Inovasi Pendidikan Fisika
p-ISSN: 2302-4496
e-ISSN: 2830-3881

Vol 15, No 02, 15-31
https://doi.org/10.26740/ipf
jipf@unesa.ac.id

Teknologi Digital dalam Pendidikan Fisika: A *Systematic Literature Review* tentang Fungsi Pedagogis, Aktivitas Pembelajaran, dan Capaian Pembelajaran Peserta Didik (2016–2025)

Nur Raudyah Musyarrafah[1]*, Heru Kuswanto[1], Heny Asvarinda[2], Herman Sinurat[3]
[1] Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia
[2] SMAN 1 Poso Pesisir Utara, Poso, Indonesia
[3] SMP Great Prime School, Binjai, Indonesia
*Email: nurraudyah.2026@student.uny.ac.id

Abstrak

Pembelajaran fisika menuntut pemahaman konsep abstrak melalui pengamatan, representasi, dan pengalaman belajar yang bermakna. Teknologi digital menawarkan sarana visualisasi, simulasi, dan aktivitas interaktif untuk mendukung proses pembelajaran tersebut. Namun, penerapannya dalam pendidikan fisika menunjukkan keragaman jenis teknologi, fungsi pedagogis, aktivitas, serta capaian pembelajaran yang perlu dipetakan secara sistematis. Penelitian ini bertujuan memetakan pemanfaatan teknologi digital dalam pendidikan fisika melalui Systematic Literature Review terhadap publikasi periode 2016–2025. Pencarian dilakukan melalui basis data Scopus menggunakan dua kueri dan kriteria seleksi berdasarkan pedoman PRISMA. Dari 321 rekaman awal, sebanyak 80 artikel memenuhi kriteria dan ditetapkan sebagai korpus akhir penelitian. Data diekstraksi dan dikodekan berdasarkan jenis teknologi digital, fungsi pedagogis, aktivitas pembelajaran, serta capaian pembelajaran peserta didik. Frekuensi dan persentase digunakan untuk pemetaan deskriptif, sedangkan sintesis interpretatif digunakan untuk mengidentifikasi kesenjangan penelitian. Hasil menunjukkan bahwa simulasi dan laboratorium virtual merupakan teknologi paling banyak diteliti, ditemukan dalam 20 artikel atau 25% korpus. Visualisasi dan pemodelan konsep menjadi fungsi pedagogis paling dominan, dilaporkan dalam 37 artikel atau 46,25%. Kuis, tes, dan asesmen berulang merupakan aktivitas paling sering dilaporkan, mencakup 18 artikel atau 22,5%. Eksperimen, praktikum, dan analisis data menyusul dengan 16 artikel atau 20% dari keseluruhan korpus. Motivasi, minat, keterlibatan, dan sikap menjadi kelompok capaian pembelajaran paling banyak dikaji, ditemukan dalam 24 artikel atau 30%. Sintesis mengidentifikasi empat kesenjangan, yaitu kejelasan konseptual, kedalaman integrasi pedagogis, keluasan capaian pembelajaran, dan konsistensi bukti penelitian. Kesenjangan tersebut menegaskan perlunya kejelasan konsep, integrasi pedagogis, pengukuran capaian beragam, serta pelaporan hasil transparan. Temuan ini dapat membantu pendidik memilih teknologi berdasarkan tujuan pembelajaran dan membantu peneliti merancang kajian lebih terarah. Kajian ini terbatas pada Scopus dan publikasi 2016–2025, sehingga cakupan temuannya perlu ditafsirkan secara proporsional. Penelitian mendatang perlu memperluas sumber literatur dan menguji hubungan antardimensi melalui bukti empiris beragam.

Kata kunci: teknologi digital, pendidikan fisika, *systematic literature review*, fungsi pedagogis, aktivitas pembelajaran, capaian pembelajaran.

Digital Technology in Physics Education: A Systematic Literature Review of Pedagogical Functions, Learning Activities, and Student Learning Outcomes (2016–2025)

Abstract

Physics learning requires students to understand abstract concepts through observation, representation, and meaningful learning experiences. Digital technology offers visualization, simulation, and interactive activities to support these learning processes. However, its implementation in physics education demonstrates variations

