

Pengaruh Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality Terhadap Minat dan Hasil Belajar Siswa: Systematic Literature Review

Ari Muhammad Nur*, Andrizal, Hasan Maksam, Toto Sugiarto, Wagino, Nuzul Hidayat

Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

*Corresponding Author: arimuhammadnur2@student.unp.ac.id

Article History

Received : January 20th, 2026

Revised : January 28th, 2026

Accepted : February 23th, 2026

Abstract: Rendahnya minat dan hasil belajar siswa pada materi teknis seperti Motor Starter di SMK mendorong perlunya inovasi media pembelajaran yang lebih interaktif dan kontekstual. Augmented Reality (AR) muncul sebagai teknologi yang mampu menciptakan pengalaman belajar imersif dengan menggabungkan objek virtual ke dalam lingkungan nyata secara real-time. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara sistematis pengaruh media pembelajaran berbasis AR terhadap minat dan hasil belajar siswa berdasarkan publikasi ilmiah periode 2020–2025. Penelitian menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan pedoman PRISMA 2020. Pencarian dilakukan pada database Scopus menggunakan enam kombinasi kata kunci berbasis AR dan pembelajaran; dari 1.111 artikel yang teridentifikasi, diperoleh 50 artikel yang memenuhi kriteria inklusi melalui proses screening dan penilaian eligibility full-text. Hasil analisis menunjukkan bahwa: (1) implementasi AR secara konsisten meningkatkan hasil belajar siswa dengan effect size sedang hingga tinggi ($d = 0,41-1,24$); (2) AR efektif meningkatkan motivasi dan minat belajar melalui pengalaman belajar yang interaktif dan imersif; (3) efektivitas AR dipengaruhi oleh pendekatan pedagogis, desain aplikasi, dan karakteristik siswa. Penelitian ini menyimpulkan bahwa AR merupakan media pembelajaran yang efektif untuk meningkatkan minat dan hasil belajar siswa di berbagai jenjang pendidikan, dan berpotensi besar untuk diterapkan pada pembelajaran Motor Starter di SMK.

Keywords: augmented reality, hasil belajar, media pembelajaran, minat belajar, motivasi belajar, systematic literature review

PENDAHULUAN

Pembelajaran Motor Starter pada program keahlian Teknik Kendaraan Ringan (TKR) di SMK memerlukan pemahaman mendalam tentang komponen dan prinsip kerja yang kompleks. Siswa sering mengalami kesulitan dalam memvisualisasikan komponen internal motor starter yang tidak dapat diamati secara langsung, sehingga berdampak pada rendahnya hasil belajar dan minat siswa terhadap materi tersebut. Kondisi ini menuntut inovasi media pembelajaran yang mampu menyajikan objek tiga dimensi secara interaktif dan realistis. *Augmented Reality* (AR) merupakan teknologi yang memungkinkan penggabungan objek virtual dengan lingkungan nyata secara real-time (Sahin & Yilmaz, 2020). Dalam konteks pendidikan, AR telah menunjukkan potensi besar sebagai media pembelajaran inovatif yang dapat meningkatkan pengalaman belajar siswa. Garzón et al., (2020) dalam meta-analisis mereka menemukan bahwa

AR memiliki dampak positif signifikan terhadap hasil belajar, terutama ketika diintegrasikan dengan pendekatan pedagogis yang tepat.

Perkembangan teknologi AR dalam pendidikan telah mengalami peningkatan signifikan dalam lima tahun terakhir. H.-Y. Chang et al., (2022) melakukan meta-analisis terhadap studi eksperimental selama sepuluh tahun dan menemukan bahwa AR memberikan efek positif sedang (*moderate effect size*) terhadap hasil belajar siswa di berbagai jenjang pendidikan dan mata pelajaran. Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa AR tidak hanya meningkatkan aspek kognitif, tetapi juga aspek afektif seperti motivasi, minat, dan sikap siswa terhadap pembelajaran (Dhar et al., 2021; Ibáñez et al., 2020).

Minat dan motivasi belajar merupakan faktor krusial dalam keberhasilan proses pembelajaran. AR memiliki kemampuan untuk menciptakan pengalaman belajar yang menarik dan interaktif, sehingga dapat merangsang minat

dan motivasi siswa untuk belajar lebih dalam. Vargas et al., (2025) menemukan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran warisan budaya mampu meningkatkan motivasi belajar siswa secara signifikan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan *Systematic Literature Review* (SLR) guna menganalisis secara komprehensif pengaruh media pembelajaran berbasis Augmented Reality terhadap minat dan hasil belajar siswa. Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi dan mensintesis temuan-temuan penelitian terkait efektivitas AR terhadap hasil belajar siswa; (2) menganalisis pengaruh AR terhadap minat dan motivasi belajar siswa; (3) mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas implementasi AR dalam pembelajaran; dan (4) memberikan rekomendasi untuk pengembangan AR sebagai media pembelajaran di SMK.

KAJIAN LITERATUR

Augmented Reality dalam Pendidikan

Augmented Reality (AR) adalah teknologi yang memungkinkan superimposisi informasi digital berupa objek virtual ke dalam lingkungan nyata pengguna secara *real-time* (Azuma, 1997). Berbeda dengan *Virtual Reality* (VR) yang menciptakan lingkungan virtual sepenuhnya, AR mempertahankan koneksi pengguna dengan dunia nyata sambil menambahkan elemen digital yang dapat meningkatkan persepsi dan interaksi dengan lingkungan (Schiefele, 1991).

Hasil Belajar dan Minat Belajar

Hasil belajar merupakan perubahan perilaku yang terjadi pada siswa setelah mengikuti proses pembelajaran, mencakup aspek kognitif, afektif, dan psikomotorik (Bhagat et al., 2021). Meta-analisis oleh (Y.-S. Chang et al., 2020) menunjukkan bahwa AR memberikan *effect size* sedang ($d = 0.58$) terhadap hasil belajar. Minat belajar didefinisikan sebagai kecenderungan siswa untuk tertarik dan terlibat dalam aktivitas pembelajaran tertentu (Schiefele, 1991).

Teori Pembelajaran yang Mendukung AR

Beberapa teori pembelajaran mendukung efektivitas AR sebagai media pembelajaran. Teori Cognitive Load (Sweller, 1988) menjelaskan bahwa AR dapat mengurangi beban

kognitif ekstrinsik dengan menyajikan informasi secara terintegrasi. Teori Multimedia Learning (Mayer, 2024) menyatakan bahwa pembelajaran lebih efektif ketika informasi disajikan melalui kombinasi teks dan visual. Teori Situated Learning (Lave & Wenger, 1991) mendukung penggunaan AR karena kemampuannya untuk menyajikan pembelajaran dalam konteks yang autentik.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan mengikuti pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) versi 2020 (Page et al., 2021; Wagino et al., 2023). SLR merupakan metode review yang sistematis, eksplisit, dan reproducible untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis bukti-bukti penelitian yang relevan (Kitchenham et al., 2007).

