

Tinjauan Sistematis Perkembangan dan Relevansi Pelatihan Berbasis *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR)

***Rosarianto Mariano Amleni¹, Wilfridus Amleni², Sarlince Sandy Mauk³**

Universitas Nusa Cendana¹, Universitas Timor^{2 3}

E-mail: rosariomariano6@gmail.com¹, wilfridusamleni94@gmail.com²,
sarlinc sandy@gmail.com³

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran dan panduan tentang penerapan dan kajian-kajian akademis tentang pelatihan berbasis *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR). Kajian ini menggunakan metode *systematic review* untuk mengidentifikasi dan menganalisis penelitian-penelitian terkait pelatihan berbasis VR dan AR yang dilakukan selama periode 2021 hingga 2025. Data artikel penelitian di peroleh dengan menggunakan software harzing's publish or perish (PoP) dan di visulisasikan menggunakan software VOSviewer untuk melihat keterkaitan pembahasan. Penyaringan artikel dilakukan menggunakan Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis (PRISMA) Flow Diagram. Hasil tinjauan sistematis ini menunjukkan bahwa penelitian tentang pelatihan berbasis VR dan AR pada 5 tahun terakhir (2021-2025) paling banyak dilakukan di bidang pendidikan, kemudian bidang industri, kesehatan, teknologi, dan manajemen. Dari kajian terhadap 20 artikel penelitian dapat dijelaskan bahwa pelatihan berbasis VR dan AR menawarkan potensi yang baik dalam efektifitas dan efisiensi peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta pelatihan. Hasil analisis juga menemukan tren penurunan penelitian dalam 3 tahun terakhir. Penelitiandi masa depan diharapkan dapat melakukan kajian pengembangan yang mencakup lebih banyak bidang dan bersifat ekseperimental pada topik pelatihan berbasis VR dan AR.

Kata kunci: Virtual, Augmented, VR, AR, Pelatihan

ABSTRACT

This research aims to provide an overview and guidance on the application and academic studies of Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR)-based training. This study employs a systematic review method to identify and analyze research related to VR and AR-based training conducted during the period from 2021 to 2025. Research article data were obtained using Harzing's Publish or Perish (PoP) software and visualized using VOSviewer software to examine the relationships in the discussions. Article screening was conducted using the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis (PRISMA) Flow Diagram. The results of this systematic review indicate that research on VR and AR-based training in the last 5 years (2021-2025) has been predominantly conducted in the field of education, followed by the fields of industry, health, technology, and management. From the review of 20 research articles, it can be explained that VR and AR-based training offers good potential in the effectiveness and efficiency of improving the

knowledge and skills of training participants. The analysis results also found a declining trend in research over the past 3 years. Future researchers are expected to conduct development studies that cover more fields and are experimental in nature on the topic of VR and AR-based training.

Keywords: *Virtual, Augmented, VR, AR, Training*

PENDAHULUAN

Berdasarkan perspektif antroposentris yang memandang manusia sebagai aktor kunci dalam menentukan tatanan ekosistem, maka perkembangan sistem manajemen sumber daya manusia (SDM) menempatkan inovasi berkelanjutan dengan mengutamakan investasi yang berpusat pada manusia. Kemajuan teknologi menekankan asas manfaat untuk membantu setiap organisasi dalam proses manajemen termasuk pada konteks pelatihan dan pengembangan karyawan [1].

Teknologi *Virtual Reality* (VR) yang menciptakan lingkungan baru dalam ruang virtual dan *Augmented Reality* (AR) yang menggabungkan elemen dunia nyata dan digital menawarkan solusi revolusioner mulai dari pelatihan karyawan yang lebih efektif, desain produk yang lebih inovatif, hingga pengalaman pelanggan yang lebih menarik dan personal [2]; [3].

Perkembangan transformasi program pelatihan menunjukkan bahwa industri dan bisnis sudah harus mengadopsi metode pelatihan berbasis digital yang mendukung peningkatan keterampilan teknis dan kompetensi profesional dengan efektifitas dan efisiensi proses pelatihan yang lebih baik [4].

Metode pelatihan berbasis VR dan AR telah menjadi inovasi penting dalam dunia pendidikan dan pelatihan profesional, dimana kedua metode tersebut dapat menghadirkan pengalaman belajar yang interaktif, imersif, memperkuat

kompetensi praktis, dan mengurangi waktu serta biaya pelatihan. Selain itu, metode ini mendukung pengembangan keterampilan *problem-solving* dan adaptabilitas karyawan terhadap teknologi digital [5]. Pengembangan teknologi berupa VR dan AR juga mampu menjembatani kesenjangan kompetensi kerja dan meningkatkan produktivitas serta daya saing [6].

Kajian mengenai pelatihan berbasis VR dan AR adalah materi kajian yang cukup banyak mendapat perhatian dari berbagai peneliti di seluruh dunia. Pelatihan berbasis VR dan AR merupakan kajian lintas ilmu yang menjadi alternatif bagi para peneliti yang ingin mengkaji terkait model, implementasi, efektifitas, dampak maupun tantangan dari penggunaan teknologi digital dalam pendidikan dan pelatihan serta untuk menemukan model evaluasi kelayakan ekonomi dalam berinvestasi pada pelatihan terutama biaya dan manfaat dari pendekatan yang berpusat pada manusia [7].

Sebagian besar penelitian tentang topik ini mencakup berbagai bidang seperti pendidikan, industri, kesehatan, teknologi, dan lainnya [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14] yang mana menempatkan Amerika dan Tiongkok sebagai negara yang memproduksi penelitian paling tinggi [15]. Meta-analisis yang dilakukan oleh [16] menunjukkan bahwa implementasi metode pelatihan berbasis digital semakin diterima sebagai sarana untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi pelatihan. Pelatihan merupakan sebuah

investasi yang mahal, oleh karena itu kemajuan dalam teknologi atau metodologi yang lebih efisien akan sangat relevan bagi banyak individu, organisasi, dan industri [17].

Terlepas dari respon dan dampak positif dari implementasi pelatihan berbasis teknologi VR dan AR, terdapat beberapa hal yang menjadi tantangan bagi industri dan bisnis modern seperti kelayakan biaya investasi pelatihan, kesenjangan keterampilan, resistensi terhadap perubahan, manajemen risiko keamanan data, serta potensi ancaman *cyber* [18].

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran dan panduan tentang berbagai penelitian yang mengkaji tentang pelatihan berbasis VR dan AR di berbagai bidang agar dapat mendukung asas manfaat dan relevansi penggunaannya. Konteks ini berangkat dari fenomena eskalasi industri dan bisnis berbasis digital yang berkompetisi dalam adaptabilitas kemajuan teknologi yang sangat cepat sehingga manajemen pelatihan menjadi krusial dalam menjaga daya saing perusahaan [19].

Penggunaan VR dan AR menawarkan berbagai potensi untuk menghadirkan pelatihan efektif dan efisien [20]. Di samping itu, kebaruan fitur dan platform pada VR dan AR pada beberapa tahun terakhir juga mempengaruhi perkembangan dan arah penelitian terkait pelatihan berbasis teknologi digital sehingga di perlukan kajian sistematis terhadap penelitian-penelitian untuk dapat memperoleh gambaran pembaharuan dari konsep dan praktek serta potensi pengembangan di masa depan.