Copyright © The Author(s). This work is licensed under CC BY-NC 4.0

in technology types, pedagogical functions, learning activities, and learning outcomes that require systematic mapping. This study aims to map the utilization of digital technology in physics education through a Systematic Literature Review of publications from 2016 to 2025. The literature search was conducted using the Scopus database with two search queries and selection criteria based on PRISMA guidelines. Of the 321 initial records, 80 articles met the eligibility criteria and were included in the final corpus. Data were extracted and coded based on digital technology types, pedagogical functions, learning activities, and students' learning outcomes. Frequencies and percentages were used for descriptive mapping, while interpretive synthesis was employed to identify research gaps. The findings indicate that simulations and virtual laboratories were the most frequently studied technologies, appearing in 20 articles or 25% of the corpus. Visualization and conceptual modeling were the dominant pedagogical functions, reported in 37 articles or 46.25%. Quizzes, tests, and repeated assessments were the most frequently reported learning activities, accounting for 18 articles or 22.5%. Experiments, practical activities, and data analysis followed, appearing in 16 articles or 20% of the corpus. Motivation, interest, engagement, and attitudes represented the most frequently examined learning outcomes, identified in 24 articles or 30%. The synthesis identified four research gaps: conceptual clarity, depth of pedagogical integration, breadth of learning outcomes, and consistency of research evidence. These gaps highlight the need for clearer concepts, stronger pedagogical integration, broader outcome measurement, and more transparent reporting of research findings. These findings can help educators select technologies based on learning objectives and assist researchers in designing more focused studies. This review is limited to Scopus-indexed publications from 2016 to 2025, so its findings should be interpreted proportionally. Future research should expand literature sources and examine relationships across dimensions through more diverse empirical evidence.

Keywords: *digital technology, physics education, systematic literature review, pedagogical functions, learning activities, learning outcomes*

Histori Naskah

Diserahkan: 21 Oktober 2026 Direvisi: 05 November 2026 Diterima: 06 November 2026

How to cite:

Musyarrafah, N.R., Kuswanto, H., Asvarinda, H., and Sinurat, H. (2026). Teknologi Digital dalam Pendidikan Fisika: A Systematic Literature Review tentang Fungsi Pedagogis, Aktivitas Pembelajaran, dan Capaian Pembelajaran Peserta Didik (2016–2025). *Inovasi Pendidikan Fisika*, **1**(1), 1-10. DOI: https://doi.org/10.26740/ipf.vxx.nxx.xx-xx.

PENDAHULUAN

Teknologi digital semakin berperan dalam mengembangkan pembelajaran fisika yang interaktif dan mendukung eksplorasi konsep. Karakteristik fisika yang melibatkan fenomena abstrak membutuhkan representasi yang membantu peserta didik membangun pemahaman konseptual. Simulasi komputer dapat menyajikan fenomena alam melalui representasi visual dan dinamis yang memungkinkan peserta didik mengeksplorasi perubahan variabel (de Jong & van Joolingen, 1998; Perkins et al., 2006; Wieman et al., 2008). Sarabando et al. (2016) mengembangkan simulasi untuk membantu peserta didik memahami konsep massa dan berat melalui representasi nilai serta vektor berat. Penelitian Subali et al. (2017) juga menunjukkan pemanfaatan eksperimen jatuh bebas berbasis komputer untuk mengembangkan literasi grafik mahasiswa pendidikan fisika. Berbagai contoh tersebut memperlihatkan bahwa teknologi digital dapat mendukung representasi konsep, eksplorasi fenomena, dan pengembangan keterampilan ilmiah. Meskipun demikian, keberagaman teknologi yang digunakan menuntut pemetaan sistematis agar karakteristik pemanfaatannya dapat dipahami secara lebih terarah. Oleh karena itu, identifikasi jenis teknologi digital menjadi langkah awal untuk memahami perkembangan pemanfaatan teknologi dalam pendidikan fisika.

Jenis teknologi digital yang digunakan dalam pendidikan fisika berkaitan erat dengan tujuan dan fungsi pedagogis pembelajaran. Simulasi komputer, misalnya, memungkinkan peserta didik mengeksplorasi

representasi fenomena, menguji prediksi, dan menghubungkan hasil pengamatan dengan konsep yang dipelajari (Sarabando et al., 2016). Eksperimen berbasis komputer juga dapat mengintegrasikan kegiatan praktikum, pengolahan data, dan interpretasi grafik dalam pembelajaran fisika (Subali et al., 2017). Pada ranah asesmen, kuis daring dapat dimanfaatkan untuk memantau kinerja peserta didik dan mendukung asesmen formatif melalui lingkungan pembelajaran virtual. Shi et al. (2016) mengkaji penggunaan perangkat seluler untuk membantu mahasiswa memperoleh informasi pendukung sebelum mengikuti praktikum fisika. Perkembangan kecerdasan buatan turut memperluas pemanfaatan teknologi melalui pemberian umpan balik formatif pada laporan praktikum (Mills et al., 2025). Contoh tersebut menunjukkan bahwa satu teknologi dapat mendukung fungsi pedagogis yang berbeda sesuai dengan rancangan pembelajarannya. Dengan demikian, pemetaan fungsi pedagogis diperlukan untuk menjelaskan peran teknologi digital secara lebih bermakna daripada sekadar mengelompokkan perangkat.

