

Tren Penerapan Augmented Reality sebagai Media Pembelajaran Interaktif pada Pendidikan Vokasi: Systematic Literature Review

Rama Prameswara Ritonga^{1*}, Putri Annisa², Sulthan Jiyad Muqsith Asmara³, Virdyra Tasril⁴

^{1,4}Jurusan Teknik Komputer dan Informatika, Program Studi Teknologi Rekayasa Multimedia Grafis, Politeknik Negeri Medan, Medan, Indonesia

²Jurusan Administrasi Niaga, Program Studi MICE, Politeknik Negeri Medan, Medan, Indonesia

³Jurusan Teknik Komputer dan Informatika, Program Studi TRPL, Politeknik Negeri Medan, Medan, Indonesia

Email: ^{1*}ramaprameswara@polmed.ac.id, ²putriannisa@polmed.ac.id, ³sulthanjiyad@polmed.ac.id,

⁴virdyratasril@polmed.ac.id

(*Email Corresponding Author: ramaprameswara@polmed.ac.id)

Received: 21 Agustus 2026 | Revision: 22 September 2026 | Accepted: 30 September 2026

Abstrak

Augmented reality (AR) semakin banyak dimanfaatkan sebagai media pembelajaran interaktif untuk mendukung penguasaan keterampilan praktik di pendidikan vokasi, tetapi pemetaan menyeluruh atas tren penerapannya pada periode pascapandemi belum tersedia. Penelitian ini bertujuan memetakan tren publikasi, konteks, bidang keahlian, teknologi, metode, dan celah riset penerapan AR pada pendidikan vokasi. Metode yang digunakan adalah *systematic literature review* mengikuti pedoman PRISMA 2020 dengan cakupan TVET menurut UNESCO. Penelusuran dilakukan pada ScienceDirect dan melalui metode lain untuk publikasi tahun 2021–2025, sehingga diperoleh 30 studi dari 32 laporan. Hasil menunjukkan bahwa 73,3% studi terbit pada 2023–2025, dan Asia Tenggara menyumbang 50% korpus dengan Indonesia sebagai kontributor terbanyak (36,7%). Sekolah menengah vokasi merupakan konteks dominan (46,7%). Perangkat genggam digunakan pada 76,7% studi, sedangkan *head-mounted display* hanya pada 20,0% studi. Eksperimen dan kuasi-eksperimen merupakan desain terbanyak (43,3%), tetapi 63,6% studi Indonesia berupa penelitian pengembangan. Sebanyak 83,3% studi melaporkan hasil positif, namun studi dengan desain lebih ketat menunjukkan hasil yang tidak signifikan atau campuran. Kajian ini merumuskan tujuh celah riset, antara lain lemahnya desain penelitian, minimnya pengukuran keterampilan praktik, dan belum tersentuhnya konteks politeknik serta bidang nonteknik di Indonesia.

Kata Kunci: Augmented Reality, Media Pembelajaran Interaktif, Pendidikan Vokasi, TVET, Systematic Literature Review, PRISMA

Abstract

Augmented reality (AR) is increasingly used as an interactive learning medium to support practical skill acquisition in vocational education, yet a comprehensive mapping of its post-pandemic implementation trends is still lacking. This study aims to map publication trends, contexts, fields of expertise, technologies, methods, and research gaps of AR implementation in vocational education. A systematic literature review was conducted following the PRISMA 2020 guidelines, using the UNESCO definition of TVET. Searches were carried out in ScienceDirect and through other methods for publications from 2021 to 2025, yielding 30 studies from 32 reports. The results show that 73.3% of the studies were published in 2023–2025, and Southeast Asia contributed 50% of the corpus, with Indonesia as the largest contributor (36.7%). Vocational secondary schools were the dominant context (46.7%). Handheld devices were used in 76.7% of the studies, whereas head-mounted displays were used in only 20.0%. Experimental and quasi-experimental designs were the most common (43.3%), but 63.6% of Indonesian studies were research and development studies. Overall, 83.3% of the studies reported positive results, although studies with more rigorous designs showed non-significant or mixed results. This review identifies seven research gaps, including weak research designs, limited measurement of practical skills, and the absence of polytechnic and non-technical fields in Indonesian studies.

Keywords: Augmented Reality, Interactive Learning Media, Vocational Education, TVET, Systematic Literature Review, PRISMA

1. PENDAHULUAN

Pergeseran menuju era Revolusi Industri 4.0 menempatkan pendidikan vokasi pada posisi yang strategis sekaligus rentan. Lembaga vokasi dituntut menghasilkan lulusan yang siap bekerja dengan teknologi terkini, sementara siklus pembaruan teknologi di dunia kerja bergerak jauh lebih cepat daripada siklus pembaruan kurikulum. Kondisi ini menuntut pembaruan kurikulum, kolaborasi yang lebih erat dengan industri, serta keterbukaan untuk memanfaatkan teknologi digital sebagai sarana belajar. Di Indonesia, kebutuhan tersebut dijawab melalui Peraturan Presiden Nomor 68 Tahun 2022 tentang Revitalisasi Pendidikan Vokasi dan Pelatihan Vokasi yang mendorong penyelarasan pendidikan vokasi dengan kebutuhan dunia kerja [1].

Persoalan mendasar lainnya terletak pada karakter pembelajaran vokasi yang bertumpu pada praktik. Penguasaan kompetensi teknis mensyaratkan akses terhadap peralatan kerja yang memadai, padahal peralatan industri umumnya mahal, jumlahnya terbatas, dan sebagian berisiko tinggi apabila dioperasikan oleh pemula. Keterbatasan akses terhadap fasilitas praktik mendorong pemanfaatan teknologi imersif sebagai jembatan, sebagaimana ditunjukkan pada pembelajaran laboratorium operasi satuan teknik kimia ketika infrastruktur peralatan tidak dapat diakses secara langsung [2].

Augmented Reality (AR) menjadi salah satu teknologi yang paling banyak dilirik untuk menjawab tantangan tersebut. Berbeda dengan *Virtual Reality (VR)* yang menggantikan lingkungan nyata secara penuh, AR menumpangkan

objek virtual berupa model tiga dimensi, animasi, atau informasi kontekstual ke atas lingkungan fisik secara *real-time*, sehingga peserta didik tetap terhubung dengan objek dan ruang kerja yang sesungguhnya. Pemetaan bibliometrik terhadap 3.475 publikasi periode 1995–2020 menunjukkan bahwa riset AR di bidang pendidikan tumbuh pesat dalam dua dekade terakhir [3].

