 yang masuk tahap *screening*. Pada tahap *screening* berdasarkan judul dan abstrak terdapat 353 artikel yang dikeluarkan karena tidak relevan sehingga hanya 251 artikel yang masuk tahap *eligibility*. Dari total 251 artikel terdapat 224 artikel dikeluarkan karena tidak masuk dalam kriteria inklusi sesuai Tabel 1. Sehingga hanya terdapat 27 artikel yang dianalisis lebih lanjut.

Artikel yang memenuhi kriteria inklusi selanjutnya dianalisis melalui tahap *quality assessment* untuk memastikan kualitas metodologi dan kelayakan artikel yang akan disintesis. Penilaian kualitas dilakukan dengan mengadaptasi kriteria *systematic review* dari Kitchenham dan Charters [16], yang mencakup beberapa aspek, yaitu: (1) kejelasan tujuan penelitian, (2) kesesuaian desain dan metode penelitian, (3) kejelasan karakteristik sampel atau subjek penelitian, (4) validitas prosedur pengumpulan data, (5) kejelasan teknik analisis data, serta (6) keterkaitan antara hasil penelitian dengan kesimpulan yang dihasilkan. Artikel yang memenuhi sebagian besar kriteria tersebut dinyatakan layak untuk dimasukkan ke dalam proses sintesis data.

Data yang diekstraksi meliputi judul, nama penulis, tahun publikasi, metode penelitian, bidang kompetensi, jenis teknologi yang digunakan, serta hasil atau temuan utama penelitian. Selanjutnya, data dianalisis menggunakan teknik *descriptive qualitative synthesis* dengan mengelompokkan penelitian berdasarkan jenis teknologi, bidang teknik, dan dampak implementasi terhadap hasil belajar kognitif, afektif, dan psikomotor siswa SMK.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan identifikasi, *screening* dan *eligibility* terhadap beberapa artikel dari sumber data Scopus dan Google Scholar, maka dihasilkan 27 artikel yang dianalisis lebih dalam terkait dengan efektivitas VR dan AR dalam pendidikan vokasi di SMK. Hasil analisis 27 artikel tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Analisis Artikel

No	Judul Artikel	Penulis	Tahun	Hasil/Temuan Utama
1	<i>Research on the application of virtual simulation technology and vocational education teaching</i>	Lin, J.; Zhang, Y.	2020	Virtual simulation efektif meningkatkan pengalaman praktik dan pemahaman kompetensi vokasi secara interaktif.
2	<i>Integration of Virtual Reality media in teaching factory to enhance 4C skills in vocational education</i>	Primartadi, A.; Jatmoko, D.; Kamin, Y. bin; Arifin, Z.	2021	VR pada teaching factory meningkatkan keterampilan 4C (critical thinking, communication, collaboration, creativity).
3	<i>Engineering design and evaluation of the process evaluation method of auto repair professional training in Virtual Reality environment</i>	Xiang, Q.; Qiu, F.; Wang, J.; Zhang, J.; Zhu, J.; Zhu, L.; dkk.	2021	VR membantu simulasi pelatihan otomotif dan evaluasi proses kerja secara realistis dan aman.
4	<i>Implementation of simulation software on vocational high school students in programming and arduino microcontroller subject</i>	Budi, A.H.S.; Juanda, E.A.; Fauzi, D.L.N.	2022	Software simulasi meningkatkan pemahaman pemrograman dan praktik mikrokontroler siswa SMK.
5	<i>Game-Based Learning in VET schools: A learning architecture for educators in Vocational Education</i>	Arnold, M.; North, B.; Fischer, H.; Müller, J.; dkk.	2022	Game-based learning meningkatkan motivasi belajar dan keterlibatan siswa pada pendidikan vokasi.
6	<i>Simulation of Chemical Oxygen Demand Using Virtual Reality Technology</i>	Zuchrillah, D.R.; Altway, S.; Fabroyir, H.; Arifiani, S.; dkk.	2021	VR efektif digunakan untuk simulasi laboratorium kimia tanpa risiko penggunaan bahan berbahaya.
7	<i>The design of virtual immersive learning environments and their acceptance and evaluation by students</i>	Aufenanger, S.; Bastian, J.; Bastos, G.; Castelhano, M.; dkk.	2022	Lingkungan belajar immersive diterima positif oleh siswa dan meningkatkan engagement pembelajaran.
8	<i>Implementation of the Augmented Reality to electronic practice</i>	Selek, M.; Kıymaz, Y.E.	2021	AR mempermudah visualisasi komponen elektronika dan meningkatkan keterampilan praktik siswa.
9	<i>Examining effect of Augmented Reality attributes on student vocational equity through experience of ephemeral elevation, bespoke personalization knowledge</i>	Wahyuni, D.S.; Sindu, I.G.P.; Arsa, I.K.S.; dkk.	2023	Personalisasi dan visualisasi AR meningkatkan pengalaman belajar dan pemerataan akses kompetensi vokasi.
10	<i>Artificial Intelligence-Based Virtual Tour for Vocational High Schools in Tourism Sector in Developing English Language Competence for Guides</i>	Ramendra, D.P.; Juniarta, P.A.K.; Parma, I.P.G.; dkk.	2023	AI dan virtual tour membantu peningkatan kompetensi bahasa Inggris siswa bidang pariwisata.
11	<i>Development of a Scoring Rubric to Assess Training in an Immersive Experience Environment</i>	Çalışır, E.Ç.; Altun, E.; Özarslan, Y.	2022	Dikembangkan rubrik penilaian untuk mengevaluasi performa siswa dalam lingkungan immersive VR.
12	<i>Enhancing Immersion in Virtual Reality-Based Advanced Life Support Training: Randomized Controlled Trial</i>	Kitapcioglu, D.; Aksoy, M.E.; Ozkan, A.E.; Usseli, T.; dkk.	2023	VR meningkatkan immersion dan efektivitas pelatihan bantuan hidup lanjut dibanding metode konvensional.