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari hingga Desember 2025. Kegiatan penelitian meliputi pencarian literatur, seleksi artikel, ekstraksi data, dan sintesis temuan. Seluruh proses penelitian dilakukan secara daring melalui akses terhadap *database* Scopus (www.scopus.com) dan berbagai sumber referensi daring yang relevan, bertempat di Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif.

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian adalah seluruh artikel ilmiah yang terpublikasi dalam *database* Scopus yang membahas implementasi *Augmented Reality* (AR) dalam pendidikan periode Januari 2020–Desember 2025, yakni sebanyak 1.111 artikel. Sampel diperoleh melalui seleksi bertahap menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel membahas implementasi AR dalam pendidikan formal; (2) mengukur hasil belajar dan/atau minat/motivasi belajar; (3) diterbitkan dalam jurnal *peer-reviewed* terindeks Scopus; (4) diterbitkan tahun 2020–2025; dan (5) berbahasa Inggris. Kriteria eksklusi meliputi: (1) *conference paper*, *book chapter*, editorial, dan erratum; (2) tidak memiliki data empiris jelas; (3) duplikat; (4) tidak tersedia *full-text*. Berdasarkan proses

seleksi, diperoleh sampel akhir sebanyak 50 artikel yang memenuhi syarat untuk disintesis.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian mengikuti alur PRISMA 2020 yang terdiri dari empat tahap. Tahap pertama adalah identifikasi: pencarian pada *database* Scopus menggunakan enam kombinasi kata kunci berbasis “*augmented reality*” AND variabel pembelajaran, menghasilkan 1.111 artikel. Tahap kedua adalah *screening*: penghapusan 235 duplikat dan penyaringan berdasarkan judul/abstrak (530 tidak relevan), tersisa 346 artikel. Tahap ketiga adalah *eligibility*: penilaian *full-text* terhadap 346 artikel menghasilkan eksklusi 163 artikel (83 bukan fokus AR pembelajaran, 45 tidak mengukur hasil/minat belajar, 35 tidak tersedia *full-text*). Tahap keempat adalah *included*: 50 artikel memenuhi kriteria dan disintesis. Diagram alur PRISMA 2020 disajikan pada Gambar 1.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan melalui dua pendekatan yang saling melengkapi. Pertama, analisis deskriptif-kuantitatif untuk memetakan distribusi artikel berdasarkan tahun publikasi, jenjang pendidikan, mata pelajaran, metode penelitian, dan jurnal publikasi. Data *effect size* diinterpretasikan menggunakan kategori Cohen (1988): $d = 0,2$ (kecil), $d = 0,5$ (sedang), dan $d = 0,8$ (besar). Kedua, analisis konten tematik digunakan untuk mengidentifikasi pola temuan, faktor moderator, dan implikasi praktis dari 50 artikel yang disintesis (Braun & Clarke, 2006). Seluruh proses ekstraksi dan sintesis data didokumentasikan dalam lembar *coding* yang telah diuji konsistensinya. Selain itu, dilakukan analisis bibliometrik menggunakan VOSViewer untuk memetakan *co-occurrence* kata kunci dan

jaringan tematik dari literatur yang disintesis (Eck & Waltman, 2009).

Strategi Pencarian

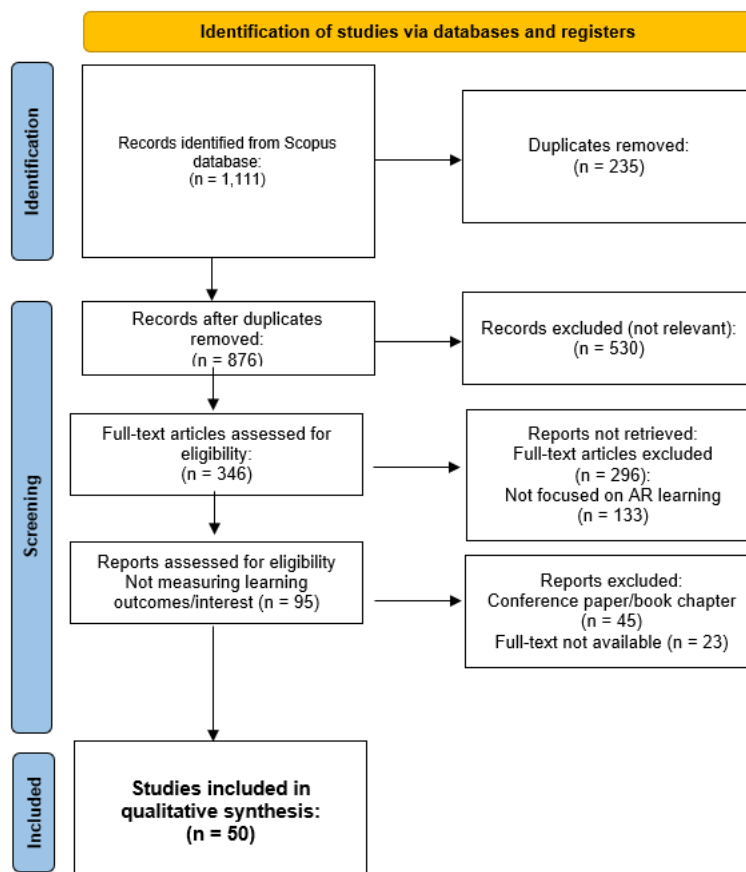
Pencarian literatur dilakukan pada *database* Scopus periode Januari 2020 hingga Desember 2025. Kata kunci pencarian: “*augmented reality*” AND “*learning outcomes*”, “*augmented reality*” AND “*learning motivation*”, “*augmented reality*” AND “*student interest*”, “*augmented reality*” AND “*vocational education*”, “*augmented reality*” AND “*learning media*”, dan “*augmented reality*” AND “*student achievement*”.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi: (1) artikel membahas implementasi AR dalam konteks pendidikan formal; (2) artikel mengukur hasil belajar dan/atau minat/motivasi belajar siswa; (3) artikel diterbitkan dalam jurnal *peer-reviewed terindeks Scopus*; (4) artikel diterbitkan tahun 2020-2025; (5) artikel berbahasa Inggris. Kriteria eksklusi: (1) *conference paper*, *book chapter*, *editorial*, *erratum*; (2) tidak memiliki data empiris jelas; (3) artikel duplikat; (4) tidak tersedia *full-text*.

Proses Seleksi PRISMA 2020

Proses seleksi mengikuti alur PRISMA 2020. Tahap identifikasi: 1.111 artikel dari Scopus. Tahap *screening*: menghapus duplikat (235 artikel) dan menyaring berdasarkan judul/abstrak (tidak relevan: 530 artikel). Sisa: 346 artikel. Tahap *eligibility*: penilaian *full-text* menghasilkan eksklusi 163 artikel (83 bukan fokus AR pembelajaran, 45 tidak mengukur hasil/minat belajar, 35 tidak tersedia *full-text*). Tahap *included*: 50 artikel disintesis. Diagram alur PRISMA 2020 disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur PRISMA 2020

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Distribusi Artikel Berdasarkan Tahun Publikasi dan Sitasi

Tahun Publikasi	Jumlah Artikel	Persentase	Total Sitasi	Rata-rata Sitasi
2020	11	22%	1,426	129.6
2021	9	18%	647	71.9
2022	14	28%	588	42.0
2023	12	24%	342	28.5
2024	3	6%	131	43.7
2025	1	2%	25	25.0
Total	50	100%	3,044	60.9

Tabel 1 menunjukkan distribusi artikel berdasarkan tahun publikasi beserta data sitasi. Tahun 2022 memiliki jumlah artikel terbanyak (14 artikel, 28%), diikuti tahun 2023 (12 artikel, 24%) dan tahun 2020 (11 artikel, 22%).