Integrasi teknologi digital dalam pembelajaran fisika juga perlu ditinjau berdasarkan aktivitas belajar yang dilaksanakan peserta didik. Simulasi komputer dapat digunakan untuk mengeksplorasi fenomena, menguji prediksi, dan mengembangkan pemahaman konseptual melalui kegiatan yang terarah (Sarabando et al., 2016). Eksperimen jatuh bebas berbasis komputer menggabungkan praktikum dengan pengolahan serta interpretasi grafik dalam pembelajaran fisika (Subali et al., 2017). Penggunaan perangkat seluler sebelum kegiatan laboratorium menunjukkan bahwa teknologi dapat mendukung persiapan peserta didik melalui akses terhadap informasi praktikum (Shi et al., 2016). Sementara itu, penggunaan kecerdasan buatan untuk memberikan umpan balik laporan praktikum memperlihatkan integrasi teknologi dalam kegiatan evaluasi dan perbaikan karya ilmiah (Mills et al., 2025). Berbagai aktivitas tersebut mencakup eksplorasi, eksperimen, persiapan belajar, asesmen, dan revisi hasil kerja. Namun, penggunaan teknologi tertentu tidak secara otomatis menunjukkan penerapan pendekatan pedagogis tertentu karena aktivitas aktual perlu diperiksa berdasarkan laporan penelitian. Oleh sebab itu, analisis aktivitas pembelajaran menjadi penting untuk menjelaskan bagaimana teknologi digital diterapkan dalam proses pembelajaran fisika.

Capaian pembelajaran peserta didik merupakan aspek penting untuk memahami fokus dan arah penelitian teknologi digital dalam pendidikan fisika. Sarabando et al. (2016) mengkaji pemahaman konseptual peserta didik mengenai massa dan berat melalui pengukuran sebelum dan sesudah pembelajaran. Subali et al. (2017) menekankan literasi grafik yang mencakup keterampilan mengidentifikasi variabel, menyusun grafik, dan membuat prediksi berdasarkan data. Berbeda dari kedua penelitian tersebut, Shi et al. (2016) mengkaji persepsi mahasiswa mengenai kegunaan perangkat seluler dalam mendukung persiapan praktikum. Mills et al. (2025) mengevaluasi pengalaman mahasiswa dalam menggunakan umpan balik kecerdasan buatan untuk memperbaiki laporan praktikum. Perbedaan fokus ini memperlihatkan bahwa hasil penelitian dapat mencakup capaian kognitif, keterampilan ilmiah, persepsi, dan pengalaman belajar. Setiap jenis hasil memerlukan interpretasi yang sesuai dengan instrumen dan prosedur pengukuran yang digunakan. Dengan demikian, pemetaan capaian pembelajaran perlu membedakan karakteristik setiap outcome agar sintesis tidak menyamakan indikator yang sebenarnya berbeda.

Meskipun penggunaan teknologi digital dalam pendidikan fisika mencakup beragam perangkat, aktivitas, dan capaian pembelajaran, pemetaan kesenjangan penelitian tetap diperlukan. Perbedaan fokus penelitian memperlihatkan variasi tujuan, fungsi pedagogis, serta indikator capaian pembelajaran yang digunakan. Selain itu, perbedaan instrumen dan pelaporan hasil dapat membatasi perbandingan langsung antarpublikasi. Oleh karena itu, kesenjangan penelitian perlu dirumuskan berdasarkan pola temuan dan keterbatasan bukti dalam korpus yang dianalisis. Pendekatan ini memungkinkan rekomendasi penelitian selanjutnya disusun berdasarkan hasil sintesis, bukan sekadar asumsi mengenai aspek yang dianggap belum banyak diteliti.

Sejumlah SLR terdahulu menelaah aspek khusus teknologi digital dalam pendidikan fisika. Banda dan Nzabahimana (2021), misalnya, meninjau simulasi PhET dan pemahaman konseptual. Sementara itu, Timóteo et al. (2022) berfokus pada praktik pedagogis berbantuan laboratorium virtual. Kedua kajian tersebut memberikan pemahaman mendalam sesuai fokus masing-masing. Namun, karena cakupannya relatif spesifik, keduanya tidak secara bersamaan memetakan jenis teknologi, fungsi pedagogis, aktivitas pembelajaran, dan capaian pembelajaran dalam satu kerangka. SLR ini mengisi ruang tersebut dengan menganalisis 80 artikel Scopus terbitan 2016–2025. Melalui lima pertanyaan penelitian, kajian ini memetakan keempat dimensi tersebut sekaligus menyintesis kesenjangan penelitian. Keunggulan kajian ini terletak pada pemetaan lintas teknologi dan hubungan antardimensi dalam satu sintesis yang terstruktur.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan memetakan pemanfaatan teknologi digital dalam pendidikan fisika melalui *Systematic Literature Review* terhadap publikasi periode 2016–2025. Kajian ini mengidentifikasi jenis teknologi digital yang paling banyak diteliti, fungsi pedagogis yang paling umum

diterapkan, aktivitas pembelajaran yang paling sering diintegrasikan, serta capaian pembelajaran peserta didik yang paling banyak dikaji. Selanjutnya, sintesis temuan digunakan untuk mengidentifikasi kesenjangan penelitian yang dapat mengarahkan kajian berikutnya. Analisis dilakukan terhadap 80 artikel terpilih untuk memberikan gambaran terstruktur mengenai pola pemanfaatan teknologi digital dalam pendidikan fisika.