Dalam konteks vokasi, AR telah diterapkan pada beragam bidang keahlian. Aplikasi AR pada mata pelajaran tata rias di sekolah menengah vokasi di Taiwan, misalnya, meningkatkan efektivitas belajar dan efikasi diri sekaligus menurunkan beban kognitif siswa [4]. Apabila pendidikan vokasi dipahami secara luas sebagaimana cakupan TVET, spektrum penerapan AR menjadi semakin beragam, mulai dari kacamata pintar berbasis *extended reality* untuk latihan keterampilan inti keperawatan [5], pembelajaran berbasis skenario yang dipadukan dengan AR pada mahasiswa keperawatan [6], pelatihan keselamatan kerja konstruksi [7], perancangan konten pelatihan karyawan berbasis AR bergerak [8], hingga program pelatihan vokasi bergamifikasi bagi orang dewasa penyandang disabilitas intelektual [9].

Meskipun demikian, bukti empiris mengenai efektivitas AR belum sepenuhnya seragam. Eksperimen terhadap 114 siswa vokasi di Swiss justru menemukan bahwa AR berbasis *head-mounted display* memicu beban kognitif ekstrinsik yang lebih tinggi dan kinerja yang lebih rendah dibandingkan video instruksional [10]. Studi lanjutan dengan desain acak pada siswa sekolah vokasi tidak menemukan perbedaan beban ekstrinsik antara AR dan video setelah materi dirancang mengikuti prinsip pembelajaran multimedia, sedangkan hasil kinerjanya belum konklusif [11]. Penelitian lain melaporkan bahwa AR dan VR meningkatkan keterlibatan dan motivasi siswa vokasi, tetapi strategi terbaik justru diperoleh ketika keduanya dipadukan dengan metode konvensional [12]. Pada tataran kelembagaan, rendahnya kompetensi digital guru vokasi di Indonesia yang dipicu oleh keterbatasan akses internet dan perangkat, minimnya pelatihan, serta rendahnya kepercayaan diri guru senior menjadi hambatan tersendiri [13]. Temuan ini sejalan dengan hasil kajian bahwa niat pendidik untuk mengadopsi AR dipengaruhi oleh inovativitas mereka, dengan persepsi kebermanfaatan dan kemudahan penggunaan sebagai faktor pemoderasi [14].

Sejumlah kajian sekunder telah berupaya memetakan perkembangan bidang ini, tetapi cakupannya belum menyentuh irisan AR dan pendidikan vokasi secara utuh. Tinjauan terhadap 30 artikel AR di lingkungan pendidikan menemukan bahwa sebagian besar penelitian dilakukan pada jenjang sekolah menengah, sementara jenjang vokasi masih kurang mendapat perhatian [15]. Kajian bibliometrik 25 tahun memberikan gambaran makro riset AR tanpa pemilahan konteks vokasi [3]. Tinjauan sistematis yang paling dekat dengan topik ini menganalisis 80 studi AR dalam pelatihan vokasi periode 2000–2021 menggunakan CiteSpace dan menemukan dominasi penerapan pada pelatihan medis, pemeliharaan industri, dan perakitan, tetapi cakupannya berhenti pada tahun 2021 [16]. Pemetaan terbaru atas integrasi kecerdasan artifisial dan AR dalam literasi sains bahkan mencatat bahwa kontribusi Indonesia dalam jaringan riset teknologi imersif masih terbatas [17]. Dengan demikian, belum tersedia kajian sistematis yang secara khusus memetakan tren penerapan AR sebagai media pembelajaran interaktif di seluruh spektrum TVET pada periode pascapandemi 2021–2025, termasuk bidang keahlian, perangkat dan platform yang digunakan, desain penelitian, serta celah riset yang relevan bagi konteks Asia Tenggara dan Indonesia.

Berdasarkan celah tersebut, penelitian ini bertujuan memetakan tren penerapan AR sebagai media pembelajaran interaktif pada pendidikan vokasi melalui *systematic literature review* yang diperkuat analisis deskriptif. Tiga pertanyaan penelitian (*research question*, RQ) dirumuskan untuk mengarahkan kajian, yaitu (RQ1) bagaimana tren publikasi penerapan AR pada pendidikan vokasi selama periode 2021–2025 ditinjau dari tahun, negara, dan konteks TVET; (RQ2) bidang keahlian, jenis teknologi dan platform AR, serta metode penelitian apa yang paling banyak digunakan; dan (RQ3) celah riset apa yang masih terbuka untuk penelitian lanjutan. Hasil kajian diharapkan menjadi peta riset berbasis bukti bagi pengembang media pembelajaran dan pendidik vokasi, sekaligus landasan ilmiah bagi penyusunan peta jalan penelitian AR di lingkungan politeknik di Indonesia.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* (SLR) yang mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020 [18]. Pedoman tersebut dipilih karena menuntut pelaporan yang transparan pada setiap tahap penelusuran dan seleksi, sehingga proses kajian dapat direplikasi dan diaudit oleh peneliti lain. Untuk memperkaya sintesis naratif, SLR dipadukan dengan analisis deskriptif berupa tabulasi frekuensi dan tabulasi silang atas karakteristik studi.

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui lima tahap yang saling berurutan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

Tahap pertama adalah perencanaan, yang mencakup perumusan RQ, penetapan kata kunci, pemilihan basis data, serta penyusunan protokol kajian dan lembar ekstraksi data. Tahap kedua adalah identifikasi, yaitu penelusuran artikel pada basis data terpilih menggunakan *search string* yang telah ditetapkan. Tahap ketiga adalah seleksi, yang meliputi penghapusan duplikasi, penyaringan judul dan abstrak, serta penilaian kelayakan berdasarkan teks lengkap. Tahap keempat adalah ekstraksi dan analisis data, yang terdiri atas pengodean artikel, tabulasi frekuensi, dan tabulasi silang. Tahap kelima adalah sintesis dan pelaporan, yaitu perumusan jawaban atas setiap RQ serta identifikasi celah riset. Jumlah artikel yang tersisa pada setiap tahap dicatat secara sistematis dan dilaporkan dalam diagram alir PRISMA pada bagian hasil.