METODE PENELITIAN

Kajian ini merupakan *systematic review* terhadap

penelitian-penelitian terkait konsep teknologi digital *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) yang dilakukan selama periode 2021 hingga 2025. Tinjauan ini memfokuskan kajian pada penelitian yang membahas tentang model dan metode pelatihan berbasis AR dan VR. Data artikel penelitian di peroleh dengan menggunakan *software harzing's publish or perish (PoP)* yang di aplikasikan pada *google scholar* untuk dapat menjangkau beberapa jurnal Seperti *Sagepub*, *Jstor*, *ScienceDierct*, *Springer* dan lainnya. Penelitian ini menerapkan prosedur penelitian yang dibagi dalam 3 tahapan sebagai berikut;

Perencanaan: Identifikasi masalah, penentuan tujuan penelitian, penentuan sumber artikel, penentuan kriteria penelitian, penentuan jumlah artikel

Pelaksanaan: Pencarian artikel, penyaringan artikel, penetapan artikel sesuai kriteria, analisis data

Penyusunan hasil: Pemaparan hasil, pembuatan Kesimpulan

Identifikasi artikel penelitian dilakukan secara otomatis menggunakan alat bantu PoP dengan menggunakan kata kunci; "*Virtual Reality and Augmented Reality Training Based*". *Software* ini berfungsi dalam mencari dan mengkualifikasikan data sesuai yang dibutuhkan dan dapat menampilkan berbagai informasi dari artikel penelitian diantaranya yaitu indeksasi dan sitasi. Selanjutnya, penentuan kriteria artikel dilakukan untuk memfokuskan kajian ini. Kriteria penelitian yang di terapkan dalam kajian ini meliputi; (a) Publikasi dalam bentuk artikel; (b) Termasuk dalam 10 jurnal peringkat teratas; (c) Bersifat *Open access/full-text access*; (d) Termasuk dalam 5 besar sitasi terbanyak; (e) Fokus pada topik endidikan dan pelatihan. Data yang di

kumpulkan akan divisualisasikan menggunakan software VOSviewer untuk mendapatkan analisis keterkaitan dan pemetaan bibliometrik. VOSviewer digunakan untuk membuat pemetaan berdasarkan data ko-sitasi atau untuk membuat peta kata kunci berdasarkan data ko-kemunculan [21].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian diawali dengan melakukan pengumpulan artikel penelitian berbasis software PoP. Jumlah artikel yang ditentukan dalam proses pencarian pada basis data google scholar adalah sebanyak 300 artikel dengan tampilan informasi yang cukup lengkap seperti yang dapat dilihat pada gambar 1.

The screenshot shows the Google Scholar search interface. The search term is 'Virtual Reality and Augmented Reality Training based'. The results are sorted by relevance. The first result is by AD Kaptan et al. (2021) titled 'The effects of virtual reality, augmented reality, and mixed reality on training enhancement methods: A meta-analysis'. The second result is by LM Daling et al. (2021) titled 'Effects of augmented reality, virtual reality, and mixed reality-based training on objective performance measures'. The third result is by RK Chang et al. (2021) titled 'Augmented reality in vocational training: A systematic review of research and applications'. The fourth result is by MR Pae et al. (2021) titled 'History of virtual reality and augmented reality in neurosurgical training'. The fifth result is by A Scahill et al. (2021) titled 'Virtual reality and augmented reality in social learning spaces: A literature review'. The sixth result is by V Kuhl et al. (2021) titled 'A review on Virtual Reality and Augmented Reality use cases of Brain Computer Interface based applications for...'. The seventh result is by Y Liu et al. (2021) titled 'Augmented reality technology based on school physical education training'. The eighth result is by A Liang et al. (2021) titled 'A review on the applications of virtual reality, augmented reality and mixed reality in surgical simulation in ortho...'. The ninth result is by M Jansen et al. (2021) titled 'Virtual reality and augmented reality in social learning spaces: A literature review'. The tenth result is by SS Pae et al. (2021) titled 'An interactive design methodology using a 3D-based virtual reality and augmented reality'. The eleventh result is by J Abad et al. (2021) titled 'A review of the evidence for training effectiveness with virtual reality technology'. The twelfth result is by J Jiang et al. (2021) titled 'Augmented reality and virtual reality for learning: An examination using an extended technology acceptance mo...'. The thirteenth result is by AD Sarda et al. (2021) titled 'Global Publication Trends in Augmented Reality and Virtual Reality for Learning: The Last Twenty One Years'. The fourteenth result is by K Yu et al. (2021) titled 'Virtual reality and augmented reality display advances and future perspectives'. The fifteenth result is by Y Kozkan et al. (2021) titled 'Virtual Reality and Augmented Reality Use Cases in Gastroenterology'. The sixteenth result is by S Dargatzis et al. (2021) titled 'Augmented reality: A comprehensive review'. The seventeenth result is by M Vasilakou et al. (2021) titled 'Role of virtual reality (VR), augmented reality (AR) and artificial intelligence (AI) in tertiary education and research...'. The eighteenth result is by Z Wang et al. (2021) titled 'A comprehensive review of augmented reality-based instruction in manual assembly, training and repair'. The nineteenth result is by F Zhou et al. (2021) titled 'Artificial intelligence-enabled services technologies in the VR context of tourism are from virtual world tourism...'. The search results are displayed in a table with columns for Cite, Pre-year, Rank, Author, Title, Year, and Publ. The search results are also displayed in a list format on the right side of the screen.

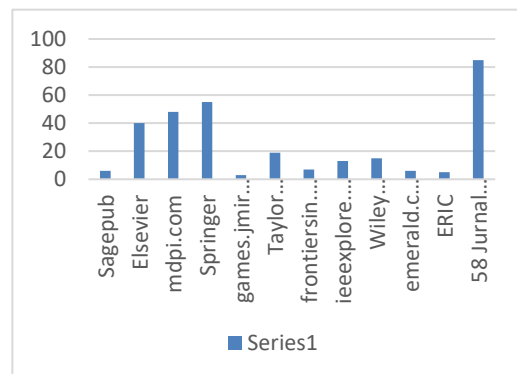
Gambar 1 Hasil pencarian artikel berbasis *Software PoP*

Dari data yang di kumpulkan melalui aplikasi PoP maka di ketahui bahwa dari tahun 2021 hingga 2025, jumlah publikasi penelitian mengalami trend penurunan di setiap tahunnya dengan jumlah total sitasinya sebanyak 31.548 seperti yang dapat di lihat pada tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Artikel Periode 2021-2025

<i>Tahun Terbit</i>	<i>Jmlh Artikel</i>	<i>Jumlah Sitasi</i>
2021	127	16.196
2022	92	10.006
2023	54	4.677
2024	16	570
2025	11	99

Hasil pencarian data artikel berbasis *software PoP* juga menunjukan bahwa produktivitas dan dampak kumulatif dari publikasi ilmiah (h-indeks) adalah 101 sedangkan nilai bobot kutipan (g-indeks) sebesar 160. selain itu, data juga menampilkan artikel dari jurnal publikasi berbagai negara yang beragam termasuk jurnal populer yang cukup berkualitas seperti yang dapat di lihat pada gambar berikut:

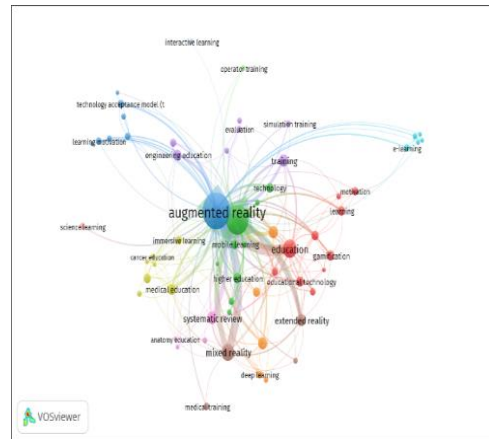


Gambar 2. Kategorisasi Artikel Berdasarkan Jurnal Publikasi

300 artikel penelitian yang terdata dari hasil pencarian tersebut di gabung ke dalam format RIS Reference Manager agar dapat dilakukan analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer untuk kemudian dapat memvisualisasikan cakupan pembahasan serta memunculkan keterkaitan antar bidang ilmu. Kajian ini menampilkan dua hasil analisis bibliometrik VOSviewer yaitu *network visualization* untuk menampilkan

cakupan kajian, keterkaitan, dan peluang kajian di masa depan. Sedangkan overlay visualization untuk menampilkan keterangan waktu dari penelitian-penelitian yang di analisis. Ukuran bulatan (*node*) menunjukkan seberapa sering elemen tersebut muncul dalam data penelitian-penelitian yang dianalisis, garis penghubung (*edge*) menunjukkan keterkaitan antar penelitian, warna node menunjukkan informasi tambahan, seperti tema atau tahun publikasi, dan jarak menunjukkan hubungan yang lebih kuat atau kesamaan yang lebih besar.

Pada visualisasi bibliometrik yang di ditampilkan gambar 3 dapat diketahui bahwa terdapat beberapa topik pembahasan yang mendominasi dalam daftar penelitian yang berkaitan dengan VR dan AR yaitu *education*, *mixed reality*, *extend reality*, *systematic review*, *training*, dan *simulation*. Pada kluster kedua, beberapa bidang yang muncul adalah *engineering education*, *medical education*, *artificial intelligence*, *technology*, *higher education* dan *operator training*. Secara keseluruhan bidang yang paling banyak dikaji berkaitan dengan pelatihan berbasis VR dan AR adalah *education* yang mengalami perluasan kajian berhubungan dengan *mixed reality* dan *extend reality*. Selain itu beberapa topik pembahasan lain juga muncul namun memiliki hubungan yang jauh dengan AR dan VR seperti *science learning*, *e-learning*, dan *interactive learning*.



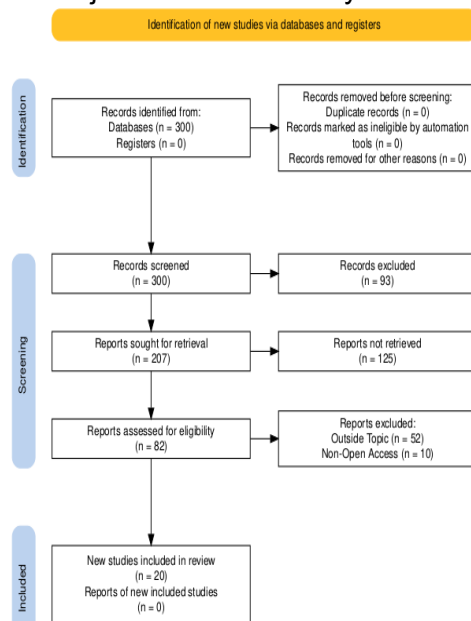
Gambar 3. Visualisasi Data VOSviewer

Hasil analisis VOSviewer memberikan gambaran bahwa masih terdapat beberapa bidang yang belum muncul karena belum banyak di teliti pada lima tahun terakhir seperti *manufacturing*, *food & beverage*, *military*, *construction*, *aviation*, *robotic*, *tourism* dan bidang lainnya. hal ini juga di dukung dengan hasil overlay visualization yang menunjukkan bahwa penelitian yang terdata paling banyak berada di rentang waktu tahun 2021 hingga 2023, sedangkan pada 2 tahun terakhir penelitian yang membahas topik pelatihan berbasis VR dan AR belum banyak dilakukan. Beberapa bidang yang belum muncul dapat menjadi bidang yang memiliki potensi untuk dikaji dan di kembangkan pada penelitian di masa depan.

Setelah analisis cakupan pembahasan dan keterkaitan menggunakan VOSviewer maka tahap selanjutnya adalah melakukan penyaringan artikel yang disesuaikan dengan kriteria yang telah ditetapkan. Proses *screening* artikel ini dilakukan menggunakan *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis (PRISMA) flow diagram*. Diagram alur PRISMA adalah infografis statis yang menggambarkan sumber, jumlah, dan alur semua data yang

diidentifikasi dan disaring dalam suatu tinjauan [22]. Pada tahap ini, artikel-artikel penelitian sejumlah 300 artikel yang terdata pada tahap sebelumnya dimasukkan ke dalam kolom identifikasi basis data. Oleh karena dalam proses pencarian berbasis PoP tidak ditemukan duplikasi artikel dan penghapusan otomatis dari *software*, maka nilai $n = 300$.

Proses *screening* diawali dengan memilih artikel-artikel dalam kajian ini yang di publikasikan oleh jurnal yang termasuk dalam 10 peringkat teratas dari hasil pencarian pada basis data *google scholar* dengan jumlah minimal 5 artikel yang dipublikasi. Hal ini dimaksudkan agar artikel yang dipilih adalah artikel dengan *impact value* tinggi. Hasil penyaringan ini menyisihkan 93 artikel yang tidak memenuhi kriteria tersebut sehingga nilai *report for retrieval* menjadi 207. Selanjutnya sejumlah 125 artikel disisihkan karena tidak termasuk dalam kelompok artikel yang berada di 5 besar jumlah sitasi terbanyak.



Gambar 4. Visualisasi (PRISMA) *flow diagram*

Oleh karena itu artikel yang masuk dalam *reports for eligibility* berjumlah 82. Dari hasil ini, *screening* di lanjutkan pada kriteria berikutnya yaitu artikel dengan topik Pendidikan dan pelatihan serta dapat di akses (*open access*). Proses ini menjadi proses penyaringan terakhir yang kemudian menghasilkan sejumlah 20 artikel yang akan dikaji dalam penelitian ini. Prosedur *screening* secara lengkap dapat di lihat pada gambar 4.

Berdasarkan hasil identifikasi dan penyaringan, maka 20 artikel penelitian yang terpilih di kategorisasi berdasarkan bidang kajian dan jumlah sitasi untuk dapat mengetahui bidang yang paling banyak dikaji dan paling tinggi jumlah sitasinya. Hasil pengelompokan data ini menunjukan bahwa dari 20 artikel penelitian, 7 penelitian diantaranya mengkaji tentang implementasi VR dan AR di bidang pendidikan yang didukung dengan jumlah sitasi paling tinggi yaitu sebanyak 2280. Kategorisasi artikel secara lengkap dapat di lihat pada tabel 2.