13	<i>VR simulator for the training and manufacturing process at sewing enterprises</i>	Voichur, O.; Shcherbakova, A.; Zakharkevich, O.; Voichur, Y.; dkk.	2021	Simulator VR membantu pelatihan proses produksi industri jahit secara efisien dan aman.
14	<i>The Impact of Augmented Reality Learning Media on Enhancing Knowledge and Skills in Midwifery Students: A Literature Review</i>	Nurwaridha, M.A.; Syarif, S.; Idrus, H.H.	2023	AR meningkatkan pengetahuan dan keterampilan praktik mahasiswa kebidanan.
15	<i>The Opportunities and challenges in Virtual Reality for virtual laboratories</i>	Alnagrat, A.J.A.; Ismail, R.C.; Idrus, S.Z.S.	2022	VR laboratory memiliki potensi besar namun terkendala biaya, perangkat, dan kesiapan pengguna.
16	<i>Development of augmented reality-based learning media for health material in physical education, sports and health</i>	Rustanto, H.	2022	Media AR meningkatkan pemahaman materi kesehatan dan interaksi belajar siswa.
17	<i>Game-Based Personalized Learning in the Metaverse Computer Virtual Laboratory: Improving User Experience with a Learning Material Recommender System</i>	Arif, Y.M.; Nurhayati, H.; Karami, A.F.; Ayunda, N.; dkk.	2024	Metaverse dan personalized learning meningkatkan user experience dan adaptivitas pembelajaran virtual.
18	<i>The effect of using Augmented Reality module in learning geometry on mathematics performance among primary students</i>	Nadzri, A.Y.N.M.; Ayub, A.F.M.; Zulkifli, N.N.	2021	Modul AR meningkatkan hasil belajar matematika dan pemahaman visual spasial siswa.
19	<i>Design, simulation and virtual implementation of a novel fundamental programmable logic controllers laboratory in a 3D virtual world</i>	Aydogan, H.; Aras, F.	2022	Laboratorium PLC virtual 3D efektif mendukung praktik otomasi industri secara fleksibel.
20	<i>Augmented Reality tools for mathematics and geoscience education</i>	Kaźmierczak, R.; Grunwald, G.; Skowroński, R.; dkk.	2021	AR membantu visualisasi konsep abstrak dalam matematika dan geosains.
21	<i>Research on reconstruction of translation modes based on artificial intelligence</i>	Wei, Zhu	2023	AI mendukung transformasi metode pembelajaran translasi dan adaptasi pembelajaran digital.
22	<i>Virtual Reality supporting cooperative learning and relatedness</i>	Lahtinen, J.; Sandström, N.; Nevgi, D.A.; dkk.	2022	VR meningkatkan cooperative learning, interaksi sosial, dan rasa keterhubungan antar siswa.
23	<i>Integration of Building Information Modelling (BIM) with Augmented Reality (AR)</i>	Akbar, F.; Firdaus, M.A.	2023	Integrasi BIM dan AR meningkatkan visualisasi proyek konstruksi dan pemahaman teknik bangunan.
24	<i>Perancangan media pembelajaran digital lean manufacturing berbasis android</i>	Hartanto, S.; Huda, A.; Kom, M.	2021	Media digital berbasis android mendukung pembelajaran lean manufacturing secara fleksibel.
25	<i>EduLinkMatch: A Virtual Lab-Integrated Smart E-Learning Model for Industry 4.0 and Society 5.0</i>	Utami, L.; Iskandar, A.; Amiruddin, E.G.; dkk.	2024	Smart e-learning terintegrasi virtual lab mendukung pembelajaran adaptif pada era Industry 4.0 dan Society 5.0.
26	<i>A review of immersive Virtual Reality serious games to enhance learning and training</i>	Checa, D.	2023	Serious games berbasis VR terbukti meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan efektivitas pelatihan.
27	<i>Analyzing Augmented Reality (AR)</i>	Al-Ansi, A.M.	2024	Perkembangan VR/AR