Meskipun artikel tahun 2020 lebih sedikit, namun memiliki total sitasi tertinggi (1.426 sitasi) dengan rata-rata 129,6 sitasi per artikel, menunjukkan dampak akademik yang tinggi seiring berjalannya waktu.

Tabel 2. Distribusi Artikel Berdasarkan Jenjang Pendidikan dan Mata Pelajaran

Jenjang Pendidikan	Jumlah	Persentase	Mata Pelajaran Dominan
Sekolah Dasar (SD)	10	20%	Multidisiplin, IPA, Bahasa Inggris, CLIL
Sekolah Menengah Pertama (SMP)	14	28%	IPA, Matematika, Bahasa Inggris, STEAM, Biologi
Sekolah Menengah Atas/SMK (SMA)	10	20%	Kesehatan, Robotika, Pemrograman, Kimia
Perguruan Tinggi	12	24%	Kedokteran, Desain, Teknik, Anatomi, Bahasa
Semua Jenjang (Meta-Analysis)	4	8%	Multidisiplin

Tabel 2 menunjukkan bahwa penelitian AR dalam pembelajaran tersebar merata di berbagai jenjang pendidikan. SMP menjadi jenjang dengan penelitian terbanyak (28%), menunjukkan bahwa AR sangat relevan untuk

siswa usia remaja awal yang membutuhkan media konkret untuk memahami konsep abstrak. Perguruan Tinggi (24%) dan SMA/SMK (20%) juga menunjukkan adopsi AR yang signifikan, terutama untuk mata pelajaran teknis dan sains.

Tabel 3. Distribusi Artikel Berdasarkan Fokus Penelitian

Fokus Penelitian	Jumlah	Persentase	Aspek yang Diukur
Hasil Belajar (<i>Learning Outcomes</i>)	22	44%	Peningkatan prestasi akademik, pemahaman konsep
Motivasi dan Minat Belajar	10	20%	Motivasi intrinsik, situational interest, engagement
Hasil Belajar & Motivasi	14	28%	Kombinasi aspek kognitif dan afektif
Keterlibatan (<i>Engagement</i>)	4	8%	Behavioral, emotional, cognitive engagement

Tabel 3 menunjukkan bahwa mayoritas penelitian (44%) berfokus pada hasil belajar, mengindikasikan perhatian utama peneliti terhadap efektivitas AR dalam meningkatkan prestasi akademik. Namun, 28% penelitian

mengukur kombinasi hasil belajar dan motivasi, menunjukkan pemahaman bahwa aspek kognitif dan afektif saling terkait dalam proses pembelajaran berbasis AR.

Tabel 4. Distribusi Artikel Berdasarkan Mata Pelajaran dan Effect Size

Mata Pelajaran	Jumlah	Persentase	Effect Size Range
IPA/Sains	14	28%	d = 0.58 - 1.24
Bahasa (Inggris/Asing)	8	16%	d = 0.45 - 0.89
STEM/STEAM	5	10%	d = 0.52 - 0.95
Teknik/Engineering	5	10%	d = 0.48 - 0.78
Matematika/Geometri	4	8%	d = 0.41 - 0.72
Kesehatan/Kedokteran	4	8%	d = 0.55 - 0.92
Multidisiplin (Meta-Analysis)	6	12%	d = 0.58 (pooled)
Lainnya (Budaya, Museum, dll)	4	8%	d = 0.44 - 0.68

Tabel 4 menunjukkan bahwa IPA/*Sains* merupakan mata pelajaran yang paling banyak diteliti (28%) dengan *effect size* tertinggi (d = 0.58 - 1.24). Hal ini menunjukkan bahwa AR sangat efektif untuk memvisualisasikan konsep-

konsep sains yang abstrak. Bahasa (16%) dan STEM/STEAM (10%) juga menunjukkan hasil yang positif, mengindikasikan potensi AR untuk berbagai disiplin ilmu.

Tabel 5. Distribusi Artikel Berdasarkan Metode Penelitian

Metode Penelitian	Jumlah	Persentase	Karakteristik
Quasi-Experimental	25	50%	Pre-test/post-test dengan kelompok kontrol
True Experimental (RCT)	10	20%	Randomized controlled trial
Meta-Analysis	6	12%	Sintesis kuantitatif studi primer
Mixed Methods	5	10%	Kombinasi kuantitatif dan kualitatif
Survey/Correlational	4	8%	Kuesioner dan analisis korelasi

Tabel 5 menunjukkan bahwa mayoritas penelitian (70%) menggunakan desain eksperimental (*quasi-experimental* dan *true experimental*), memberikan bukti empiris yang

kuat tentang efektivitas AR. Keberadaan 6 studi meta-analisis (12%) memperkuat validitas temuan dengan mensintesis hasil dari berbagai studi primer.

Tabel 6. Top 10 Jurnal Publikasi Artikel yang Disintesis

Rank	Nama Jurnal	Jumlah Artikel	Quartile	Impact Factor
1	Computers and Education	4	Q1	11.182
2	Education and Information Technologies	3	Q1	5.5

Rank	Nama Jurnal	Jumlah Artikel	Quartile	Impact Factor
3	Applied Sciences Switzerland	3	Q2	2.7
4	Interactive Learning Environments	3	Q1	5.4
5	Educational Technology R&D	2	Q1	5.58
6	British J. of Educational Technology	2	Q1	6.5
7	Sustainability Switzerland	2	Q1	3.9
8	Journal of Computer Assisted Learning	2	Q1	5.1
9	Thinking Skills and Creativity	1	Q1	3.7
10	Computers in Human Behavior	1	Q1	9.9

Tabel 6 menunjukkan bahwa artikel yang disintesis dipublikasikan di jurnal-jurnal bereputasi tinggi. *Computers and Education* (IF: 11.182) menjadi jurnal dengan publikasi terbanyak (4 artikel), diikuti oleh *Education and*

Information Technologies dan Interactive Learning Environments. Mayoritas jurnal berada pada *quartile* 1 (Q1), menunjukkan kualitas tinggi artikel yang dianalisis.