2.2 Sumber Data dan Strategi Pencarian

Penelusuran dilakukan melalui dua jalur sesuai kerangka PRISMA 2020 [18]. Jalur pertama adalah penelusuran basis data ScienceDirect menggunakan *search string* pada kolom judul, abstrak, dan kata kunci. Jalur kedua adalah metode lain, yaitu penelusuran daring terarah melalui Google Scholar dan portal jurnal nasional terakreditasi, serta penelusuran sitasi dari kajian terdahulu. Jalur kedua ditempuh untuk menjaring artikel berbahasa Indonesia dan artikel dari jurnal nasional yang tidak terindeks pada ScienceDirect. Kata kunci disusun dari tiga kelompok konsep, yaitu teknologi (*augmented reality*), konteks (pendidikan vokasi beserta variasi istilahnya), dan aktivitas (pembelajaran atau pelatihan), sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1. Penelusuran dibatasi pada publikasi tahun 2021–2025 dan dilaksanakan pada [tanggal penelusuran].

Tabel 1. String pencarian pada setiap basis data

Sumber	String Pencarian / Kata Kunci
ScienceDirect	"augmented reality" AND (vocational OR TVET OR polytechnic OR apprentice OR "technical education" OR "work-based training"); "augmented reality" AND ("nursing education" OR "nursing students" OR "skills training" OR "workplace training")
Metode lain (Google Scholar, portal jurnal, penelusuran sitasi)	"augmented reality" dengan "SMK", "vokasi", "politeknik", "kejuruan", "vocational high school", "TVET", "vocational education"; rentang tahun 2021–2025

Keragaman istilah pada kelompok konteks dimaksudkan untuk mengakomodasi perbedaan penamaan pendidikan vokasi di berbagai negara, misalnya *vocational education and training*, TVET, *apprenticeship*, dan SMK. Istilah pendidikan keperawatan dan pelatihan di tempat kerja turut dimasukkan agar penelusuran selaras dengan cakupan TVET yang digunakan dalam penelitian ini. Jumlah rekaman dari setiap jalur dicatat secara terpisah dan dilaporkan pada diagram alir PRISMA.

2.3 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Konteks pendidikan vokasi dalam penelitian ini merujuk pada pengertian TVET yang digunakan UNESCO, yaitu pendidikan, pelatihan, dan pengembangan keterampilan untuk beragam bidang pekerjaan, termasuk pembelajaran berbasis kerja [19]. Atas dasar pengertian tersebut, cakupan kajian meliputi pendidikan menengah kejuruan, pendidikan tinggi vokasi, pendidikan vokasi bidang kesehatan, lembaga pelatihan vokasi, serta pelatihan keterampilan di tempat

kerja. Kriteria inklusi (*inclusion criteria*, IC) dan eksklusi (*exclusion criteria*, EC) yang digunakan pada tahap seleksi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria inklusi dan eksklusi

Kode	Kriteria
Kriteria Inklusi	
IC1	Artikel membahas penerapan AR sebagai media pembelajaran atau pelatihan, baik sebagai teknologi tunggal maupun sebagai salah satu kondisi perlakuan yang hasilnya dilaporkan terpisah.
IC2	Konteks penelitian berada dalam cakupan TVET: SMK, politeknik, akademi, pendidikan vokasi kesehatan (keperawatan dan kebidanan), lembaga pelatihan vokasi, atau pelatihan berbasis kerja.
IC3	Artikel merupakan studi empiris atau studi pengembangan yang disertai evaluasi terhadap pengguna.
IC4	Terbit pada rentang 2021–2025 di jurnal terindeks Scopus atau SINTA (minimal Sinta 3).
IC5	Ditulis dalam bahasa Inggris atau bahasa Indonesia.
IC6	Teks lengkap dapat diakses.
Kriteria Eksklusi	
EC1	AR digunakan di luar konteks pembelajaran, misalnya untuk pemasaran, pariwisata, atau bantuan kerja tanpa tujuan pelatihan.
EC2	Konteks penelitian berada pada pendidikan umum, program sarjana akademik nonvokasi, atau pendidikan dokter dan dokter spesialis.
EC3	Artikel berupa tinjauan, editorial, opini, atau makalah konseptual tanpa data empiris.
EC4	Rekaman duplikat. Beberapa laporan dari studi yang sama digabungkan dan dihitung sebagai satu studi.
EC5	Teks lengkap tidak tersedia.

2.4 Seleksi Artikel dan Uji Kesepakatan Penilai

Seluruh hasil penelusuran diekspor dalam format RIS, kemudian diimpor ke Mendeley untuk pengelolaan referensi dan penghapusan duplikasi. Seleksi dilakukan dalam dua tahap, yaitu penyaringan berdasarkan judul dan abstrak, lalu penilaian berdasarkan teks lengkap dengan mengacu pada Tabel 2. Penyaringan judul dan abstrak dikerjakan oleh dua penilai secara independen, dan setiap keputusan beserta alasannya dicatat pada lembar seleksi. Konsistensi keputusan antarpenilai diukur menggunakan koefisien Cohen's Kappa sebagaimana persamaan (1).

$$\kappa = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \quad (1)$$

Pada persamaan tersebut, κ menyatakan koefisien kesepakatan antarpenilai, p_o merupakan proporsi kesepakatan yang teramati, dan p_e merupakan proporsi kesepakatan yang diharapkan terjadi secara kebetulan. Nilai κ ditargetkan minimal 0,70. Pada penelitian ini diperoleh $\kappa = [\text{nilai hasil uji}]$, yang termasuk kategori [interpretasi]. Perbedaan keputusan pada artikel tertentu diselesaikan melalui diskusi konsensus.

2.5 Ekstraksi dan Analisis Data

Artikel yang lolos seleksi dikodekan menggunakan lembar ekstraksi yang memuat identitas publikasi, negara, konteks TVET, bidang keahlian, jenis dan perangkat AR, metode penelitian, ukuran sampel, variabel yang diukur, serta temuan utama. Analisis dilakukan melalui tiga pendekatan yang saling melengkapi. Pertama, analisis deskriptif digunakan untuk memetakan distribusi artikel menurut tahun terbit, negara, konteks, dan bidang keahlian guna menjawab RQ1. Kedua, tabulasi silang antara konteks TVET dan bidang keahlian digunakan untuk mengidentifikasi konsentrasi riset serta area yang masih jarang dikaji, mengikuti praktik pemetaan riset AR sebelumnya [3]. Ketiga, sintesis naratif digunakan untuk mengintegrasikan temuan lintas artikel, terutama yang berkaitan dengan platform dan desain penelitian (RQ2) serta perumusan celah riset (RQ3). Tabulasi frekuensi dan visualisasi tren disusun menggunakan Microsoft Excel.