and Virtual Reality (VR) recent development in education

menunjukkan tren peningkatan penggunaan immersive learning dalam pendidikan.

Tabel 3. Ringkasan Sintesis Kuantitatif

Aspek Analisis	Jumlah Artikel	Persentase
Virtual Reality (VR)	17	62,96%
Augmented Reality (AR)	7	25,93%
VR/AR terintegrasi AI/Metaverse	3	11,11%
Melaporkan peningkatan hasil belajar	24	88,89%
Peningkatan aspek kognitif	19	70,37%
Peningkatan aspek afektif	15	55,56%
Peningkatan aspek psikomotor	14	51,85%
Melaporkan kendala implementasi	6	22,22%

3.1. Tren Penelitian Penggunaan VR dan AR dalam Pendidikan Vokasi dan Pelatihan Kompetensi Teknik di SMK (RQ1)

Berdasarkan hasil analisis terhadap 27 artikel yang dipublikasikan pada periode 2020–2025, penelitian mengenai penggunaan *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) dalam pendidikan vokasi menunjukkan perkembangan yang signifikan. Pendidikan vokasi dan SMK sebagai lembaga yang berorientasi pada kesiapan kerja dituntut untuk mampu menghadirkan pembelajaran yang kontekstual, adaptif, dan selaras dengan kebutuhan industri modern. Dalam konteks tersebut, teknologi VR dan AR mulai dipandang sebagai solusi inovatif untuk menjembatani kesenjangan antara teori pembelajaran dan praktik kerja industri.

Pada periode awal penelitian (2020–2021), fokus penelitian masih didominasi oleh pengembangan *virtual simulation technology* dan media pembelajaran berbasis simulasi digital. Lin dan Zhang [18] menunjukkan bahwa *virtual simulation technology* mampu meningkatkan pengalaman belajar praktik secara interaktif sehingga siswa lebih mudah memahami kompetensi vokasi. Penelitian Xiang et al. [20] memperlihatkan bahwa lingkungan virtual dapat digunakan untuk simulasi proses kerja otomotif secara realistis dan aman. Temuan serupa juga diperlihatkan oleh Voichur et al. [30] melalui pengembangan simulator VR untuk pelatihan industri jahit.

Selain pada bidang otomotif dan manufaktur, penelitian periode awal juga mulai menerapkan *immersive learning* pada bidang laboratorium kimia, elektronika, serta pemrograman mikrokontroler. Zuchrillah et al. [23] menunjukkan bahwa laboratorium virtual berbasis VR mampu mengurangi risiko penggunaan bahan berbahaya sekaligus meningkatkan pemahaman prosedural siswa. Budi et al. [21] menunjukkan bahwa *simulation software* pada pembelajaran *Arduino* dan mikrokontroler meningkatkan pemahaman siswa terhadap logika pemrograman dan sistem kontrol.

Memasuki periode 2022–2024, tren penelitian berkembang menuju *immersive learning environment*, *game-based learning*, *metaverse learning*, *virtual laboratory*, dan integrasi *Artificial Intelligence* (AI). Arnold et al. [22] menunjukkan bahwa *game-based learning* mampu meningkatkan motivasi belajar dan keterlibatan siswa dalam pendidikan vokasi. Selain itu, Aufenanger et al. [24] menjelaskan bahwa *immersive learning environment* memberikan pengalaman belajar yang lebih realistis dan meningkatkan engagement siswa.