Bidang Kajian	Jumlah Sitasi	Persentase
Fire Fighting	120	2%
Industri	826	16%
Kesehatan	816	16%
Manajemen	750	15%
Teknologi	352	7%
Pendidikan	2280	44%
Grand Total	5144	100%

Tabel 2. Kategori Artikel Berdasarkan Bidang Kajian

Tinjauan sistematis ini melakukan kajian terhadap 20 artikel yang terpilih dan telah dikategorisasi. Hasil kajian terhadap penelitian-penelitian tersebut bersifat heterogen

sesuai dengan bidang kajian, ruang lingkup pembahasan yang berkaitan dengan VR dan AR serta metodologi yang digunakan dari masing-masing penelitian. Adapun dari 20 artikel penelitian, sebagian besar diantaranya mengkaji VR dan AR secara terpisah dan ada yang menggabungkannya dengan konsep mixed reality (MR).

Deskripsi rangkuman dari penelitian-penelitian yang dikaji adalah sebagai berikut:

1. Bidang Manajemen

Pada tahun 2021, Matt C. Howard, Melissa B. Gutworth, Rick R. Jacobs melakukan meta-analisis terhadap studi eksperimental terkontrol yang menguji efektivitas program pelatihan VR untuk menentukan apakah program pelatihan menghasilkan efek yang lebih besar secara keseluruhan dari pada program pelatihan alternatif lainnya. Metodologi yang digunakan adalah meta-analisis dengan mengkodefikasi dan menganalisis atribut sumber yang digunakan dalam program pelatihan. Hasil meta-analisis menunjukkan program pelatihan VR lebih baik dari program pelatihan konvensional, namun perangkat keras tampilan, perangkat keras input, dan atribut permainan tidak berpengaruh signifikan. Sementara itu kesesuaian teknologi dan aspek desain berpengaruh signifikan terhadap program pelatihan [23].

Alexandra D. Kaplan, Jessica Cruik, Mica Endsley, Suzanne M. Beers, Ben D. Sawyer, dan P. A. Hancock pada tahun 2021 mempublikasikan penelitian meta-analisis yang mengeksplorasi temuan empiris tentang transfer pelatihan berbasis VR, AR dan MR. Analisis dilakukan dengan mengukur efek faktor (teknologi, peserta

pelatihan, dan ukuran kinerja). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelatihan berbasis VR/AR dan pelatihan tradisional memiliki efektivitas sebanding, Populasi yang dilatih, dan tugas yang dilatih dapat memengaruhi efektivitas pelatihan berbasis VR/AR [16].

2. Bidang Industri

Hyeonju Lee, Donghyun Woo, dan Sunjin Yu melakukan kajian eksperimental pengembangan model pelatihan yang menggabungkan metode VR dan metaverse untuk mengatasi masalah yang dialami dalam metode pelatihan berbasis video. Model pelatihan tersebut diimplementasi melalui simulasi perawatan pesawat. Pengukuran efektivitas pelatihan dilakukan melalui tes penguasaan pengetahuan sekaligus retensi, dan investigasi kehadiran melalui tanggapan survei. Dalam hasil penelitian yang dipublikasikan pada tahun 2022, diketahui hasil eksperimen menunjukkan bahwa kelompok yang menggunakan model pelatihan berbasis VR dan metaverse memperoleh skor lebih tinggi pada tes pengetahuan, dan peserta pelatihan dapat merasakan kehadiran spasial [24].

Vinod V. Kumar, Deborah Carberry, Christian Beenfeldt, Martin P. Andersson, Seyed S. Mansouri, dan Fausto Gallucci pada tahun 2021 melakukan penelitian untuk meninjau peluang dan tantangan integrasi VR ke dalam pendidikan teknik kimia dan biokimia, dengan penekanan khusus pada bidang-bidang dasar teknologi, pedagogi, dan socio-ekonomi. Tinjauan dilakukan terhadap 6 studi kasus bidang akademik teknik kimia, 4 studi kasus tentang pelatihan operator di industri kimia, 3 perangkat keras VR, dan juga *cost of (hardware, software, human resource)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendidikan dan pelatihan berbasis

VR berdampak positif dalam menjembatani akademik dan industri di bidang kimia dan biokimia. Teknologi perlu dikembangkan dengan mempertimbangkan *cost of investment*. Penilaian terhadap aktivitas pelatihan juga perlu dilakukan secara komprehensif [25].

Yi Tan, Wenyu Xu, Shenghan Li, dan Keyu Chen mempublikasikan penelitian pada tahun 2022 yang mengkaji tentang penerapan teknologi AR/VR untuk pendidikan dan pelatihan di industri AEC. Penelitian ini dilakukan dengan metode *systematic review* terhadap 82 studi dari basis data *scopus* dan *web of science*. Hasil menunjukkan bahwa terdapat beberapa keterbatasan dalam penerapan AR/VR untuk pendidikan dan pelatihan di industri AEC sehingga membutuhkan beberapa pengembangan diantaranya; peningkatan perangkat HMD pada AR/VR, meningkatkan pengalaman virtual yang lebih meyakinkan, meningkatkan pengetahuan dan keterampilan pemrograman guru atau pelatih di bidang AEC, penerapan metode lokalisasi yang lebih canggih [26].

Sofia G. Fracarora, P. Chanb, T. Gallagher, Y. Tehreeme, R. Toyodag, K. Bernaertsc, J. Glasseyg, T. Pfeiffere, B. Slofd, Sven W, dan M. Wilk pada tahun 2021 melakukan penelitian pengembangan solusi pelatihan VR sebagai bagian dari Proyek CHARMING Horizon 2020 UE. Pengembangan yang dilakukan mencakup prinsip-prinsip desain untuk lingkungan pelatihan VR, fitur-fitur pelatihan seperti elemen pembelajaran berbasis permainan, analisis pembelajaran, dan metode penilaian. Studi pengembangan diawali dengan merancang lingkungan pelatihan, konten pembelajaran, lingkungan VR, dan

interaksi yang akurat. Selanjutnya adalah model pengambilan keputusan terkait kinerja peserta pelatihan dan metode penilaian berbasis bukti, proses hierarki analitik, dan evaluasi komprehensif. Secara keseluruhan penelitian ini menyediakan kerangka teoretis yang menetapkan dasar untuk pengembangan pengalaman pelatihan virtual di masa depan [27].

C. Papakostas, C. Troussas, A. Krouska dan C. Sgouropoulou melakukan penelitian untuk mengevaluasi penggunaan teknologi AR dalam pelatihan las menggunakan model inovatif yang diperluas secara tepat untuk mempertimbangkan pedagogi dan teknologi. Penelitian dilakukan terhadap 200 peserta pelatihan dengan menggunakan metode kuantitatif. Terdapat 2 variabel eksternal yaitu *percieved enjoyment* & *system quality*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabel eksternal merupakan prediktor dari kegunaan yang dirasakan dan kemudahan penggunaan. Temuan ini membantu pengembangan pelatihan berbasis AR melalui peningkatan kualitas sistem pelatihan dan pengalaman pengguna [28].

3. Bidang Kesehatan

Christian M, J. Birt, Zane S, C. Phelps, J. Clark, P. Glasziou, dan AM Scott melakukan kajian sistematis sekaligus meta-analisis untuk mengevaluasi dampak realitas virtual atau augmented reality terhadap penguasaan pengetahuan bagi mahasiswa yang mempelajari fisiologi dan anatomi praklinis. Tinjauan sistematis dilakukan terhadap 8 studi yang memenuhi persyaratan kelayakan dan mencakup 626 partisipan. Hasil penelitian yang dilakukan menemukan bahwa pendidikan dan pelatihan praklinis berbasis VR dan

AR merupakan alternatif yang layak dalam ilmu kesehatan dan kursus kedokteran [29].