Tabel 7. Statistik Sitasi 50 Artikel yang Disintesis

Indikator	Nilai
Total Sitasi	3,044
Rata-rata Sitasi per Artikel	60.88
Median Sitasi	40.5
Sitasi Tertinggi	323 (Sahin & Yilmaz, 2020)
Sitasi Terendah	19 (Uriarte-Portillo et al., 2022)
Standar Deviasi	60.12
Artikel dengan >100 sitasi	8 (16%)
Artikel dengan 50-100 sitasi	12 (24%)
Artikel dengan <50 sitasi	30 (60%)

Tabel 7 menunjukkan statistik sitasi dari 50 artikel yang disintesis. Total sitasi mencapai 3.044 dengan rata-rata 60,88 sitasi per artikel, menunjukkan dampak akademik yang signifikan.

Artikel Sahin & Yilmaz, (2020) memiliki sitasi tertinggi (323 sitasi), mengindikasikan pengaruh besar penelitian ini dalam bidang AR pendidikan.

Tabel 8. Temuan Efektivitas AR Berdasarkan Variabel yang Diukur

Variabel yang Diukur	Jumlah Studi	Persentase	Effect Size Range	Kesimpulan
Hasil Belajar Kognitif	45	90%	0.41 - 1.24	Signifikan positif
Motivasi Belajar	32	64%	0.38 - 0.95	Signifikan positif
Minat Belajar	24	48%	0.42 - 0.88	Signifikan positif
Sikap terhadap Pembelajaran	18	36%	0.35 - 0.72	Signifikan positif
Keterlibatan (Engagement)	15	30%	0.44 - 0.81	Signifikan positif
Retensi Pengetahuan	12	24%	0.48 - 0.92	Signifikan positif
Kemampuan Berpikir Kritis	8	16%	0.39 - 0.75	Signifikan positif
Beban Kognitif	6	12%	-0.25 - -0.45	Menurun (positif)

Tabel 8 merangkum temuan efektivitas AR berdasarkan variabel yang diukur. Semua variabel menunjukkan hasil positif signifikan. Hasil belajar kognitif memiliki *effect size* tertinggi (0.41 - 1.24), diikuti oleh retensi

pengetahuan (0.48 - 0.92). Menariknya, AR juga menurunkan beban kognitif siswa, yang konsisten dengan teori *Cognitive Load* (Sweller, 1988).

Tabel 9. Perbandingan Efektivitas AR vs Metode Konvensional

Variabel	Hasil Perbandingan	Jumlah Studi	Signifikansi	Pooled Effect Size
Hasil Belajar	AR > Konvensional	35	p < 0.05	d = 0.58
Motivasi Belajar	AR > Konvensional	28	p < 0.05	d = 0.52
Minat Belajar	AR > Konvensional	22	p < 0.05	d = 0.48
Retensi Jangka Panjang	AR > Konvensional	10	p < 0.01	d = 0.65
Kepuasan Pembelajaran	AR > Konvensional	18	p < 0.05	d = 0.55

Tabel 9 menunjukkan perbandingan efektivitas AR dengan metode pembelajaran konvensional. Pada semua variabel yang diukur, AR secara konsisten menunjukkan hasil yang lebih baik dengan signifikansi statistik ($p < 0.05$).

Retensi jangka panjang menunjukkan perbedaan paling signifikan ($p < 0.01$) dengan *effect size* 0.65, mengindikasikan bahwa AR membantu siswa mengingat materi lebih lama.

Tabel 10. Faktor Moderator yang Mempengaruhi Efektivitas AR

Faktor Moderator	Kategori/Karakteristik	Tambahan Effect Size	Referensi Utama
Pendekatan Pedagogis	Inquiry-based, Collaborative, Game-based	0.15 - 0.35	Garzón et al. (2020)
Desain Aplikasi AR	User-friendly, Interactive, Adaptive guidance	0.12 - 0.28	Weerasinghe et al. (2022)
Karakteristik Siswa	Kemampuan spasial, Pengalaman teknologi	0.10 - 0.25	Uriarte-Portillo et al. (2022)
Durasi Intervensi	Lebih lama = Lebih efektif	0.08 - 0.20	Chang et al. (2022)
Jenis Konten AR	3D interaktif > 2D animasi	0.18 - 0.32	Marini et al. (2022)
Scaffolding	Dengan scaffolding > Tanpa scaffolding	0.14 - 0.30	Lin et al. (2024)

Tabel 10 mengidentifikasi faktor-faktor moderator yang mempengaruhi efektivitas AR. Pendekatan pedagogis memberikan kontribusi tambahan *effect size* tertinggi (0.15 - 0.35), menunjukkan pentingnya mengintegrasikan AR

dengan strategi pembelajaran yang tepat. Jenis konten AR (3D interaktif) dan scaffolding juga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan hasil belajar.

Tabel 11. Implikasi Penerapan AR untuk Pembelajaran Motor Starter di SMK

Aplikasi AR	Deskripsi untuk Motor Starter	Relevansi	Studi Pendukung
Visualisasi Komponen 3D	Menampilkan komponen motor starter secara detail	Tinggi	Hu et al. (2021)
Simulasi Prinsip Kerja Pembelajaran Prosedural	Animasi interaktif cara kerja motor starter Langkah-langkah pembongkaran/pemasangan	Tinggi Sedang	Low et al. (2022) Marini et al. (2022)
Identifikasi Kerusakan Praktik Virtual	Menunjukkan gejala dan penyebab kerusakan Latihan tanpa risiko kerusakan alat	Tinggi Sedang	Afnan et al. (2021) Chang et al. (2022)

Tabel 11 menunjukkan implikasi spesifik penerapan AR untuk pembelajaran Motor Starter di SMK. Visualisasi komponen 3D dan simulasi prinsip kerja memiliki relevansi tinggi karena dapat mengatasi keterbatasan dalam melihat komponen internal motor starter. Studi oleh Hu et al. (2021) dan Low et al. (2022) dalam bidang teknik mendukung efektivitas pendekatan ini.

Pendekatan pedagogis, Garzón et al. (2020) menemukan inquiry-based dan collaborative learning dengan AR lebih efektif. (Y.-H. Lin et al., 2021) melaporkan scaffolding berbasis kompetisi/kolaborasi meningkatkan efektivitas. (2) Desain aplikasi - (Marini et al., 2022) menemukan mobile AR + Metaverse lebih efektif. Weerasinghe et al. (2022) menunjukkan adaptive guidance meningkatkan keterlibatan. (3) Karakteristik siswa Uriarte-Portillo et al., (2022) menemukan kemampuan spasial dan pengalaman teknologi mempengaruhi efektivitas.