Pada tahun 2023–2024, penelitian mulai mengintegrasikan VR dan AR dengan AI, *metaverse*, dan *smart learning system*. Ramendra et al. [27] menunjukkan bahwa *AI-Based Virtual Tour* membantu pengembangan kompetensi bahasa Inggris siswa SMK bidang pariwisata secara lebih interaktif. Penelitian Arif et al. [34] mengenai *metaverse virtual laboratory* juga menunjukkan bahwa *personalized learning* mampu meningkatkan pengalaman belajar pengguna secara adaptif. Selain itu, Utami et al. [42] menjelaskan bahwa *smart e-learning berbasis virtual laboratory* mendukung pembelajaran yang lebih fleksibel sesuai kebutuhan *Industry 4.0* dan *Society 5.0*.

Secara keseluruhan, tren penelitian VR dan AR dalam pendidikan vokasi menunjukkan perkembangan yang sangat pesat baik dari sisi jumlah penelitian maupun kompleksitas teknologi yang digunakan. Penelitian tidak lagi hanya berorientasi pada pengembangan media pembelajaran, tetapi telah berkembang menjadi pengembangan lingkungan belajar virtual yang mendukung keterampilan abad ke-21, kompetensi kerja industri, dan pembelajaran berbasis pengalaman.

3.2. Karakteristik Implementasi VR dan AR dalam Pendidikan Teknik dan Vokasi (RQ2)

Hasil analisis menunjukkan bahwa implementasi VR dan AR diterapkan pada berbagai bidang kompetensi teknik dan pendidikan vokasi, seperti otomotif, elektronika, manufaktur, konstruksi, kesehatan, pemrograman, laboratorium virtual, dan pariwisata. Variasi bidang implementasi tersebut menunjukkan bahwa VR dan AR memiliki fleksibilitas tinggi untuk digunakan dalam berbagai konteks pembelajaran teknik dan vokasi.

Pada bidang otomotif, teknologi VR digunakan untuk mensimulasikan proses perbaikan kendaraan, evaluasi prosedur kerja, dan pelatihan keterampilan teknis [20]. Dalam bidang manufaktur, simulator VR digunakan untuk membantu peserta pelatihan memahami proses produksi industri secara lebih sistematis dan efisien [30]. Selain itu, Hartanto et al. [42] menunjukkan bahwa media pembelajaran *lean manufacturing* berbasis android mendukung fleksibilitas belajar siswa dalam memahami konsep industri manufaktur modern.

Pada bidang elektronika dan pemrograman, AR dan *simulation software* dimanfaatkan untuk membantu visualisasi komponen elektronik dan sistem kontrol. Selek dan Kıymaz [25] menunjukkan bahwa AR mempermudah siswa memahami praktik elektronika melalui visualisasi objek virtual pada lingkungan nyata. Sementara itu, Budi et al. [21] menunjukkan bahwa *simulation software* membantu siswa memahami logika pemrograman *Arduino* dan mikrokontroler secara lebih interaktif.

Dalam bidang konstruksi, integrasi *Building Information Modelling* (BIM) dengan AR membantu meningkatkan visualisasi proyek bangunan dan pemahaman teknik konstruksi [41]. Pada bidang kesehatan, VR dan AR digunakan untuk simulasi pelatihan medis dan laboratorium virtual. Kitapcioglu et al. [29] menunjukkan bahwa VR meningkatkan immersion dan efektivitas pelatihan medis dibandingkan metode konvensional.

Berdasarkan metode pembelajaran, implementasi VR dan AR didominasi oleh pendekatan *virtual simulation*, *virtual laboratory*, *immersive learning*, *game-based learning*, *cooperative learning*, dan *personalized learning*. Virtual simulation menjadi pendekatan yang paling dominan karena mampu merepresentasikan kondisi kerja industri secara realistis. Selain itu, *immersive learning* dan *game-based learning* terbukti mampu meningkatkan keterlibatan siswa dan pengalaman belajar yang lebih kontekstual [22], [24].

Ditinjau dari jenis teknologi, VR merupakan teknologi yang paling dominan digunakan dalam penelitian pendidikan vokasi karena mampu menciptakan pengalaman belajar yang realistis dan mendekati kondisi kerja nyata. Sementara itu, AR lebih banyak digunakan untuk visualisasi objek pembelajaran dan bantuan praktik langsung, terutama pada bidang elektronika, matematika, geosains, dan konstruksi [25], [38].