Abel J. Lungu, W. Swinkels, L. Claesen, Puxun Tu, Jan Egger dan Xiaojun Chen pada tahun 2021 juga melakukan tinjauan sistematis terhadap penerapan VR, AR dan MR pada *clinical application*. Materi kajian dalam penelitian yang dilakukan meliputi 18 studi penerapan di disiplin ilmu *Neuro-Surgery*, 18 studi *oral and maxillofacial surgery*, dan 16 studi *General Surgery*. Tinjauan ini merangkum bahwa pergeseran paradigma berbasis teknologi VR, AR, dan MR pada bidang Kesehatan membawa dampak positif pada program pelatihan medis. Pada praktiknya kesuksesan metode pelatihan ini harus di dukung dengan tingkat realisme simulasi yang akurat. Beberapa catatan yang diajukan dalam penelitian ini mencakup pengembangan teknologi VR, AR dan MR untuk mendukung pelatihan bedah seperti simulator bedah haptic yang memerlukan perbaikan akurasi, Teknik pelacakan tanpa prosedur gambar yang rumit, serta metrik evaluasi simulator bedah yang standar dan spesifik [30].

Poshmaal Dhar, Tetyana Rocks, Rasika M Samarasinghe, Garth Stephenson dan Craig Smith mempublikasikan penelitian mereka tentang penggunaan AR dalam pelatihan dan pendidikan kedokteran serta dampaknya terhadap pengalaman dan hasil belajar mahasiswa. Penelitian yang dipublikasikan pada tahun 2021 ini menguraikan praktik penggunaan AR dalam program pelatihan kedokteran seperti *HoloHuman*, *OculAR SIM*, dan *HoloPatient*. Secara keseluruhan penelitian ini menjelaskan bahwa pelatihan kedokteran berbasis AR dapat meningkatkan pengalaman

mahasiswa kedokteran, dengan meningkatkan pengetahuan dan pemahaman, keterampilan praktis, dan keterampilan sosial [31].

4. Bidang Pendidikan

Abdullah M. Al-Ansi, Mohammed Jaboob, Askar Garad, Ahmed Al-Ansi pada tahun 2023 mempublikasikan artikel kajian yang merupakan tinjauan komperhensif terhadap 1.536 artikel dengan mengadopsi pendekatan penambangan teks dan analisis topik untuk menggambarkan perkembangan VR dan AR dalam pendidikan selama dua belas tahun terakhir. Hasil menunjukkan bahwa adopsi VR dan AR dalam pendidikan mengalami pertumbuhan eksponensial selain itu terdapat kesenjangan dalam implementasi dan penyesuaian teknologi ini di lembaga Pendidikan. Penekanan dari kajian ini adalah perlu adanya perhatian pada identifikasi kesenjangan transisi VR dan AR ke pendidikan dan menciptakan pendekatan adaptasi yang efektif [32].

Mohammed A. M. AlGerafi, Y. Zhou, Mohamed Oubibi, dan Tommy T. Wijaya dalam penelitian mereka pada tahun 2023, melakukan kajian evaluatif terhadap penerapan AR dan VR dalam pendidikan, dengan penekanan khusus pada dampaknya terhadap motivasi siswa, hasil belajar, keterlibatan, dan pengalaman belajar secara keseluruhan. Analisis sistematis dilakukan pada literatur yang berkaitan dengan pendidikan K-12, pendidikan tinggi, pendidikan STEM, pelatihan profesional, dan pembelajaran seumur hidup. Hasil dari kajian ini menyatakan bahwa VR dan AR memiliki dampak potensial untuk meningkatkan proses belajar siswa dengan mempertimbangkan beberapa tantangan seperti; beban

kognitif, cybersickness, biaya, akses yang adil, kurikulum, dan strategi pengajaran. Kajian ini juga menyimpulkan bahwa banyak studi fokus pada usability tanpa membangun kerangka teoritis yang kokoh [33].

Juan Garzón melakukan kajian reflektif tentang 25 tahun penerapan metode pendidikan berbasis AR yang dipublikasikan pada tahun 2021. Kajian ini menguraikan 3 generasi penerapan AR yaitu; Generasi pertama (1995–2009) penerapan AR masih berbasis perangkat keras karena fokusnya pada memperkenalkan teknologi; Generasi kedua (2010–2019) penerapan pendidikan berbasis aplikasi; Generasi ketiga (mulai tahun 2020) penerapan berbasis AI, smart-glasses dan WebAR. Refleksi deskriptif ini menekankan bahwa penerapan pendidikan berbasis AR diharapkan menjadi lebih realistis, berorientasi pada pengguna, lebih murah, akurat, dan tersebar luas. Selain itu, keberhasilan penerapan pendidikan berbasis AR tidak hanya bergantung pada masalah teknis, tetapi juga pada karakteristik pedagogis konteks di mana aplikasi tersebut digunakan [34].

Daniel Bos, Servel Miller & Eloise Bull mempublikasikan penelitian pada tahun 2021 yang mengkaji tentang bagaimana teknologi VR, perangkat lunak, dan konten VR dapat digunakan sebagai sumber daya untuk pengajaran dan pembelajaran dalam bidang Geografi. Penelitian ini diawali dengan eksplorasi teknologi VR kemudian dilanjutkan dengan memperkenalkan kegunaan dan implikasi penerapan pendidikan berbasis VR dan terakhir menampilkan cara VR dan AR menawarkan peluang penting untuk pengembangan keterampilan praktis

yang unik yang dapat diterapkan pada geovisualisasi data dan lingkungan. Kajian ini menunjukkan bahwa VR/AR dapat digunakan untuk memotivasi dan melibatkan siswa dalam praktik dan teknik lapangan yang penting; mendorong keterampilan literasi visual kritis; serta meningkatkan prospek ketenagakerjaan. Namun, terdapat hambatan-hambatan yang perlu dipertimbangkan meliputi aksesibilitas dan keterjangkauan dan keterbatasan sumber daya [35]

G. Lampropoulos, Euclid K, Konstantinos D, dan G. Evangelidis pada tahun 2022 juga melakukan *literatur review* mengenai penggunaan AR dan gamifikasi dalam pendidikan. Analisis dilakukan dengan metode tinjauan sistematis dan meta-analisis (PRISMA) terhadap 670 artikel dari 5 basis data (*Scopus*, *Web of Science*, *Google Scholar*, *IEEE*, dan *ERIC*). Hasil dari kajian ini menjelaskan bahwa penggunaan AR dan gamifikasi dalam pendidikan dapat membantu pendidik, meningkatkan proses pembelajaran, dan memfasilitasi transisi menuju pembelajaran yang didukung teknologi, dengan memperhatikan pendekatan dan strategi pendidikan yang tepat, serta mempertimbangkan pengetahuan, minat, karakteristik unik, dan kepribadian siswa [36].

Muhammad Z. Iqbal, Eleni Mangina dan Abraham G. Campbell mempublikasikan tinjauan mereka tentang keberhasilan penerapan pendidikan berbasis AR dalam pendidikan STEM (Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika). Tinjauan dilakukan pada studi yang melaporkan keunggulan, keterbatasan, efektivitas, dan tantangan penerapan pendidikan berbasis AR. Hasil penelitian ini secara rinci menguraikan

kesenjangan penelitian yang diperlukan untuk memfasilitasi interaksi tanpa sentuhan secara real-time, pembelajaran kinestetik, dan mesin pembelajaran pedagogi jarak jauh [37].