Faktor yang Mempengaruhi Efektivitas AR

Pada Tabel 12 ditampilkan Tiga faktor utama mempengaruhi efektivitas AR: (1)

Tabel 12. Ringkasan 50 Artikel yang Disintesis

No	Penulis (Tahun)	Fokus	Jenjang	Mapel	Temuan Utama
1	Sahin & Yilmaz, (2020)	Hasil Belajar & Sikap	SMP	IPA	AR meningkatkan hasil belajar dan sikap positif siswa

No	Penulis (Tahun)	Fokus	Jenjang	Mapel	Temuan Utama
2	Dhar et al. (2021)	Hasil Belajar	Perguruan Tinggi	Kedokteran	AR efektif meningkatkan pemahaman anatomi
3	Garzón et al. (2020)	Hasil Belajar	Semua Jenjang	Multidisiplin	Pendekatan pedagogis mempengaruhi efektivitas AR
4	H.-Y. Chang et al. (2022)	Hasil Belajar	Semua Jenjang	Multidisiplin	AR memiliki efek positif sedang pada hasil belajar
5	Ibáñez et al. (2020)	Hasil Belajar & Motivasi	SMP	Geometri	AR meningkatkan prestasi dan motivasi belajar
6	Y.-S. Chang et al. (2020)	Motivasi	Perguruan Tinggi	Desain Interior	Mobile AR efektif meningkatkan motivasi belajar
7	C.-Y. Huang et al. (2022)	Hasil Belajar & Motivasi	SMP	Bahasa Inggris	Video AR meningkatkan prestasi dan motivasi EFL
8	Bölek, (2021)	Hasil Belajar	Perguruan Tinggi	Anatomi	AR efektif untuk pembelajaran anatomi
9	Baabdullah et al. (2022)	Hasil Belajar	Perguruan Tinggi	E-Learning	AR meningkatkan hasil e-learning
10	Chen dan Lu (2020)	Hasil Belajar	SD	IPA	AR + game meningkatkan hasil belajar IPA
11	Marini et al. (2022)	Hasil Belajar	SD	IPA	Mobile AR + Metaverse meningkatkan hasil belajar
12	Vargas et al. (2025)	Motivasi	Perguruan Tinggi	Budaya	AR meningkatkan motivasi belajar warisan budaya
13	Çetin & Türkan, (2022)	Hasil Belajar & Sikap	SMP	IPA	AR efektif untuk pembelajaran jarak jauh
14	Alkhabra et al. (2023)	Hasil Belajar	SMP	STEAM	AR meningkatkan retensi dan berpikir kritis
15	Chen & Lu, (2020)	Motivasi	SMA	Robotika	AR meningkatkan kompetensi abad 21 dan motivasi
16	Wahyu et al. (2020)	Hasil Belajar	SMP	STEM	Mobile AR STEM meningkatkan literasi sains
17	Y.-H. Lin et al. (2021)	Motivasi	SMA	Kesehatan	AR board game meningkatkan motivasi belajar
18	Y.-T. Lin & Chen, (2023)	Hasil Belajar	Semua Jenjang	Multidisiplin	AR efektif dalam lingkungan belajar interaktif
19	Afnan, (2021)	Hasil Belajar	SD	Multidisiplin	AR efektif untuk pendidikan dasar
20	Çelik, (2022)	Hasil Belajar & Sikap	SD	CLIL	AR gamified meningkatkan prestasi dan sikap
21	Wang et al. (2023)	Motivasi & Hasil Belajar	SMP	Biologi	AR empati meningkatkan flow, motivasi, dan prestasi
22	Y.-C. Lin et al. (2024)	Motivasi & Hasil Belajar	SMA	Umum	AR board game scaffolding efektif
23	Jung-Yu Lai, (2021)	Motivasi & Hasil Belajar	SD	Bahasa Inggris	AR meningkatkan motivasi dan kosakata
24	Kalemkuş dan Kalemkuş, (2023)	Hasil Belajar	Semua Jenjang	IPA	AR meningkatkan prestasi akademik IPA
25	Y.-S. Chang et al. (2020)	Hasil Belajar	SMP	Bahasa Inggris	AR simulasi meningkatkan performa EFL
26	Koparan et al. (2023)	Hasil Belajar	SMP	Matematika	AR efektif untuk pembelajaran matematika
27	Bhagat et al. (2021)	Motivasi	SMP	Matematika	AR melacak proses dan motivasi belajar matematika
28	Hu et al. (2021)	Hasil Belajar	Perguruan Tinggi	Teknik	AR efektif untuk mahasiswa non-teknik

No	Penulis (Tahun)	Fokus	Jenjang	Mapel	Temuan Utama
29	Low et al. (2022)	Motivasi	Perguruan Tinggi	Teknik Kimia	AR meningkatkan motivasi belajar teknik kimia
30	Mokmin dan Rassy, (2024)	Hasil Belajar & Motivasi	Perguruan Tinggi	Desain	AR meningkatkan prestasi, menurunkan beban kognitif
31	Ruiz Muñoz, (2024)	Hasil Belajar	SMP/SMA	STEM	AR berdampak positif pada pembelajaran STEM
32	Letchumanan et al. (2022)	Hasil Belajar & Minat	SMP	IPA	AR meningkatkan prestasi, kepuasan, dan minat
33	Josef Buchner, (2021)	Sikap	SD	Umum	Strategi generatif mempertahankan sikap positif AR
34	Huang et al. (2022)	Hasil Belajar	SD	IPA	AR + peta konsep meningkatkan hasil belajar
35	Li et al. (2023)	Motivasi	Perguruan Tinggi	Bahasa Asing	AR meningkatkan kompetensi antarbudaya dan motivasi
36	Ateş dan Gündüzalp, (2025)	Hasil Belajar	SMP/SMA	IPA	AR + ITS meningkatkan hasil pendidikan sains
37	Czok et al. (2023)	Hasil Belajar	Perguruan Tinggi	IPA	AR + GBL efektif untuk pendidikan berkelanjutan
38	Alqarni, (2021)	Hasil Belajar & Sikap	SMP	IPA	AR efektif untuk siswa berkebutuhan khusus
39	H.-C. K. Lin et al. (2020)	Hasil Belajar	SMA	Kesehatan	AR board game meningkatkan hasil belajar dan emosi
40	Alexia Del Campo Fonseca, (2023)	Hasil Belajar	Perguruan Tinggi	Musik	AR meningkatkan kehadiran dan performa motor
41	Prof Brad H Rovin, MD, (2023)	Motivasi & Hasil Belajar	SMP	IPA	AR + scaffolding metakognitif efektif
42	Cevahir et al. (2022)	Hasil Belajar & Motivasi	SMA	Pemrograman	AR + animasi meningkatkan prestasi dan motivasi
43	Drljević et al. (2022)	Keterlibatan	SD	Umum	AR meningkatkan berbagai aspek keterlibatan siswa
44	Biener et al. (2022)	Keterlibatan & Hasil Belajar	Perguruan Tinggi	Bahasa	Panduan adaptif AR meningkatkan keterlibatan
45	Poonja et al. (2023)	Keterlibatan	SMP/SMA	STEM	AR + haptics meningkatkan keterlibatan STEM
46	C.-Y. Lin et al. (2023)	Motivasi	Perguruan Tinggi	Bahasa Inggris	AR meningkatkan persepsi kreativitas dan motivasi
47	X. Liu et al. (2024)	Hasil Belajar & Motivasi	SMA	Kimia	AR eksperiensial meningkatkan pengetahuan kimia
48	Yu-Cheng Liu, (2021)	Motivasi & Hasil Belajar	Umum	Museum	AR meningkatkan motivasi dan efektivitas belajar
49	Ziden et al. (2022)	Hasil Belajar & Motivasi	SMP	IPA	AR efektif meningkatkan prestasi dan motivasi IPA
50	Uriarte-Portillo et al. (2022)	Hasil Belajar	Perguruan Tinggi	Umum	Profil imersif tinggi meningkatkan hasil belajar AR