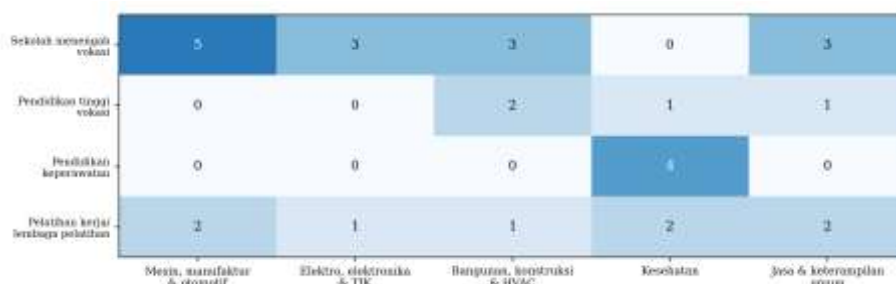
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Seleksi Artikel

Hasil seleksi artikel disajikan pada Gambar 2. Jalur basis data menghasilkan 100 rekaman dari ScienceDirect. Dua rekaman dihapus karena merupakan duplikat dari artikel yang telah diperoleh melalui jalur lain, sehingga 98 rekaman masuk tahap penyaringan judul dan abstrak. Sebanyak 90 rekaman dikeluarkan pada tahap ini. Alasan utamanya adalah penggunaan AR di luar konteks pembelajaran vokasi, misalnya untuk bantuan kerja di industri, layanan klinis, atau pemasaran, serta tahun terbit di luar rentang kajian. Dari delapan laporan yang dicari teks lengkapnya, dua tidak dapat diperoleh dan tiga dikeluarkan setelah dinilai, sehingga jalur ini menyumbang tiga studi.

Jalur metode lain menghasilkan 32 rekaman. Tiga laporan tidak dapat diperoleh teks lengkapnya, sedangkan 29 laporan yang dinilai seluruhnya memenuhi kriteria. Secara keseluruhan, kajian ini mencakup 32 laporan yang berasal dari 30 studi. Selisih tersebut muncul karena dua studi masing-masing dilaporkan dalam dua artikel dengan kelas,

peserta magang memperbaiki kaca mobil [25], melatih perawat ICU dan perawat bantuan hidup jantung lanjut [26], [27], serta membekali peserta pelatihan elektronika [28] dan penyandang disabilitas intelektual [9].



Gambar 4. Sebaran studi menurut konteks TVET dan bidang keahlian

Dari sisi bidang keahlian, bidang mesin, manufaktur, dan otomotif serta bidang kesehatan masing-masing mencakup tujuh studi. Bidang bangunan, konstruksi, dan tata udara mencakup enam studi, bidang jasa dan keterampilan umum enam studi, sedangkan bidang elektro, elektronika, dan teknologi informasi empat studi. Sebaran ini sejalan dengan kajian sebelumnya yang menemukan pemanfaatan AR paling banyak pada pelatihan medis, pemeliharaan industri, dan perakitan [16]. Perbedaannya, korpus ini memuat lebih banyak studi pada jenjang sekolah menengah vokasi, terutama dari Indonesia. Sebaliknya, bidang pariwisata, perhotelan, bisnis, pertanian, dan industri kreatif hampir tidak tersentuh. Hanya satu studi yang menasar mesin pertanian [29] dan satu studi yang menasar tata rias [4].

3.4 Teknologi, Perangkat, dan Platform AR (RQ2)

Karakteristik rinci ke-30 studi disajikan pada materi pelengkap (Tabel S1). Perangkat genggam berupa ponsel pintar atau tablet digunakan pada 23 studi (76,7%). Sebaliknya, *head-mounted display* (HMD) atau kacamata pintar hanya digunakan pada enam studi (20,0%), dan satu studi tidak merinci perangkatnya. Seluruh studi yang menggunakan HMD berasal dari Swiss, Korea Selatan, Australia, dan Jerman, misalnya HoloLens 2 untuk tugas prosedural [10] dan pelatihan perawat ICU [26]. Belum ada studi Indonesia dalam korpus yang memanfaatkan HMD. Di antara studi yang melaporkan perangkat lunaknya, Unity menjadi mesin pengembangan yang paling sering disebut, setidaknya pada tujuh studi, sedangkan Vuforia disebut setidaknya pada lima studi, umumnya dengan pelacakan berbasis *marker* [8], [24], [30], [31], [28]. Dua studi membandingkan AR dengan VR [12], [7], dan dua studi Indonesia memadukan AR dengan buku digital berupa flipbook [20], [22]. Dominasi perangkat genggam dan *marker* mencerminkan pertimbangan biaya dan kemudahan distribusi, tetapi juga membatasi pengalaman praktik tangan bebas yang justru penting dalam pekerjaan teknis.

Dari sisi bentuk interaksi, sebagian besar media AR dalam korpus menampilkan objek tiga dimensi yang dapat diputar, diperbesar, dan diurai komponennya, disertai animasi prosedur kerja. Contohnya adalah komponen traktor [29], sistem diferensial kendaraan [32], dan sistem pendingin *chiller* [33]. Pola interaksi yang lebih maju berupa panduan langkah demi langkah yang dilapiskan langsung pada mesin atau peralatan nyata, misalnya pada pengoperasian mesin pengukur kekasaran permukaan [24] dan troli bantuan hidup jantung lanjut [27]. Unsur gamifikasi juga mulai dimanfaatkan untuk meningkatkan keterlibatan, termasuk pada pelatihan vokasi bagi penyandang disabilitas intelektual [9]. Dengan demikian, AR dalam korpus ini berfungsi sebagai media visualisasi sekaligus pemandu kerja, meskipun fungsi pemandu kerja masih lebih banyak ditemukan pada konteks pelatihan kerja daripada di sekolah.