Mario A. R. Sánchez, Pedro R. P. Sánchez, José A. F. Fernández melakukan kajian literatur dengan menggunakan analisis bibliometrik tentang penerapan VR dalam pendidikan. Analisis tersebut dilakukan terhadap 273 artikel yang terindeks dalam basis data *Web of Science*, *Scopus*, dan *Lens* periode 2010 hingga 2021. Hasil analisis menemukan enam kelompok utama dalam artikel yang dikutip, yaitu instruksi dan pembelajaran menggunakan VR, lingkungan pembelajaran VR, penggunaan VR di berbagai bidang ilmu pengetahuan, proses pembelajaran menggunakan aplikasi atau permainan VR, proses pembelajaran yang memanfaatkan simulasi, dan topik yang diterbitkan selama pandemi Covid-19. Aspek penting lainnya yang ditemukan adalah institusi cenderung enggan dan lambat dalam menerima dan memasukkan VR ke dalam proses pembelajaran [38].

5. Bidang Teknologi

J. Abich, J. Parker, Jennifer S. Murphy, M. Eudy melakukan kajian terhadap penelitian mengenai efektivitas pelatihan dengan teknologi VR untuk menilai manfaat bagi peserta pelatihan, kajian dilakukan terhadap penelitian yang ada dalam periode tahun 1992 hingga 2019 dengan menerapkan 3 kategori yaitu kinerja psikomotorik, penguasaan pengetahuan, dan kemampuan spasial. Rekomendasi dari kajian ini antara lain; Penggunaan VR harus mengajarkan interaksi aktif; memahami audiens pelatihan sebelum melaksanakan

pelatihan berbasis VR; Untuk dapat menilai efektivitas pelatihan, tidak boleh terbatas pada waktu; Pelajari VR dengan strategi instruksional; Meningkatkan retensi pengetahuan dengan menggunakan interaksi multimodal; Interaksi berbasis gerakan harus sesuai dengan tindakan yang dilakukan di tempat kerja dan di dunia nyata; Memanfaatkan VR untuk pelatihan pra-perencanaan atau pra-paparan [39].

G. Koutitas, S. Smith, G. Lawrence melakukan kajian mengenai kerangka pelatihan yang memanfaatkan teknologi AR dan VR. Kerangka kerja ini menggabungkan proses berpikir desain baru yang diterapkan untuk perancangan pengalaman pelatihan. Analisis kualitatif dan kuantitatif dari berbagai metrik seperti kinerja, waktu pada tugas, akurasi, dan laju pembelajaran dikembangkan untuk menganalisis efektivitas kerangka kerja yang diusulkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metodologi pelatihan yang diusulkan meningkatkan akurasi sebesar 46% dan kecepatan dalam melaksanakan tugas sebesar 29% [40].

6. Bidang Fire Fighting

C. Papakostas, C. Troussas, A. Krouska dan C. Sgouropoulou pada tahun 2021 mempublikasikan penelitian yang menganalisis aspek-aspek utama yang mempengaruhi penerimaan AR pada program pelatihan pemadam kebakaran. Kajian ini melakukan kritikal analisis terhadap penerapan model saat ini yang diperluas oleh konstruk eksternal dari persepsi interaktivitas dan personalisasi, untuk mempertimbangkan baik tingkat sistem maupun individu. Selanjutnya penelitian ini mengusulkan model yang dievaluasi oleh 200 pengguna.

Hasilnya menunjukkan bahwa kedua variabel eksternal dari interaktivitas yang dipersepsikan dan personalisasi yang dipersepsikan adalah faktor prasyarat dalam memperluas model TAM. Temuan tersebut mengungkapkan bahwa kegunaan adalah prediktor terkuat dari niat perilaku petugas pemadam kebakaran untuk menggunakan sistem AR, dan juga kemudahan penggunaan dapat membantu pengembang AR meningkatkan pengalaman petugas pemadam kebakaran dalam pelaksanaan pelatihan [41].

Berdasarkan hasil identifikasi dan analisis yang dilakukan terhadap beberapa penelitian yang telah diuraikan, dapat di ketahui bahwa penelitian tentang pelatihan berbasis VR dan AR pada 5 tahun terakhir (2021-2025) paling banyak dilakukan di bidang pendidikan, disusul oleh penerapan di bidang industri, kesehatan, teknologi, dan manajemen. Temuan kajian ini mendukung implementasi pelatihan berbasis VR dan AR. Secara keseluruhan, penelitian di setiap bidang memiliki irisan dengan bidang yang lain terkait penerapan, efektifitas, tantangan maupun pengembangan yang diusulkan di masa depan.

Dari kajian terhadap 20 artikel penelitian dalam *systematic review* ini dapat dijelaskan bahwa pelatihan berbasis VR dan AR menawarkan potensi yang baik dalam efektifitas dan efisiensi peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta pelatihan. Namun, keberhasilan dan upaya pengembangan pelatihan berbasis VR dan AR di masa depan memerlukan penyelesaian terhadap beberapa kendala dan keterbatasan yang di hadapi saat ini. Beberapa hal yang perlu di perhatikan antara lain;

(a) Aspek program pelatihan mencakup beberapa hal seperti populasi yang dilatih, dan tugas yang dilatih [16], Penilaian aktivitas pelatihan secara komperhensif [25], lingkungan pelatihan, konten pembelajaran, lingkungan VR, dan interaksi yang akurat [27] peningkatan pada sisi *percieved enjoyment & system quality* [28] identifikasi kesenjangan transisi VR dan AR ke pendidikan serta menciptakan pendekatan adaptasi yang efektif [32], kurikulum, dan strategi pengajaran [33], karakteristik pedagogis harus disesuaikan dengan konteks di mana aplikasi tersebut digunakan [34]; (b) Aspek teknologi mencakup perangkat keras tampilan, perangkat keras input, dan atribut permainan kesesuaian teknologi dan aspek desain [23], peningkatan perangkat HMD pada AR/VR [26], pengembangan tingkat realisme simulasi yang akurat, teknik pelacakan tanpa prosedur gambar yang rumit, serta metrik evaluasi simulator bedah yang standar dan spesifik [30], mengembangkan VR dengan strategi instruksional, meningkatkan retensi pengetahuan dengan menggunakan interaksi multimodal [39]; (c) Aspek kelayakan investasi; *cost of hardware, software, human resource* [25], aksesibilitas dan keterjangkauan [35]; (d) Aspek SDM; meningkatkan pengetahuan dan keterampilan pemrograman guru atau pelatih [26], keterbatasan sumber daya [35].

Seluruh kendala dan tantangan tersebut memerlukan faktor penunjang dan pendukung utama lainnya yang juga berkontribusi dalam keberhasilan maupun pengembangan program pelatihan berbasis VR dan AR yaitu partisipasi kolaboratif lintas sektor antara pemerintah, akademisi, serta industri dan bisnis dalam sinergitas

mengaktifkan peran masing-masing pihak untuk menyelesaikan berbagai kendala tersebut sekaligus mengupayakan Tindakan progresif dalam mengembangkan program pendidikan dan pelatihan berbasis teknologi digital seperti VR dan AR.