3.3. Efektivitas Penggunaan VR dan AR terhadap Hasil Belajar Siswa (RQ3)

Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan VR dan AR memberikan dampak positif terhadap hasil belajar siswa pada aspek kognitif, afektif, dan psikomotor. Pada aspek kognitif, VR dan AR terbukti mampu meningkatkan pemahaman konsep, kemampuan berpikir kritis, kemampuan pemecahan masalah, dan retensi materi pembelajaran. Budi et al. [21] menunjukkan bahwa *simulation software* meningkatkan pemahaman siswa terhadap logika pemrograman dan sistem kontrol. Selain itu, Nadzri et al. [35] menunjukkan bahwa penggunaan modul AR meningkatkan hasil belajar matematika dan kemampuan visual spasial siswa.

Pada aspek afektif, penggunaan VR dan AR meningkatkan motivasi belajar, *engagement*, minat belajar, rasa percaya diri, dan partisipasi siswa dalam pembelajaran. Arnold et al. [22] menunjukkan bahwa *game-based learning* meningkatkan keterlibatan siswa dalam pembelajaran vokasi. Selain itu, Aufenanger et al. [24] menunjukkan bahwa *immersive learning environment* diterima secara positif oleh siswa karena memberikan pengalaman belajar yang lebih realistis. Penelitian Checa [44] mengenai serious games berbasis VR juga menunjukkan bahwa *immersive learning* meningkatkan motivasi dan efektivitas pelatihan.

Pada aspek psikomotor, penggunaan VR dan AR terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan praktik, kemampuan prosedural, ketepatan kerja, dan kesiapan kerja siswa. Xiang et al. [20] menunjukkan bahwa VR membantu simulasi pelatihan otomotif secara realistis sehingga siswa dapat memahami prosedur kerja secara lebih mendalam. Selain itu, Aydogan dan Aras [37] menunjukkan bahwa laboratorium virtual PLC mendukung praktik otomasi industri secara fleksibel dan efektif.

Meskipun sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa VR dan AR memberikan dampak positif terhadap hasil belajar siswa, terdapat variasi temuan yang menunjukkan bahwa efektivitas teknologi imersif tidak selalu konsisten pada setiap konteks pembelajaran. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi VR dan AR tidak hanya ditentukan oleh keberadaan teknologi itu sendiri, tetapi juga dipengaruhi oleh desain instruksional, karakteristik peserta didik, bidang kompetensi, serta tingkat interaktivitas media yang digunakan.

Beberapa penelitian menunjukkan peningkatan yang signifikan pada aspek kognitif dan psikomotor karena VR mampu menghadirkan simulasi kerja yang menyerupai kondisi industri nyata [20], [37]. Namun, penelitian lain melaporkan bahwa peningkatan hasil belajar tidak berbeda secara signifikan dibandingkan metode konvensional apabila penggunaan teknologi tidak disertai strategi pembelajaran yang tepat [13]. Hal ini

mengindikasikan bahwa teknologi VR dan AR berfungsi sebagai *learning enabler*, bukan sebagai faktor tunggal yang secara otomatis meningkatkan kualitas pembelajaran.

Selain itu, sebagian besar penelitian yang ditemukan masih berfokus pada pengembangan media dan pengujian efektivitas jangka pendek dengan jumlah sampel yang relatif terbatas. Kajian yang mengevaluasi dampak jangka panjang terhadap kesiapan kerja, kompetensi industri, serta keberhasilan transisi lulusan ke dunia kerja masih sangat terbatas. Penelitian mengenai integrasi VR dan AR dengan model pembelajaran tertentu, seperti *project-based learning*, *problem-based learning*, *teaching factory*, dan *work-based learning*, juga masih belum banyak dilakukan.

Temuan tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang dapat menjadi arah pengembangan di masa mendatang. Penelitian selanjutnya perlu mengembangkan desain instruksional berbasis VR dan AR yang lebih terstruktur, mengevaluasi efektivitas pembelajaran dalam jangka panjang, serta mengkaji integrasi teknologi imersif dengan pendekatan pembelajaran vokasi yang berorientasi pada kebutuhan industri. Selain itu, penelitian masa depan juga perlu memperhatikan aspek kesiapan guru, pengalaman pengguna, dan optimalisasi integrasi teknologi baru seperti *Artificial Intelligence (AI)*, *metaverse*, dan *adaptive learning system* untuk mendukung pembelajaran vokasi yang lebih personal dan berkelanjutan.