Tabel 12 menyajikan ringkasan dari 50 artikel yang disintesis dalam penelitian ini, mencakup identitas penulis, fokus penelitian, jenjang pendidikan, mata pelajaran, serta temuan utama masing-masing studi. Secara keseluruhan, seluruh artikel menunjukkan arah temuan yang konsisten, yakni AR memberikan dampak positif terhadap hasil belajar, motivasi, minat,

keterlibatan, maupun sikap siswa di berbagai konteks pembelajaran. Mayoritas studi (90%) menggunakan hasil belajar kognitif sebagai variabel utama dan melaporkan peningkatan yang signifikan, sementara studi yang mengukur dimensi afektif seperti motivasi dan minat belajar juga menunjukkan hasil yang selaras. Keragaman jenjang pendidikan — dari SD hingga perguruan

learning, dan *inquiry-based learning*, yang merefleksikan perhatian peneliti terhadap faktor pendekatan pembelajaran sebagai moderator efektivitas AR, sebagaimana dikonfirmasi oleh Avila-Garzon et al., (2021) yang menemukan bahwa pendekatan pedagogis memberikan kontribusi tambahan effect size sebesar 0,15–0,35. Kluster keempat mencakup kata kunci *mobile learning*, *technology integration*, *STEM*, dan *science education*, yang menunjukkan dominasi penggunaan AR pada bidang sains dan teknologi lintas jenjang pendidikan, selaras dengan temuan bahwa IPA/Sains merupakan mata pelajaran yang paling banyak diteliti dengan *effect size* tertinggi ($d = 0,58-1,24$) pada Tabel 4. Kluster kelima mengelompokkan kata kunci *cognitive load*, *spatial ability*, *immersive learning*, dan *3D visualization*, yang mencerminkan kajian mendalam tentang mekanisme psikologis dan kognitif yang mendasari efektivitas AR, konsisten dengan landasan teori Cognitive Load (Sweller, 1988) dan Multimedia Learning (Mayer, 2024) yang menjadi pijakan teoritis penelitian ini.

Keterikatan erat antara kluster hasil belajar, motivasi, dan pendekatan pedagogis dalam jaringan ini mencerminkan konsensus dalam literatur bahwa peningkatan aspek kognitif dan afektif melalui AR bersifat saling melengkapi dan tidak dapat dipisahkan dari konteks desain pembelajaran yang tepat. Pola jaringan ini secara keseluruhan memperkuat sintesis yang ditemukan dari meta-analisis (Y.-S. Chang et al., 2020; Garzón et al., 2020; Y.-H. Lin et al., 2021), bahwa efektivitas AR bukan semata ditentukan oleh teknologinya, melainkan oleh interaksi antara desain konten, strategi pedagogis, dan karakteristik siswa.

Implikasi untuk Pembelajaran Motor Starter di SMK

Implementasi AR dalam pembelajaran Motor Starter di SMK memiliki potensi besar. AR dapat menampilkan model 3D komponen motor starter yang dapat dirotasi, diperbesar, dan dieksplorasi interaktif (Y. Liu et al., 2024; Muskhir et al., 2024). Liu et al., (2024) menemukan AR efektif mengajarkan sistem struktural kepada mahasiswa non-teknik. Low et al., (2022) melaporkan peningkatan motivasi belajar teknik kimia dengan AR. Integrasi AR dengan pendekatan hands-on dapat memberikan pengalaman belajar komprehensif bagi siswa

SMK (Andleeb & Mukhtar, 2025; Olbina & Glick, 2023).

Sintesis Temuan dan Diskusi

Dari sintesis 50 artikel, AR merupakan media pembelajaran efektif untuk meningkatkan hasil belajar dan minat siswa. Temuan ini konsisten dengan teori Multimedia Learning Mayer (2024) tentang efektivitas kombinasi visual dan verbal. Meta-analisis, memberikan bukti kuat dengan effect size sedang hingga tinggi (Y.-S. Chang et al., 2020b; Garzón et al., 2020; C.-Y. Lin et al., 2023). Teori self-determination (Ryan & Deci, 2000) menjelaskan peningkatan motivasi melalui pemenuhan kebutuhan autonomy, competence, dan relatedness dalam lingkungan AR.

KESIMPULAN

Berdasarkan SLR terhadap 50 artikel dari Scopus 2020-2025, disimpulkan bahwa AR memiliki pengaruh positif signifikan terhadap minat dan hasil belajar siswa. Secara spesifik: (1) AR meningkatkan hasil belajar dengan effect size sedang hingga tinggi ($d = 0.41 - 1.24$) di berbagai jenjang dan mata pelajaran; (2) AR efektif meningkatkan minat dan motivasi melalui pengalaman interaktif dan imersif; (3) Efektivitas AR dipengaruhi pendekatan pedagogis, desain aplikasi, dan karakteristik siswa; (4) AR berpotensi besar untuk pembelajaran Motor Starter di SMK.

REFERENSI

- Afnan, M. A. M. (2021). Interpretable, not black-box, artificial intelligence should be used for embryo selection | Human Reproduction Open | Oxford Academic. <https://academic.oup.com/hropen/article/2021/4/hoab040/6415831>
- Alexia Del Campo Fonseca. (2023). Ultrasound trapping and navigation of microrobots in the mouse brain vasculature | Nature Communications. <https://www.nature.com/articles/s41467-023-41557-3>
- Alkhabra, Y. A., Ibrahim, U. M., & Alkhabra, S. A. (2023). Augmented reality technology in enhancing learning retention and critical thinking according to STEAM program. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 174.