Hasil kajian sistematis ini juga menemukan bahwa ada tren penurunan penelitian tentang penerapan pelatihan berbasis VR dan AR dalam 3 tahun terakhir. Penelitian lebih banyak berfokus pada penerapan VR dan AR secara umum, sedangkan penelitian dengan fokus pembahasan pada model dan metode pelatihan berbasis VR dan AR di berbagai industri maupun bisnis modern masih sangat terbatas. Lebih khusus, adanya keterbatasan penelitian yang bersifat eksperimental untuk menguji, mengevaluasi, maupun mengembangkan model dan metode pelatihan berbasis teknologi digital. Penelitian-penelitian di masa depan diharapkan dapat melakukan kajian pengembangan yang mencakup semua bidang dan bersifat eksperimental pada topik program pelatihan berbasis teknologi digital yang disesuaikan dengan kemajuan teknologi.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari *systematic review* ini bahwa program pelatihan dengan menerapkan model dan metode pelatihan berbasis VR dan AR merupakan alternatif potensial yang jauh lebih efektif dan efisien dari penerapan pelatihan konvensional. Penelitian terkait pelatihan berbasis VR dan AR dalam 5 tahun terakhir masih di dominasi oleh penelitian di bidang Pendidikan. Beberapa bidang seperti industri, kesehatan, manajemen dan teknologi juga sudah mulai mengkaji topik tersebut. Sedangkan penelitian tentang

pelatihan berbasis VR dan AR di bidang lain seperti pariwisata, militer, bisnis retail, perbankan, dan lainnya belum banyak dilakukan. Temuan positif dari penelitian-penelitian yang di kaji dalam penelitian ini menunjukkan potensi yang baik dari penerapan pelatihan berbasis VR dan AR. Adapun tantangan dan keterbatasan yang di hadapi saat ini perlu mendapat perhatian dalam proses pengembangannya. Tinjauan sistematis ini secara umum bertujuan menyajikan potret penerapan praktis maupun kajian-kajian akademis untuk memberikan gambaran dan panduan tentang pendidikan dan pelatihan berbasis VR dan AR di berbagai bidang sehingga dapat memberikan pemahaman yang komprehensif baik dari segi kemanfaatan maupun kendala dan tantangan yang di hadapi.

SARAN

Tinjauan sistematis ini memiliki beberapa keterbatasan terutama aksesibilitas jurnal yang hanya di ambil dari basis data *google scholar* saja dan tidak mengikutsertakan artikel penelitian yang lain. Penelitian serupa di masa depan perlu mempertimbangkan penjangkauan artikel penelitian yang lebih luas agar informasi dan analisis lebih lengkap. Berdasarkan hasil identifikasi dan analisis yang telah dilakukan, penelitian sistematis ini juga merekomendasikan peningkatan penelitian-penelitian eksperimental dalam konteks menguji, mengevaluasi serta mengembangkan model dan metode pelatihan berbasis VR dan AR.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. A. Saputra, A. Arwan, and D. Pramono, "Pengembangan Sistem Manajemen Sumber Daya Manusia Perusahaan

- Retail (Studi Kasus: PT . Ramayana Lestari Sentosa Tbk Malang),” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 109–115, 2020.
- [2] M. C. Wibowo, *Kekuatan AR (Augmented Reality) dan VR (Virtual Reality) Dalam Bisnis*, 1st ed. Semarang: Yayasan Prima Agus Teknik, 2025. [Online]. Available: <https://penerbit.stekom.ac.id/index.php/yayasanpat/article/view/555>
- [3] H. Honggo Widagdo, A. Nugroho, and G. Zulfikar, “Pemanfaatan Teknologi Augmented Reality (AR) Sederhana Untuk Meningkatkan Engagement Pelanggan Pada Program Pemasaran UMKM,” *J. Penelit. Manaj. dan Inov. Ris.*, vol. 1, no. 3, pp. 10–20, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.61132/lokawati.v1i3.995>
- [4] Y. Farida and I. Rindaningsih, “Analisis Sistematis Literatur tentang Transformasi Pelatihan dan Pengembangan Guru sebagai SDM pada Lembaga Pendidikan di Era Digital ”, vol. 1, no. 4, pp. 602–607, 2024, doi: <https://doi.org/10.61722/jaem.v1i4.3653>.
- [5] Y. Setiawan, “Pemanfaatan Teknologi VR (Virtual Reality) untuk Pelatihan Karyawan : Dampaknya pada Keterampilan dan Efisiensi Operasional,” vol. 15, no. 5, pp. 746–750, 2024, [Online]. Available: <http://www.jonhariono.org/index.php/ProBisnis>
- [6] M. Faris Hafizh, R. Dhever Hani, A. Nur Kholishah, and I. Farida Adi Prawira, “Strategi Transformasi Digital Di Era Industri 4.0: Blueprint Bisnis, Penerapan Teknologi, Dan Peran Kritis Pemerintah Dalam Meningkatkan Daya Saing Bisnis Food and Beverage (F&B),” *Ekon. Bisnis*, vol. 23, no. 1, pp. 1–8, 2024, doi: 10.32722/eb.v23i1.6383.
- [7] P. Dallasega, L. Gualtieri, A. Padovano, and G. Rocca, “Investment evaluation of Augmented Reality-based training: a human-centered model,” *Prod. Eng.*, vol. 19, no. 3, pp. 665–694, 2025, doi: 10.1007/s11740-025-01331-4.
- [8] F. Ferrati, J. A. Erkoyuncu, and S. Court, “Developing an augmented reality based training demonstrator for manufacturing cherry pickers,” *Procedia CIRP*, vol. 81, no. March, pp. 803–808, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.03.203.
- [9] J. Garzón, J. Pavón, and S. Baldiris, “Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings,” *Virtual Real.*, vol. 23, no. 4, pp. 447–459, 2019, doi: 10.1007/s10055-019-00379-9.
- [10] R. Yung and C. Khoo-Lattimore, “New realities: a systematic literature review on virtual reality and augmented reality in tourism research,” *Curr. Issues Tour.*, vol. 22, no. 17, pp. 2056–2081, 2019, doi: 10.1080/13683500.2017.1417359.
- [11] T. Masood and J. Egger, “Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and