3.4. Tantangan dan Faktor Pendukung Implementasi VR dan AR (RQ4)

Meskipun implementasi *Virtual Reality (VR)* dan *Augmented Reality (AR)* memberikan dampak positif terhadap pembelajaran vokasi, hasil analisis menunjukkan bahwa masih terdapat berbagai tantangan dalam penerapannya di SMK. Tantangan utama meliputi keterbatasan infrastruktur teknologi, tingginya biaya perangkat, keterbatasan kompetensi guru, kesiapan pengguna, serta pengembangan konten pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan kompetensi keahlian.

Penelitian Alnagrat et al. [15] menunjukkan bahwa *virtual laboratory* berbasis VR memiliki potensi besar dalam pendidikan teknik, tetapi masih menghadapi kendala berupa biaya pengadaan perangkat, kebutuhan spesifikasi perangkat keras yang tinggi, serta kesiapan infrastruktur pendukung. Selain itu, pengembangan media *immersive learning* memerlukan sumber daya manusia yang memiliki kompetensi dalam bidang desain pembelajaran, pemrograman, dan pengembangan sistem virtual.

Kesiapan guru juga menjadi faktor penting dalam keberhasilan implementasi VR dan AR. Keterbatasan kemampuan pendidik dalam mengoperasikan serta mengintegrasikan teknologi digital ke dalam proses pembelajaran dapat menghambat pemanfaatan teknologi secara optimal. Di samping itu, sebagian siswa memerlukan masa adaptasi ketika menggunakan perangkat VR dan AR. Beberapa penelitian juga melaporkan adanya potensi ketidaknyamanan fisik seperti *motion sickness* dan kelelahan visual pada penggunaan VR dalam durasi yang panjang [16].

Di sisi lain, terdapat sejumlah faktor pendukung yang dapat memperkuat implementasi teknologi imersif dalam pendidikan vokasi. Meningkatnya kebutuhan kompetensi digital pada era Revolusi Industri 4.0 dan *Society 5.0* mendorong sekolah untuk mengembangkan pembelajaran yang lebih inovatif dan berorientasi pada dunia kerja [1], [2]. Selain itu, kemampuan VR dan AR dalam menghadirkan simulasi praktik yang aman, fleksibel, dan menyerupai kondisi industri nyata menjadikan teknologi ini sebagai alternatif solusi atas keterbatasan fasilitas praktik di SMK.

Perkembangan teknologi terbaru seperti *Artificial Intelligence (AI)*, *metaverse*, dan *smart learning system* juga membuka peluang baru dalam pengembangan pembelajaran vokasi berbasis teknologi. Penelitian Ramendra et al. [27], Arif et al. [34], dan Utami et al. [43] menunjukkan bahwa integrasi teknologi tersebut mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih adaptif, personal, dan sesuai dengan kebutuhan industri masa depan.

Secara keseluruhan, implementasi VR dan AR memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas pendidikan vokasi di SMK. Namun, keberhasilan penerapannya sangat dipengaruhi oleh kesiapan infrastruktur, kompetensi guru, dukungan institusi, pengembangan konten pembelajaran, serta kebijakan yang mendukung transformasi digital pendidikan secara berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan kolaborasi antara sekolah, pemerintah, perguruan tinggi, dan dunia industri untuk memperluas pemanfaatan teknologi imersif sehingga pembelajaran vokasi menjadi lebih relevan dengan kebutuhan dunia kerja.

4. KESIMPULAN

Hasil kajian menunjukkan bahwa penggunaan *Virtual Reality (VR)* dan *Augmented Reality (AR)* dalam pendidikan vokasi di SMK mengalami perkembangan yang signifikan selama periode 2020–2025. Teknologi *immersive learning* berkembang dari media simulasi sederhana menjadi lingkungan pembelajaran yang lebih interaktif, realistis, dan sesuai dengan kebutuhan industri pada era Revolusi Industri 4.0 dan *Society 5.0*. Implementasi VR dan AR telah diterapkan pada berbagai bidang kompetensi, seperti otomotif, elektronika, manufaktur, konstruksi, kesehatan, dan pemrograman.