3.5 Metode Penelitian dan Variabel yang Diukur (RQ2)

Dari sisi desain, 13 studi (43,3%) menggunakan eksperimen atau kuasi-eksperimen, dan hanya sebagian kecil yang menerapkan penugasan acak, antara lain [11] dan [27]. Sepuluh studi (33,3%) merupakan penelitian pengembangan yang disertai uji kelayakan atau efektivitas. Empat studi (13,3%) berupa uji usabilitas, studi pilot, atau metode campuran, sedangkan masing-masing satu studi menggunakan survei penerimaan teknologi [34], analisis deret waktu [6], dan metode Delphi-AHP [7]. Pola desain di Indonesia berbeda dari pola keseluruhan. Tujuh dari 11 studi Indonesia (63,6%) merupakan penelitian pengembangan, dan sebagian di antaranya menilai keberhasilan melalui validasi ahli, kepraktisan, atau respons siswa [32], [35], [36]. Hanya empat studi Indonesia yang menggunakan kuasi-eksperimen dengan kelompok pembandingan [37], [20], [38], [31].

Ukuran sampel umumnya kecil. Sebanyak 17 studi melibatkan kurang dari 100 partisipan, enam studi melibatkan 100 partisipan atau lebih, dan tujuh studi tidak melaporkan jumlah partisipan secara eksplisit. Variabel yang paling sering diukur adalah hasil belajar kognitif, disusul persepsi penerimaan dan usabilitas [34], [33], [5]. Empat studi Indonesia mengukur keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis, kolaborasi, dan kreativitas [20], [22], [39], [36]. Beban kognitif hanya diukur pada empat studi [10], [11], [4], [27]. Keterampilan psikomotor atau kinerja tugas diukur secara langsung pada sebagian kecil studi, misalnya kualitas perbaikan [25], keterampilan pemeriksaan fisik [37], dan hasil belajar psikomotor [38]. Hanya sedikit studi yang menguji retensi atau transfer pengetahuan setelah jeda waktu [10], [40].

3.6 Arah Temuan: Keterlibatan Tidak Selalu Berarti Hasil Belajar

Sebanyak 25 studi (83,3%) melaporkan hasil positif, dan seluruh studi Indonesia termasuk di dalamnya. Namun, lima studi lainnya memberikan gambaran yang lebih berhati-hati. Studi dengan HMD di Swiss menemukan bahwa AR justru memunculkan beban kognitif ekstrinsik lebih tinggi dan kinerja lebih rendah dibanding video [10]. Studi lanjutannya tidak menemukan perbedaan beban kognitif yang berarti antara AR dan video [11]. Studi pada 211 mahasiswa vokasi di Tiongkok menunjukkan bahwa AR tidak lebih efektif daripada presentasi slide, bahkan lebih rendah pada sebagian kelompok jenis kelamin dan tingkat [40]. Pada pendidikan keperawatan, skor kuis dan ujian meningkat pada kelompok AR maupun kelompok kontrol tanpa perbedaan bermakna, meskipun AR dinilai lebih menarik [41]. Satu studi lainnya bersifat deskriptif karena memetakan prioritas kriteria pelatihan keselamatan kerja [7].

Temuan campuran tersebut menunjukkan bahwa keterlibatan dan motivasi yang tinggi tidak otomatis diikuti peningkatan hasil belajar. Kecenderungan ini sejalan dengan temuan pada VR di pendidikan vokasi, yaitu bahwa realisme dan rasa hadir meningkatkan motivasi tetapi tidak berdampak langsung pada perolehan belajar [42]. Efektivitas AR tampaknya bergantung pada kesesuaian desain instruksional dengan beban kognitif tugas, bukan pada kebaruan teknologinya. Hal ini diperkuat oleh temuan bahwa panduan desain berbasis prinsip multimedia dan pembelajaran dari kesalahan meningkatkan akurasi pada kondisi AR [10]. Selain itu, kemampuan spasial ikut memengaruhi manfaat AR pada gambar teknik [43]. Seragamnya hasil positif pada studi Indonesia perlu dicermati karena sebagian besar belum menggunakan kelompok pembandingan yang setara atau pengukuran ukuran efek.

3.7 Celah Riset dan Agenda Penelitian (RQ3)

Berdasarkan sintesis di atas, tujuh celah riset dirumuskan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3. Celah pertama adalah kekuatan desain penelitian. Riset di Indonesia masih didominasi penelitian pengembangan, sehingga diperlukan eksperimen terkontrol dengan penugasan acak, ukuran sampel yang memadai, dan pelaporan ukuran efek. Pola serupa juga dilaporkan pada kajian satu dekade AR di TVET Malaysia, yang didominasi prototipe berbasis ADDIE dan uji usability [44]. Celah kedua adalah pengukuran keterampilan praktik dan transfer ke tempat kerja, yang masih jarang dilakukan secara objektif dan jangka panjang. Celah ketiga adalah pemanfaatan HMD dan AR tanpa *marker* untuk praktik tangan bebas, yang belum dieksplorasi di Indonesia.

Celah keempat berkaitan dengan konteks. Belum ada studi Indonesia dalam korpus yang dilakukan di politeknik bidang teknik maupun pada pelatihan berbasis kerja bersama industri. Celah ini relevan bagi pengembangan riset di lingkungan politeknik. Celah kelima adalah bidang keahlian yang belum tersentuh, seperti pariwisata, perhotelan, MICE, bisnis, dan industri kreatif. Celah keenam adalah minimnya perspektif pendidik dan kesiapan institusi. Padahal, kompetensi digital guru vokasi di Indonesia masih menjadi tantangan [13], dan kesiapan pendidik menentukan adopsi AR [14]. Celah ketujuh adalah penerapan prinsip desain instruksional secara eksplisit, misalnya teori pembelajaran multimedia dan manajemen beban kognitif, yang baru terlihat pada sebagian kecil studi [10], [11], [4]. Temuan adanya publikasi ganda dalam korpus juga menegaskan pentingnya integritas pelaporan, yaitu dengan menautkan setiap laporan pada studi asalnya.