- success factors,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 58, no. August 2018, pp. 181–195, 2019, doi: 10.1016/j.rcim.2019.02.003.
- [12] M. Wedel, E. Bigné, and J. Zhang, “Virtual and augmented reality: Advancing research in consumer marketing,” *Int. J. Res. Mark.*, vol. 37, no. 3, pp. 443–465, 2020, doi: 10.1016/j.ijresmar.2020.04.004.
- [13] A. Yudhistira, “Prospek Extended Reality Dalam Praktik Kedokteran Forensik,” *J. Forensik dan Med. Indones.*, vol. 3, no. 1, pp. 247–258, 2021, [Online]. Available: <http://jos.unsoed.ac.id/index.php/jfmi/article/view/5264%0Ahttp://jos.unsoed.ac.id/index.php/jfmi/article/download/5264/2751>
- [14] A. J. Lungu, W. Swinkels, L. Claesen, P. Tu, J. Egger, and X. Chen, “A review on the applications of virtual reality, augmented reality and mixed reality in surgical simulation: an extension to different kinds of surgery,” *Expert Rev. Med. Devices*, vol. 18, no. 1, pp. 47–62, 2021, doi: 10.1080/17434440.2021.1860750.
- [15] E. C. Magaña, A. C. Ariza, J. R. Palmero, F. David, and G. Gámez, “Virtual , augmented , and mixed reality in the University environment : an analysis of scientific production,” *J. New Approaches Educ. Res.*, vol. 14, no. 8, 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s44322-025-00027-y>.
- [16] A. D. Kaplan, J. Cruik, M. Endsley, S. M. Beers, B. D. Sawyer, and P. A. Hancock, “The Effects of Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality as Training Enhancement Methods: A Meta-Analysis,” *Hum. Factors*, vol. 63, no. 4, pp. 706–726, Jun. 2021, doi: 10.1177/0018720820904229.
- [17] P. A. Hancock, D. A. Vincenzi, J. A. Wise, and M. Mouloua, *Human Factors in Simulation and Training*, 1st ed. London, New York: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business, 2009. [Online]. Available: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781420072846_A24698394/preview-9781420072846_A24698394.pdf
- [18] N. Faidz and M. Kuswinarno, “Pengembangan Sdm Di Era Digital: Transformasi Dan Adaptasi Kompetensi,” *J. MEDIA Akad.*, vol. 2, no. 11, 2024, doi: 10.62281.
- [19] H. A. Malik, “Dinamika Transformasi Bisnis di Era Digital: Strategi Adaptasi dan Peran Kepemimpinan pada Industri 4.0,” *J. Adm. Bisnis Fak. Ilmu Adm.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.universitaskab.ac.id/index.php/jurnal-fia-unija/article/view/70%0Ahttps://jurnal.universitaskab.ac.id/index.php/jurnal-fia-unija/article/download/70/56>
- [20] S. R. Sorko and M. Brunnhofer, “Potentials of Augmented Reality in Training,” *Procedia Manuf.*, vol. 31, pp. 85–90, 2019, doi:

- 10.1016/j.promfg.2019.03.014.
- [21] N. J. van Eck and L. Waltman, "Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping," *Scientometrics*, vol. 84, no. 2, pp. 523–538, 2010, doi: 10.1007/s11192-009-0146-3.
- [22] N. R. Haddaway, M. J. Page, C. C. Pritchard, and L. A. McGuinness, "PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis," *Campbell Syst. Rev.*, vol. 18, no. 2, pp. 1–12, 2022, doi: 10.1002/cl2.1230.
- [23] M. C. Howard, M. B. Gutworth, and R. R. Jacobs, "A meta-analysis of virtual reality training programs," *Comput. Human Behav.*, vol. 121, 2021, doi: 10.1016/j.chb.2021.106808.
- [24] H. Lee, D. Woo, and S. Yu, "Virtual Reality Metaverse System Supplementing Remote Education Methods: Based on Aircraft Maintenance Simulation," 2022, *mdpi.com*. doi: 10.3390/app12052667.
- [25] V. V. Kumar, D. Carberry, C. Beenfeldt, M. P. Andersson, S. S. Mansouri, and F. Gallucci, "Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training," *Educ. Chem. Eng.*, vol. 36, pp. 143–153, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.ece.2021.05.002.
- [26] Y. Tan, W. Xu, S. Li, and K. Chen, "Augmented and Virtual Reality (AR/VR) for Education and Training in the AEC Industry: A Systematic Review of Research and Applications," *Buildings*, vol. 12, no. 10, p. 1529, Sep. 2022, doi: 10.3390/buildings12101529.
- [27] S. Garcia Fracaro *et al.*, "Towards design guidelines for virtual reality training for the chemical industry," *Educ. Chem. Eng.*, vol. 36, pp. 12–23, 2021, doi: 10.1016/j.ece.2021.01.014.
- [28] C. Papakostas, C. Troussas, A. Krouska, and C. Sgouropoulou, "User acceptance of augmented reality welding simulator in engineering training," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 27, no. 1, pp. 791–817, 2022, doi: 10.1007/s10639-020-10418-7.
- [29] C. Moro *et al.*, "Virtual and Augmented Reality Enhancements to Medical and Science Student Physiology and Anatomy Test Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Anat. Sci. Educ.*, vol. 14, no. 3, pp. 368–376, May 2021, doi: 10.1002/ase.2049.
- [30] A. J. Lungu, W. Swinkels, L. Claesen, P. Tu, J. Egger, and X. Chen, "A review on the applications of virtual reality, augmented reality and mixed reality in surgical simulation: an extension to different kinds of surgery," *Expert Rev. Med. Devices*, vol. 18, no. 1, pp. 47–62, Jan. 2021, doi: 10.1080/17434440.2021.1860750.
- [31] P. Dhar, T. Rocks, R. M. Samarasinghe, G. Stephenson, and C. Smith, "Augmented reality in medical education: students' experiences and learning outcomes," *Med. Educ. Online*, vol. 26, no. 1,

- 2021, doi: 10.1080/10872981.2021.1953953.
- [32] A. M. Al-Ansi, M. Jaboob, A. Garad, and A. Al-Ansi, "Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education," *Soc. Sci. Humanit. Open*, vol. 8, no. 1, p. 100532, 2023, doi: 10.1016/j.ssaho.2023.100532.
- [33] M. A. M. AlGerafi, Y. Zhou, M. Oubibi, and T. T. Wijaya, "Unlocking the Potential: A Comprehensive Evaluation of Augmented Reality and Virtual Reality in Education," *Electron.*, vol. 12, no. 18, p. 3953, Sep. 2023, doi: 10.3390/electronics12183953.
- [34] J. Garzón, "An overview of twenty-five years of augmented reality in education," 2021, *mdpi.com*. doi: 10.3390/mti5070037.
- [35] D. Bos, S. Miller, and E. Bull, "Using virtual reality (VR) for teaching and learning in geography: fieldwork, analytical skills, and employability," *J. Geogr. High. Educ.*, vol. 46, no. 3, pp. 479–488, 2022, doi: 10.1080/03098265.2021.1901867.
- [36] G. Lampropoulos, E. Keramopoulos, K. Diamantaras, and G. Evangelidis, "Augmented Reality and Gamification in Education: A Systematic Literature Review of Research, Applications, and Empirical Studies," 2022, *mdpi.com*. doi: 10.3390/app12136809.
- [37] M. Z. Iqbal, E. Mangina, and A. G. Campbell, "Current Challenges and Future Research Directions in Augmented Reality for Education," 2022, *mdpi.com*. doi: 10.3390/mti6090075.
- [38] M. A. Rojas-Sánchez, P. R. Palos-Sánchez, and J. A. Folgado-Fernández, "Systematic literature review and bibliometric analysis on virtual reality and education," 2023, *Springer*. doi: 10.1007/s10639-022-11167-5.
- [39] J. Abich, J. Parker, J. S. Murphy, and M. Eudy, "A review of the evidence for training effectiveness with virtual reality technology," *Virtual Real.*, vol. 25, no. 4, pp. 919–933, 2021, doi: 10.1007/s10055-020-00498-8.
- [40] G. Koutitas, S. Smith, and G. Lawrence, "Performance evaluation of AR/VR training technologies for EMS first responders," *Virtual Real.*, vol. 25, no. 1, pp. 83–94, Mar. 2021, doi: 10.1007/s10055-020-00436-8.
- [41] C. Papakostas, C. Troussas, A. Krouska, and C. Sgouropoulou, "Measuring user experience, usability and interactivity of a personalized mobile augmented reality training system," 2021, *mdpi.com*. doi: 10.3390/s21113888.