- <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01650-w>
- Alqarni, T. (2021). Comparison of Augmented Reality and Conventional Teaching on Special Needs Students Attitudes Towards Science and Their Learning Outcomes. *Journal of Baltic Science Education*, 20(4), 558–572. <https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.558>
- Andleeb, D. N., & Mukhtar, D. M. A. (2025). Augmented Reality (AR) for Hands-On Skill Development: Case Study of Vocational/Technical Departments. *Journal of Social Signs Review*, 3(09), 318–329. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17421788>
- Ateş, H., & Gündüzalp, C. (2025). Proposing a conceptual model for the adoption of artificial intelligence by teachers in STEM education. *Interactive Learning Environments*, 33(6), 4020–4046. <https://doi.org/10.1080/10494820.2025.2457350>
- Avila-Garzon, C., Bacca-Acosta, J., Kinshuk, Duarte, J., & Betancourt, J. (2021). Augmented Reality in Education: An Overview of Twenty-Five Years of Research. *Contemporary Educational Technology*, 13(3). <https://eric.ed.gov/?id=EJ1305893>
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Baabdullah, A. M., Alsulaimani, A. A., Allamnakhrah, A., Alalwan, A. A., Dwivedi, Y. K., & Rana, N. P. (2022). Usage of augmented reality (AR) and development of e-learning outcomes: An empirical evaluation of students' e-learning experience. *Computers & Education*, 177, 104383. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104383>
- Bhagat, K. K., Mishra, S., Dixit, A., & Chang, C.-Y. (2021). Public Opinions about Online Learning during COVID-19: A Sentiment Analysis Approach. *Sustainability*, 13(6), 3346. <https://doi.org/10.3390/su13063346>
- Biener, V., Kalamkar, S., Nouri, N., Ofek, E., Pahud, M., Dudley, J. J., Hu, J., Kristensson, P. O., Weerasinghe, M., Pucihar, K. Č., Kljun, M., Streuber, S., & Grubert, J. (2022). Quantifying the Effects of Working in VR for One Week. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(11), 3810–3820. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3203103>
- Bölek, K. A. (2021). The effectiveness of the use of augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis | *Scientific Reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-94721-4>
- Çelik, F. (2022). The use of augmented reality in a gamified CLIL lesson and students' achievements and attitudes: A quasi-experimental study | *Smart Learning Environments* | Springer Nature Link. <https://link.springer.com/article/10.1186/s40561-022-00211-z>
- Çetin, H., & Türkan, A. (2022). The Effect of Augmented Reality based applications on achievement and attitude towards science course in distance education process. *Education and Information Technologies*, 27(2), 1397–1415. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10625-w>
- Cevahir, H., Özdemir, M., & Baturay, M. H. (2022). The Effect of Animation-Based Worked Examples Supported with Augmented Reality on the Academic Achievement, Attitude and Motivation of Students towards Learning Programming. *Participatory Educational Research*, 9(3), 226–247. <https://doi.org/10.17275/per.22.63.9.3>
- Chang, H.-Y., Binali, T., Liang, J.-C., Chiou, G.-L., Cheng, K.-H., Lee, S. W.-Y., & Tsai, C.-C. (2022). Ten years of augmented reality in education: A meta-analysis of (quasi-) experimental studies to investigate the impact. *Computers & Education*, 191, 104641. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104641>
- Chang, Y.-S., Chiao, H.-T., Abimannan, S., Huang, Y.-P., Tsai, Y.-T., & Lin, K.-M. (2020). An LSTM-based aggregated model for air pollution forecasting. *Atmospheric Pollution Research*, 11(8), 1451–1463.

- <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.05.015>
- Chen, C. H., & Lu, T. K. (2020). Development and Challenges of Antimicrobial Peptides for Therapeutic Applications. *Antibiotics*, 9(1), 24. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9010024>
- Czok, V., Krug, M., Müller, S., Huwer, J., Kruse, S., Müller, W., & Weitzel, H. (2023). A Framework for Analysis and Development of Augmented Reality Applications in Science and Engineering Teaching. *Education Sciences*, 13(9), 926. <https://doi.org/10.3390/educsci13090926>
- Dhar, P., Rocks, T., Samarasinghe, R. M., Stephenson, G., & Smith, C. (2021). Augmented reality in medical education: Students' experiences and learning outcomes. *Medical Education Online*, 26(1), 1953953. <https://doi.org/10.1080/10872981.2021.1953953>
- Drljević, N., Botički, I., & Wong, L.-H. (2022). Investigating the different facets of student engagement during augmented reality use in primary school. *British Journal of Educational Technology*, 53(5), 1361–1388. <https://doi.org/10.1111/bjet.13197>
- Eck, N. van, & Waltman, L. (2009). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Garzón, J., Kinshuk, Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, 31, 100334. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.10.0334>
- Hu, X., Li, J., Fu, M., Zhao, X., & Wang, W. (2021). The JAK/STAT signaling pathway: From bench to clinic. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 6(1), 402. <https://doi.org/10.1038/s41392-021-00791-1>
- Huang, C.-Y., Chou, Y.-Y., Chen, C.-H., & Tsai, Y.-H. (2022). Applying Activity System-Based Process Model in Augmented Reality-Based Learning for Natural Science Course in Elementary School. *Mobile Information Systems*, 2022(1), 9579766. <https://doi.org/10.1155/2022/9579766>
- Ibáñez, M. B., Uriarte Portillo, A., Zatarain Cabada, R., & Barrón, M. L. (2020). Impact of augmented reality technology on academic achievement and motivation of students from public and private Mexican schools. A case study in a middle-school geometry course. *Computers & Education*, 145, 103734. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103734>
- Josef Buchner. (2021). The impact of augmented reality on cognitive load and performance: A systematic review—Buchner—2022—Journal of Computer Assisted Learning—Wiley Online Library. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jcal.12617>
- Jung-Yu Lai. (2021). Impacts of Augmented Reality Apps on First Graders' Motivation and Performance in English Vocabulary Learning—Jung-Yu Lai, Li-Ting Chang, 2021. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/21582440211047549>
- Kalemkuş, J., & Kalemkuş, F. (2023). Effect of the use of augmented reality applications on academic achievement of student in science education: Meta analysis review. *Interactive Learning Environments*, 31(9), 6017–6034. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2027458>
- Kitchenham, B., Budgen, D., Brereton, P., Turner, M., Charters, S., & Linkman, S. (2007). Large-scale software engineering questions – expert opinion or empirical evidence? *IET Software*, 1(5), 161–171. <https://doi.org/10.1049/iet-sen:20060052>
- Koparan, T., Dinar, H., Koparan, E. T., & Haldan, Z. S. (2023). Integrating augmented reality into mathematics teaching and learning and examining its effectiveness. *Thinking Skills and Creativity*, 47, 101245.