Tabel 3. Celah riset dan agenda penelitian lanjutan

No	Celah Riset	Agenda Penelitian
1	Dominasi penelitian pengembangan dengan validasi ahli dan respons pengguna, terutama di Indonesia	Eksperimen terkontrol dengan penugasan acak, sampel memadai, dan pelaporan ukuran efek
2	Keterampilan praktik dan transfer ke tempat kerja jarang diukur secara objektif dan jangka panjang	Pengukuran kinerja tugas berbasis rubrik atau data log, uji retensi tertunda, dan studi longitudinal
3	HMD dan AR tanpa <i>marker</i> belum dimanfaatkan di Indonesia	Uji coba HMD untuk praktik tangan bebas dengan analisis biaya–manfaat
4	Belum ada studi Indonesia di politeknik teknik dan pelatihan berbasis kerja	Riset kolaboratif politeknik–industri pada skema <i>teaching factory</i> dan magang
5	Bidang pariwisata, perhotelan, MICE, bisnis, dan industri kreatif belum tersentuh	Pengembangan dan evaluasi AR untuk layanan, simulasi acara, dan produksi kreatif
6	Perspektif pendidik dan kesiapan institusi masih minim	Studi kesiapan, kompetensi digital, dan pelatihan guru dalam merancang media AR
7	Prinsip desain instruksional jarang diterapkan secara eksplisit	Eksperimen yang menguji prinsip multimedia dan manajemen beban kognitif pada media AR

3.8 Implikasi bagi Pendidikan Vokasi di Indonesia

Temuan kajian ini membawa sejumlah implikasi bagi pendidikan vokasi di Indonesia. Pertama, besarnya jumlah studi pengembangan menunjukkan bahwa kapasitas membuat media AR sudah tersedia di banyak SMK dan lembaga pendidikan tenaga kependidikan. Langkah berikutnya adalah menggeser fokus dari membuktikan kelayakan media menuju pengujian efektivitas yang ketat. Dengan begitu, keputusan pengadaan dan integrasi AR ke kurikulum dapat didasarkan pada bukti dampak terhadap kompetensi, bukan semata pada respons positif siswa.

Kedua, pemilihan perangkat perlu mempertimbangkan sifat keterampilan yang dilatihkan. Perangkat genggam memadai untuk visualisasi komponen, pengenalan prosedur, dan materi yang bersifat konseptual. Namun, keterampilan yang menuntut kedua tangan, seperti perakitan, pengelasan, atau perawatan mesin, lebih diuntungkan oleh panduan tangan bebas melalui HMD, sebagaimana ditunjukkan pada pelatihan peserta magang otomotif [25] dan perawat ICU [26]. Pertimbangan biaya dapat diatasi melalui laboratorium bersama atau kemitraan dengan industri.

Ketiga, perancangan media AR sebaiknya mengacu pada prinsip desain instruksional sejak awal. Hasil yang tidak signifikan dan campuran pada sejumlah studi mengingatkan bahwa elemen visual tiga dimensi yang berlebihan dapat menambah beban kognitif ekstrinsik [10]. Oleh karena itu, pengembang media perlu memprioritaskan informasi yang relevan dengan tugas, memberikan umpan balik langsung, dan menyediakan kesempatan belajar dari kesalahan.

Keempat, bagi perguruan tinggi vokasi seperti politeknik, celah pada konteks pelatihan berbasis kerja dan bidang nonteknik membuka peluang riset yang strategis. Contohnya adalah pemanfaatan AR pada skema *teaching factory*, praktik industri, serta bidang pariwisata dan MICE yang menuntut simulasi layanan dan tata kelola acara. Arah riset tersebut sekaligus menjawab kebutuhan revitalisasi pendidikan vokasi yang menekankan keselarasan dengan dunia kerja [1].

3.9 Keterbatasan Kajian

Kajian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, penelusuran basis data hanya dilakukan pada ScienceDirect, sehingga sebagian besar studi yang diinklusi berasal dari jalur metode lain. Hal ini berpotensi menimbulkan bias seleksi, meskipun seluruh studi dinilai dengan kriteria yang sama. Kedua, kajian dibatasi pada artikel berbahasa Inggris dan Indonesia. Ketiga, keragaman desain dan ukuran luaran tidak memungkinkan dilakukannya meta-analisis. Oleh karena itu, kesimpulan tentang efektivitas bersifat naratif.

4. KESIMPULAN

Kajian sistematis terhadap 30 studi dari 32 laporan periode 2021–2025 menunjukkan bahwa penerapan AR sebagai media pembelajaran interaktif pada pendidikan vokasi terus meningkat. Sebanyak 73,3% studi terbit pada tiga tahun terakhir, dan kawasan Asia Tenggara menyumbang separuh korpus, dengan Indonesia sebagai kontributor terbanyak. Penerapan AR paling banyak ditemukan pada sekolah menengah vokasi dan pelatihan berbasis kerja, terutama pada bidang mesin, manufaktur, otomotif, dan kesehatan. Perangkat genggam dengan pelacakan berbasis *marker* serta Unity dan Vuforia menjadi pilihan dominan, sedangkan HMD baru digunakan pada seperlima studi dan belum ditemukan di Indonesia. Dari sisi metode, eksperimen dan kuasi-eksperimen paling banyak digunakan secara keseluruhan, tetapi riset di Indonesia masih didominasi penelitian pengembangan. Sebagian besar studi melaporkan hasil positif, namun studi dengan desain yang lebih ketat menunjukkan bahwa peningkatan keterlibatan tidak selalu diikuti peningkatan hasil belajar. Celah riset yang teridentifikasi meliputi kekuatan desain penelitian, pengukuran keterampilan praktik dan transfer ke tempat kerja, pemanfaatan HMD, konteks politeknik dan pelatihan kerja di Indonesia, bidang keahlian nonteknik, perspektif pendidik, serta penerapan prinsip desain instruksional. Temuan ini dapat menjadi peta jalan riset AR di lingkungan politeknik, misalnya melalui eksperimen terkontrol yang menguji media AR berbasis prinsip desain multimedia bersama mitra industri. Penelitian lanjutan juga disarankan memperluas penelusuran ke basis data internasional lain dan melakukan meta-analisis agar besaran efek AR terhadap kompetensi vokasi dapat diketahui secara lebih pasti.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Medan atas pendanaan penelitian ini melalui skema Penelitian Fundamental DIPA Politeknik Negeri Medan Tahun Anggaran 2026 sesuai Surat Perjanjian Pelaksanaan Kegiatan Nomor B/340/PL5/PT.01.05/2026, penelitian ini bisa di selesaikan.