Penggunaan VR dan AR terbukti mampu meningkatkan hasil belajar siswa pada aspek kognitif, afektif, dan psikomotor, serta menjadi alternatif untuk mengatasi keterbatasan fasilitas praktik di SMK. Namun, implementasinya masih menghadapi tantangan berupa keterbatasan infrastruktur, biaya perangkat, kompetensi guru, dan pengembangan konten pembelajaran.

Oleh karena itu, sekolah perlu mengintegrasikan VR dan AR secara bertahap pada pembelajaran praktik, didukung oleh peningkatan kompetensi guru serta kolaborasi dengan dunia usaha dan dunia industri (DUDI) dalam pengembangan konten dan penyediaan fasilitas. Dengan dukungan tersebut, teknologi VR dan AR berpotensi mendukung pembelajaran vokasi yang lebih adaptif, inovatif, dan relevan dengan kebutuhan industri. Selain itu, penelitian selanjutnya perlu mengkaji efektivitas jangka panjang serta integrasi VR dan AR dengan teknologi baru seperti *Artificial Intelligence* (AI) dan *adaptive learning*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. M. Alam, "Transforming TVET for Industry 4.0 and Sustainable Development," *Education Sciences*, vol. 12, no. 4, 2022.
- [2] UNESCO, *Strategy for Technical and Vocational Education and Training (TVET) 2022–2029*. Paris: UNESCO, 2021.
- [3] A. M. Al-Ansi, "Analyzing Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) Recent Development in Education," *Social Sciences & Humanities Open*, vol. 9, 2024.
- [4] J. Garzón, J. Pavón, and S. Baldiris, "Recent Advances of Augmented Reality in Education: A Systematic Review," *Education and Information Technologies*, vol. 28, 2023.
- [5] B. Kye, N. Han, E. Kim, Y. Park, and S. Jo, "Educational Applications of Metaverse: Possibilities and Limitations," *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*, vol. 18, 2021.
- [6] D. Checa and A. Bustillo, "A Review of Immersive Virtual Reality Serious Games to Enhance Learning and Training," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 82, 2023.
- [7] N. Alalwan, L. Cheng, H. Al-Samarraie, R. Yousef, A. Ibrahim, and S. Alzahrani, "Challenges and Prospects of Virtual Reality and Augmented Reality Utilization in Education," *Education and Information Technologies*, vol. 25, 2020.
- [8] J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm, and I. Wohlgenannt, "A Systematic Review of Immersive Virtual Reality Applications for Higher Education," *Education and Information Technologies*, vol. 25, 2020.
- [9] G. Makransky and G. B. Petersen, "The Cognitive Affective Model of Immersive Learning," *Educational Psychology Review*, vol. 33, 2021.
- [10] D. Hamilton, J. McKechnie, E. Edgerton, and C. Wilson, "Immersive Virtual Reality as a Pedagogical Tool in Education," *Educational Technology Research and Development*, vol. 69, 2021.
- [11] D. Kitapcioglu et al., "Enhancing Immersion in Virtual Reality–Based Advanced Life Support Training: Randomized Controlled Trial," *JMIR Serious Games*, vol. 11, 2023.
- [12] R. E. Mayer, *Multimedia Learning*, 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- [13] A. J. A. Alnagrat, R. C. Ismail, and S. Z. S. Idrus, "The Opportunities and Challenges in Virtual Reality for Virtual Laboratories," *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 17, no. 12, 2022.
- [14] G. Makransky, M. Terkildsen, and R. E. Mayer, "Adding Instructional Features to Virtual Reality Learning Environments," *Computers & Education*, vol. 191, 2023.
- [15] D. Saredakis et al., "Factors Associated with Virtual Reality Sickness in Head-Mounted Displays: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 14, 2020.
- [16] B. Kitchenham and S. Charters, *Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. Keele University, 2007.
- [17] M. J. Page et al., "The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews," *BMJ*, vol. 372, p. n71, 2021.
- [18] J. Lin and Y. Zhang, "Research on the Application of Virtual Simulation Technology and Vocational Education Teaching," 2020.
- [19] A. Primartadi, D. Jatmoko, Y. B. Kamin, and Z. Arifin, "Integration of Virtual Reality Media in Teaching Factory to Enhance 4C Skills in Vocational Education," 2021.