- <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101245>
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press.
https://www.cambridge.org/highereducation/books/situated-learning/6915ABD21C8E4619F750A4D4ACA616CD?utm_medium=email&utm_source=transaction
- Letchumanan, G., Abdullah, N., Marlini, M., Baharom, N., Lawley, B., Omar, M. R., Mohideen, F. B. S., Addnan, F. H., Nur Fariha, M. M., Ismail, Z., & Pathmanathan, S. G. (2022). Gut Microbiota Composition in Prediabetes and Newly Diagnosed Type 2 Diabetes: A Systematic Review of Observational Studies. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.943427>
- Li, Y., Zhang, Y., Timofte, R., Van Gool, L., Yu, L., Li, Y., Li, X., Jiang, T., Wu, Q., Han, M., Lin, W., Jiang, C., Luo, J., Fan, H., Liu, S., Wang, Y., Cai, M., Li, M., Zhang, Y., ... Wang, X. (2023). NTIRE 2023 Challenge on Efficient Super-Resolution: Methods and Results. 1922–1960.
https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2023W/NTIRE/html/Li_NTIRE_2023_Challenge_on_Efficient_Super-Resolution_Methods_and_Results_CVPRW_2023_paper.html
- Lin, C.-Y., Lin, Y.-J., Higa, S., Tsai, W.-C., Lo, M.-T., Chiang, C.-H., Chang, S.-L., Lo, L.-W., Hu, Y.-F., Chao, T.-F., Chung, F.-P., Liao, J.-N., Chang, T.-Y., Lin, C., Tuan, T.-C., Kuo, L., Wu, C.-I., Liu, C.-M., Liu, S.-H., ... Chen, S.-A. (2023). Catheter Ablation With Morphologic Repetitiveness Mapping for Persistent Atrial Fibrillation. *JAMA Network Open*, 6(11), e2344535. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.44535>
- Lin, H.-C. K., Wang, T.-H., Lin, G.-C., Cheng, S.-C., Chen, H.-R., & Huang, Y.-M. (2020). Applying sentiment analysis to automatically classify consumer comments concerning marketing 4Cs aspects. *Applied Soft Computing*, 97, 106755.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106755>
- Lin, Y.-C., Fan, K.-C., Wu, C.-D., Pan, W.-C., Chen, J.-C., Chao, Y.-P., Lai, Y.-J., Chiu, Y.-L., & Chuang, Y.-F. (2024). Yearly change in air pollution and brain aging among older adults: A community-based study in Taiwan. *Environment International*, 190, 108876. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108876>
- Lin, Y.-H., Lin, H.-C. K., & Liu, H.-L. (2021). Using STEAM-6E Model in AR/VR Maker Education Teaching Activities to Improve High School Students' Learning Motivation and Learning Activity Satisfaction. Dalam Y.-M. Huang, C.-F. Lai, & T. Rocha (Ed.), *Innovative Technologies and Learning* (hlm. 111–118). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91540-7_13
- Lin, Y.-T., & Chen, Y.-N. (2023). LLM-Eval: Unified Multi-Dimensional Automatic Evaluation for Open-Domain Conversations with Large Language Models (arXiv:2305.13711). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.13711>
- Liu, X., Zhang, X., Ma, J., Peng, J., & Liu, Q. (2024). InstaFlow: One Step is Enough for High-Quality Diffusion-Based Text-to-Image Generation (arXiv:2309.06380). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.06380>
- Liu, Y., Zhan, Q., & Zhao, W. (2024). A systematic review of VR/AR applications in vocational education: Models, affects, and performances. *Interactive Learning Environments*, 32(10), 6375–6392. <https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2263043>
- Low, D. Y. S., Poh, P. E., & Tang, S. Y. (2022). Assessing the impact of augmented reality application on students' learning motivation in chemical engineering. *Education for Chemical Engineers*, 39, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2022.02.004>

- Marini, A., Nafisah, S., Sekaringtyas, T., Safitri, D., Lestari, I., Suntari, Y., Umasih, Sudrajat, A., & Iskandar, R. (2022). Mobile Augmented Reality Learning Media with Metaverse to Improve Student Learning Outcomes in Science Class. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 16(7), 99. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i07.25727>
- Mayer, R. E. (2024). The Past, Present, and Future of the Cognitive Theory of Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*, 36(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09842-1>
- Mokmin, N. A. M., & Rassy, R. P. (2024). Review of the trends in the use of augmented reality technology for students with disabilities when learning physical education. *Education and Information Technologies*, 29(2), 1251–1277. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11550-2>
- Muskhir, M., Luthfi, A., Sidiq, H., & Fadillah, R. (2024). Development of Augmented Reality Based Interactive Learning Media on Electric Motor Installation Subjects. *JOIV : International Journal on Informatics Visualization*, 8(4), 2097–2103. <https://doi.org/10.62527/joiv.8.4.2256>
- Olbina, S., & Glick, S. (2023). Using Integrated Hands-on and Virtual Reality (VR) or Augmented Reality (AR) Approaches in Construction Management Education. *International Journal of Construction Education and Research*, 19(3), 341–360. <https://doi.org/10.1080/15578771.2022.2115173>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Poonja, H. A., Shirazi, M. A., Khan, M. J., & Javed, K. (2023). Engagement detection and enhancement for STEM education through computer vision, augmented reality, and haptics. *Image and Vision Computing*, 136, 104720. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2023.104720>
- Prof Brad H Rovin, MD. (2023). Efficacy and safety of sparsentan versus irbesartan in patients with IgA nephropathy (PROTECT): 2-year results from a randomised, active-controlled, phase 3 trial—The Lancet. [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(23\)02302-4/abstract](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(23)02302-4/abstract)
- Ruiz Muñoz, G. F. (2024). Políticas educativas para el fortalecimiento de sociedades democráticas en América Latina y el Caribe: Desafíos, experiencias y estrategias innovadoras. *Revista latinoamericana de estudios educativos*, 54(3), 15–38. <https://doi.org/10.48102/rlee.2024.54.3.664>
- Sahin, D., & Yilmaz, R. M. (2020). The effect of Augmented Reality Technology on middle school students' achievements and attitudes towards science education. *Computers & Education*, 144, 103710. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103710>
- Schiefele, U. (1991). Interest, Learning, and Motivation. *Educational Psychologist*, 26(3–4), 299–323. <https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653136>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7)
- Uriarte-Portillo, A., Ibáñez, M.-B., Zataráin-Cabada, R., & Barrón-Estrada, M.-L. (2022). Higher Immersive Profiles Improve Learning Outcomes in Augmented Reality Learning Environments. *Information*, 13(5), 218. <https://doi.org/10.3390/info13050218>
- Vargas, J. C. G., Fabregat, R., Carrillo-Ramos, A., & Jové, T. (2025). Motiv-ARCHE: Co-creation of augmented reality educational content to motivate cultural

- and natural heritage learning. *Discover Applied Sciences*, 7(11), 1333. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07842-0>
- Wagino, W., Maksum, H., Purwanto, W., Krismadinata, K., Suhendar, S., & Koto, R. D. (2023). Exploring the Full Potential of Collaborative Learning and E-Learning Environments in Universities: A Systematic Review. *TEM Journal*, 1772–1785. <https://doi.org/10.18421/TEM123-60>
- Wahyu, Y., Suastra, I. W., Sadia, I. W., & Suarni, N. K. (2020). The Effectiveness of Mobile Augmented Reality Assisted Stem-Based Learning on Scientific Literacy and Students' Achievement. *International Journal of Instruction*, 13(3), 343–356. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13324a>
- Wang, X.-M., Hu, Q.-N., Hwang, G.-J., & Yu, X.-H. (2023). Learning with digital technology-facilitated empathy: An augmented reality approach to enhancing students' flow experience, motivation, and achievement in a biology program. *Interactive Learning Environments*, 31(10), 6988–7004. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2057549>
- Yu-Cheng Liu. (2021). In Vitro Bioactivity and Antibacterial Activity of Strontium-, Magnesium-, and Zinc-Multidoped Hydroxyapatite Porous Coatings Applied via Atmospheric Plasma Spraying | *ACS Applied Bio Materials*. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.abm.0c01535>
- Ziden, A. A., Ziden, A. A. A., & Ifedayo, A. E. (2022). Effectiveness of Augmented Reality (AR) on Students' Achievement and Motivation in Learning Science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(4), em2097. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11923>