REFERENCES

- [1] P. R. Indonesia, “Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2022 tentang Revitalisasi Pendidikan Vokasi dan Pelatihan Vokasi,” 2022, *Pemerintah Republik Indonesia, Jakarta*.
- [2] D. Guaya, M. Á. Meneses, X. Jaramillo-Fierro, and E. Valarezo, “Augmented reality: An emergent technology for students’ learning motivation for chemical engineering laboratories during the COVID-19 pandemic,” *Sustainability*, vol. 15, no. 6, p. 5175, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/su15065175>.
- [3] C. Avila-Garzon, J. Bacca-Acosta, Kinshuk, J. Duarte, and J. Betancourt, “Augmented reality in education: An overview of twenty-five years of research,” *Contemp. Educ. Technol.*, vol. 13, no. 3, p. ep302, 2021, doi: <https://doi.org/10.30935/cedtech/10865>.
- [4] C.-J. Lee and Y. Hsu, “Sustainable education using augmented reality in vocational certification courses,” *Sustainability*, vol. 13, no. 11, p. 6434, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/su13116434>.
- [5] S. K. Kim, Y. Lee, H. Yoon, and J. Choi, “Adaptation of extended reality smart glasses for core nursing skill training among undergraduate nursing students: Usability and feasibility study,” *J. Med. Internet Res.*, vol. 23,

- no. 3, p. e24313, 2021, doi: <https://doi.org/10.2196/24313>.
- [6] C. Álvarez-Nieto, C. Álvarez-García, L. Parra-Anguita, S. Sanz-Martos, and I. M. López-Medina, "Effectiveness of scenario-based learning and augmented reality for nursing students' attitudes and awareness toward climate change and sustainability," *BMC Nurs.*, vol. 21, p. 245, 2022, doi: <https://doi.org/10.1186/s12912-022-01023-9>.
- [7] A. Shringi, M. Arashpour, E. M. Golafshani, T. Dwyer, and P. Kalutara, "Enhancing safety training performance using extended reality: A hybrid Delphi-AHP multi-attribute analysis in a type-2 fuzzy environment," *Buildings*, vol. 13, no. 3, p. 625, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/buildings13030625>.
- [8] S. Al-Amri, S. Hamid, N. F. Mohd Noor, and A. Gani, "A framework for designing interactive mobile training course content using augmented reality," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 82, pp. 30491–30541, 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s11042-023-14561-4>.
- [9] B.-L. Tan, F. Y. Guan, I. M. W. Leung, S. Y.-M. Kee, O. Z. Devilly, and A. Medalia, "A gamified augmented reality vocational training program for adults with intellectual and developmental disabilities: A pilot study on acceptability and effectiveness," *Front. Psychiatry*, vol. 13, p. 966080, 2022, doi: <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.966080>.
- [10] V. Candido, A. Cattaneo, and D. Petko, "Exploring multimedia principles and learning from errors in augmented reality and video," *Learn. Instr.*, vol. 101, p. 102244, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2025.102244>.
- [11] V. Candido and A. Cattaneo, "Applying cognitive theory of multimedia learning principles to augmented reality and its effects on cognitive load and learning outcomes," *Comput. Hum. Behav. Reports*, vol. 18, p. 100678, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2025.100678>.
- [12] X. He and L. Li, "Teaching optimization of virtual reality and augmented reality technology in vocational education," *J. Comput. Methods Sci. Eng.*, vol. 24, no. 6, pp. 3734–3747, 2024, doi: <https://doi.org/10.1177/14727978241297013>.
- [13] S. Rahmawati, S. Prestridge, A. G. Abdullah, and I. Widiaty, "Unpacking the digital competence challenge in vocational education: A case from Indonesia," *Soc. Sci. Humanit. Open*, vol. 12, p. 101803, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101803>.
- [14] C. Y. Wei, Y. C. Kuah, C. P. Ng, and W. K. Lau, "Augmented reality (AR) as an enhancement teaching tool: Are educators ready for it?," *Contemp. Educ. Technol.*, vol. 13, no. 3, p. ep303, 2021, doi: <https://doi.org/10.30935/cedtech/10866>.
- [15] A. Annafi, D. L. Hakim, and D. Rohendi, "Impact of using augmented reality applications in the educational environment," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1375, p. 12080, 2019, doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1375/1/012080>.
- [16] F.-K. Chiang, X. Shang, and L. Qiao, "Augmented reality in vocational training: A systematic review of research and applications," *Comput. Human Behav.*, vol. 129, p. 107125, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.107125>.
- [17] F. C. Wibowo, D. R. Darman, F. Salim, B. K. Prahani, and A. Samsudin, "Knowledgeable integration hybrid AI joins augmented reality and science literacy: Prospects and challenges," *Soc. Sci. Humanit. Open*, vol. 13, p. 102566, 2026, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2026.102566>.
- [18] M. J. Page *et al.*, "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, vol. 372, p. n71, 2021, doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- [19] UNESCO, "Strategy for Technical and Vocational Education and Training (TVET) (2016–2021)," UNESCO, Paris, 2016.
- [20] Z. Sabitri, D. Meirawan, and S. Rahayu, "Enhancing vocational students' critical thinking skills in Society 5.0 with flipbook and augmented reality learning media," *INVOTEK J. Inov. Vokasional dan Teknol.*, vol. 24, no. 1, pp. 31–42, 2024, doi: <https://doi.org/10.24036/invotek.v24i1.1166>.
- [21] Z. Ghinaya, S. Rahayu, and N. Supriatna, "Improving the collaboration skills of vocational school students through flipbook with augmented reality in Society 5.0," *CIVED J. Civ. Eng. Vocat. Educ.*, vol. 11, no. 1, pp. 89–98, 2024, doi: <https://doi.org/10.24036/cived.v11i1.514>.
- [22] Z. Sabitri, S. Rahayu, and D. Meirawan, "The implementation of augmented reality-based flipbook learning media in improving vocational school students' critical thinking skills in the era of society 5.0," *J. Pendidik. Teknol. Kejur.*, vol. 7, no. 1, pp. 22–31, 2024, doi: <https://doi.org/10.24036/jptk.v7i1.35223>.
- [23] H. Rahmiyanti and S. Rahayu, "Improving the creative skill of vocational high school students through flipbook with augmented reality in Society 5.0," *J. Pensil Pendidik. Tek. Sipil*, vol. 14, no. 2, pp. 212–222, 2025, doi: <https://doi.org/10.21009/jpensil.v14i2.54280>.
- [24] P. C. Sorathiya, S. A. Singh, and K. A. Desai, "Mobile-based augmented reality (AR) module for guided operations of CNC surface roughness machine," *Manuf. Lett.*, vol. 35, pp. 1255–1263, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2023.08.069>.
- [25] Ö. Gülerk, T. Bohné, and G. Alvarez Alonso, "Productivity and learning effects of augmented reality head-mounted displays," *Comput. Hum. Behav. Reports*, vol. 18, p. 100638, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2025.100638>.