-
- [20] Q. Xiang et al., "Engineering Design and Evaluation of the Process Evaluation Method of Auto Repair Professional Training in Virtual Reality Environment," 2021.
 - [21] A. H. S. Budi, E. A. Juanda, and D. L. N. Fauzi, "Implementation of Simulation Software on Vocational High School Students in Programming and Arduino Microcontroller Subject," 2022.
 - [22] M. Arnold et al., "Game-Based Learning in VET Schools: A Learning Architecture for Educators in Vocational Education," 2022.
 - [23] D. R. Zuchrillah et al., "Simulation of Chemical Oxygen Demand Using Virtual Reality Technology," 2021.
 - [24] S. Aufenanger et al., "The Design of Virtual Immersive Learning Environments and Their Acceptance and Evaluation by Students," 2022.
 - [25] M. Selek and Y. E. Kıymaz, "Implementation of the Augmented Reality to Electronic Practice," 2021.
 - [26] D. S. Wahyuni et al., "Examining Effect of Augmented Reality Attributes on Student Vocational Equity Through Personalized Knowledge," 2023.
 - [27] D. P. Ramendra et al., "Artificial Intelligence-Based Virtual Tour for Vocational High Schools in Tourism Sector in Developing English Language Competence for Guides," 2023.
 - [28] E. Ç. Çalışır, E. Altun, and Y. Özarslan, "Development of a Scoring Rubric to Assess Training in an Immersive Experience Environment," 2022.
 - [29] O. Voichur et al., "VR Simulator for the Training and Manufacturing Process at Sewing Enterprises," 2021.
 - [30] M. A. Nurwaridha, S. Syarif, and H. H. Idrus, "The Impact of Augmented Reality Learning Media on Enhancing Knowledge and Skills in Midwifery Students: A Literature Review," 2023.
 - [31] H. Rustanto, "Development of Augmented Reality-Based Learning Media for Health Material in Physical Education, Sports and Health," 2022.
 - [32] Y. M. Arif et al., "Game-Based Personalized Learning in the Metaverse Computer Virtual Laboratory," 2024.
 - [33] A. Y. N. M. Nadzri, A. F. M. Ayub, and N. N. Zulkifli, "The Effect of Using Augmented Reality Module in Learning Geometry on Mathematics Performance among Primary Students," 2021.
 - [34] H. Aydogan and F. Aras, "Design, Simulation and Virtual Implementation of a Novel Fundamental Programmable Logic Controllers Laboratory in a 3D Virtual World," 2022.
 - [35] R. Kaźmierczak et al., "Augmented Reality Tools for Mathematics and Geoscience Education," 2021.
 - [36] Z. Wei, "Research on Reconstruction of Translation Modes Based on Artificial Intelligence," 2023.
 - [37] J. Lahtinen et al., "Virtual Reality Supporting Cooperative Learning and Relatedness," 2022.
 - [38] F. Akbar and M. A. Firdaus, "Integration of Building Information Modelling (BIM) with Augmented Reality (AR)," 2023.
 - [39] S. Hartanto and A. Huda, "Perancangan Media Pembelajaran Digital Lean Manufacturing Berbasis Android," 2021.
 - [40] L. Utami et al., "EduLinkMatch: A Virtual Lab-Integrated Smart E-Learning Model for Industry 4.0 and Society 5.0," 2024.
 - [41] World Economic Forum, The Future of Jobs Report 2023. Geneva: WEF, 2023.
 - [42] OECD, OECD Skills Outlook 2023: Skills for a Resilient Green and Digital Transition. Paris: OECD Publishing, 2023.
 - [43] UNESCO-UNEVOC, Digital Transformation in TVET, Bonn, Germany, 2022.
 - [44] M. Bond, V. Bedenlier, O. Marín, and M. Händel, "Emergency Remote Teaching in Higher Education," *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 18, 2021.
 - [45] H. Crompton and D. Burke, "The Use of Mobile Learning in Education: A Systematic Review," *Computers & Education*, vol. 123, 2020.
 - [46] J. Garzón and J. Acevedo, "Meta-analysis of the Impact of Augmented Reality on Students' Learning Gains," *Educational Research Review*, vol. 27, 2020.
 - [47] P. Parmaxi, "Virtual Reality in Language Learning: A Systematic Review," *Interactive Learning Environments*, vol. 31, 2023.

- [48] S. Mystakidis, "Metaverse and Education: A Systematic Review," *Computers*, vol. 11, no. 9, 2022.
- [49] X. Wu, Y. Yu, and Z. Guo, "Applications and Challenges of Immersive Technologies in Vocational Education," *Sustainability*, vol. 15, 2023.