- [26] S. Yoo *et al.*, “Adoption of augmented reality in educational programs for nurses in intensive care units of tertiary academic hospitals: Mixed methods study,” *JMIR Serious Games*, vol. 12, p. e54188, 2024, doi: <https://doi.org/10.2196/54188>.
- [27] W.-N. Sun, M.-C. Hsieh, and W.-F. Wang, “Nurses’ knowledge and skills after use of an augmented reality app for advanced cardiac life support training: Randomized controlled trial,” *J. Med. Internet Res.*, vol. 26, p. e57327, 2024, doi: <https://doi.org/10.2196/57327>.
- [28] N. Muthu, F. Abdul Aziz, L. N. Abdullah, M. Mokhtar, M. K. Omar, and M. A. M. Nazar, “The mobile augmented reality application for improving learning of electronic component module in TVET,” *Int. J. Softw. Eng. Comput. Syst.*, vol. 9, no. 2, pp. 82–92, 2023, doi: <https://doi.org/10.15282/ijsecs.9.2.2023.2.0113>.
- [29] Tuwoso, A. B. N. R. Putra, and A. K. Bin Muhammad, “The innovation of augmented reality learning media with interactive component model to improve special ability of vocational education knowledge in the digital era,” *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 15, no. 21, pp. 188–198, 2021, doi: <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i21.24833>.
- [30] A. Hidayat, Y. Sutopo, and N. Qudus, “Enhancing vocational students’ cognitive skills in computer networking through augmented reality,” *J. Vocat. Career Educ.*, vol. 9, no. 2, pp. 178–184, 2024.
- [31] S. I. Fahira, I. P. Dewi, A. S. Al-Adwan, and R. C. Castro, “Augmented reality to enhance informatics learning outcomes: A quasi-experimental study in vocational education,” *J. Hypermedia Technol. Learn.*, vol. 3, no. 2, pp. 185–201, 2025, doi: <https://doi.org/10.58536/j-hytel.167>.
- [32] D. F. Dani, S. D. Ramdani, and D. Supriyatna, “Developing augmented reality on differential system, competency system, and power transfer in vocational education,” *J. Pendidik. Vokasi*, vol. 12, no. 2, pp. 152–167, 2022, doi: <https://doi.org/10.21831/jpv.v12i2.48804>.
- [33] M. Z. Abdul Jalil, N. Razali, K. A. Abdul Rahman, M. B. Rahim, N. Abd Samad, and A. Hussin, “Development and evaluation of an augmented reality chiller system simulator for TVET teaching,” *J. Tech. Educ. Train.*, vol. 16, no. 1, pp. 40–55, 2024, doi: <https://doi.org/10.30880/jtet.2024.16.01.004>.
- [34] P. Uymaz and A. O. Uymaz, “Assessing acceptance of augmented reality in nursing education,” *PLoS One*, vol. 17, no. 2, p. e0263937, 2022, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263937>.
- [35] M. I. A. Setyono, Nurhayati, E. Sulistiyo, and P. W. Rusimanto, “Pengembangan modul pembelajaran car audio system terintegrasi augmented reality pada mata pelajaran pemeliharaan kelistrikan kendaraan ringan kelas XII TKRO di SMK YKP Magetan,” *J. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 02, pp. 101–116, 2023.
- [36] Yunus, D. Suwito, A. D. Indriyanti, R. G. Pambudi, and D. P. Sari, “Development of welding technique teaching module based on augmented reality integrated (ARI) equipped with 3D animation simulation to improve 21st century skills of vocational high school students,” *Cogent Educ.*, vol. 12, no. 1, p. 2505279, 2025, doi: <https://doi.org/10.1080/2331186X.2025.2505279>.
- [37] S. Nurlaily Z, M. Ahmad, S. Syarif, Budu, I. Idris, and Stang, “Effectiveness of augmented reality (AR) based learning media on increasing the physical examination system of pregnant women urinary system,” *Gac. Sanit.*, vol. 35, no. S2, pp. S221–S223, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2021.10.025>.
- [38] I. G. P. A. Buditjahjanto and J. Irfansyah, “Augmented reality on students’ academic achievement viewed from the creative thinking level,” *J. Technol. Sci. Educ.*, vol. 13, no. 3, pp. 597–612, 2023, doi: <https://doi.org/10.3926/jotse.1813>.
- [39] R. Efendi, Ambiyar, Estuhono, and R. A. Wulandari, “Bridging the Industry 4.0 skills gap: An immersive augmented reality mobile learning approach for vocational education,” *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 19, no. 6, pp. 60–74, 2025, doi: <https://doi.org/10.3991/ijim.v19i06.53825>.
- [40] M. Yang, D. She, Q. Xu, W. Zhang, C. Qu, and X. Hu, “Inefficiencies of augmented reality for different sexes and grades in Chinese vocational education,” *Sci. Rep.*, vol. 13, p. 21290, 2023, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48727-9>.
- [41] D. Z. Bliss *et al.*, “An augmented reality system for enhancing a didactic baccalaureate nursing course,” *J. Nurs. Educ.*, vol. 64, no. 2, pp. 81–89, 2025, doi: <https://doi.org/10.3928/01484834-20240925-01>.
- [42] C. Larmuseau, L. De Leersnijder, T. Rotsaert, C. Boel, J. Demanet, and T. Schellens, “Beyond realism: Rethinking VR design for optimal learning in technical and vocational secondary education,” *Comput. Educ. X Real.*, vol. 6, p. 100098, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2025.100098>.
- [43] N. O. Awuor, C. Weng, I. M. Matere, J.-H. Chen, D. Puspitasari, and K. Nguyen Phuong Tran, “The effect of 3D-stereogram mobile AR on engineering drawing course outcomes among first-year vocational high schoolers with different spatial abilities: A Bloom’s taxonomy perspective,” *Interact. Learn. Environ.*, vol. 32, no. 6, pp. 2645–2664, 2024, doi: <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2158477>.
- [44] I. S. C. Ilias, M. Wook, N. Awang, and M. E. Ismail, “A decade of augmented reality integration in Malaysian TVET: Adoption, practices, and challenges,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 289, pp. 184–193, 2026, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2026.08.235>.