Tujuan Penelitian dan Pertanyaan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* untuk menganalisis pemanfaatan teknologi digital dalam pendidikan fisika selama periode 2016–2025. Analisis difokuskan pada jenis teknologi, fungsi pedagogis, aktivitas pembelajaran, capaian pembelajaran, dan kesenjangan penelitian.

Berdasarkan tujuan tersebut, penelitian ini merumuskan lima pertanyaan penelitian (*Research Questions* atau RQ) sebagai berikut.

- RQ1: Jenis teknologi digital apa yang paling banyak diteliti dalam pendidikan fisika selama periode 2016–2025?
- RQ2: Fungsi pedagogis apa yang paling umum diterapkan melalui teknologi digital dalam pendidikan fisika?
- RQ3: Aktivitas pembelajaran apa yang paling sering diintegrasikan dengan teknologi digital dalam pendidikan fisika?
- RQ4: Capaian pembelajaran peserta didik apa yang paling sering dikaji dalam penelitian teknologi digital pada pendidikan fisika?
- RQ5: Kesenjangan penelitian apa yang dapat diidentifikasi untuk mengarahkan penelitian selanjutnya tentang teknologi digital dalam pendidikan fisika?

Melalui tinjauan sistematis ini, penelitian diharapkan memperkuat pemahaman tentang pola pemanfaatan teknologi digital dalam pembelajaran fisika berdasarkan bukti empiris. Temuan tersebut diharapkan menjadi landasan bagi pengembangan pembelajaran fisika yang lebih terarah, relevan, dan didukung teknologi digital.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk memetakan pemanfaatan teknologi digital dalam pendidikan fisika. Proses kajian mencakup perumusan pertanyaan penelitian, pencarian literatur, seleksi artikel, ekstraksi data, serta sintesis temuan (Xiao & Watson, 2019). Pelaksanaan tinjauan mengacu pada pedoman PRISMA untuk mendukung transparansi pelaporan dan keterlacakan proses seleksi literatur (Page et al., 2021).

Pencarian literatur dilakukan melalui basis data Scopus terhadap publikasi yang terbit selama periode 2016–2025. Strategi pencarian menggunakan dua kueri untuk mengidentifikasi penelitian tentang teknologi digital dalam pendidikan fisika. Kata kunci dan kombinasi kueri yang digunakan dalam pencarian literatur disajikan sebagai berikut.

1. 139 artikel didapatkan melalui query (TITLE-ABS-KEY (("physics education" OR "physics learning" OR "physics teaching" OR "physics instruction" OR "physics pedagogy") AND ("digital technolog*" OR "educational technolog*" OR "digital tool*" OR "technology-enhanced learning" OR "technology integrated learning" OR "computer-based learning" OR "computer assisted learning" OR "digital learning" OR "online learning" OR "virtual learning")) AND PUBYEAR > 2015 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j")))
2. 182 artikel didapatkan melalui query (TITLE-ABS-KEY (("physics education" OR "physics learning" OR "physics teaching") AND (simulation OR "virtual laboratory" OR "virtual lab" OR "augmented reality" OR "virtual reality" OR "mixed reality" OR "mobile learning" OR smartphone OR tablet OR "mobile technology" OR "artificial intelligence" OR "generative AI" OR chatbot OR "machine learning" OR "learning management system" OR LMS OR "interactive multimedia" OR "digital module" OR "e-module" OR "computer assisted instruction" OR "computer-based instruction" OR "gamification" OR "serious game" OR "remote laboratory" OR "online laboratory" OR Arduino OR "data logging" OR "video-based learning" OR "interactive video")) AND PUBYEAR > 2015 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Physics Education")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j"))

Kueri pertama menghasilkan 139 rekaman, sedangkan kueri kedua menghasilkan 182 rekaman, sehingga total pencarian awal mencapai 321 rekaman. Seluruh rekaman dihimpun untuk mengidentifikasi duplikasi dan

menyeleksi artikel berdasarkan kesesuaian dengan fokus kajian. Pencarian dibatasi pada publikasi tahun 2016–2025 agar sesuai dengan cakupan temporal penelitian.

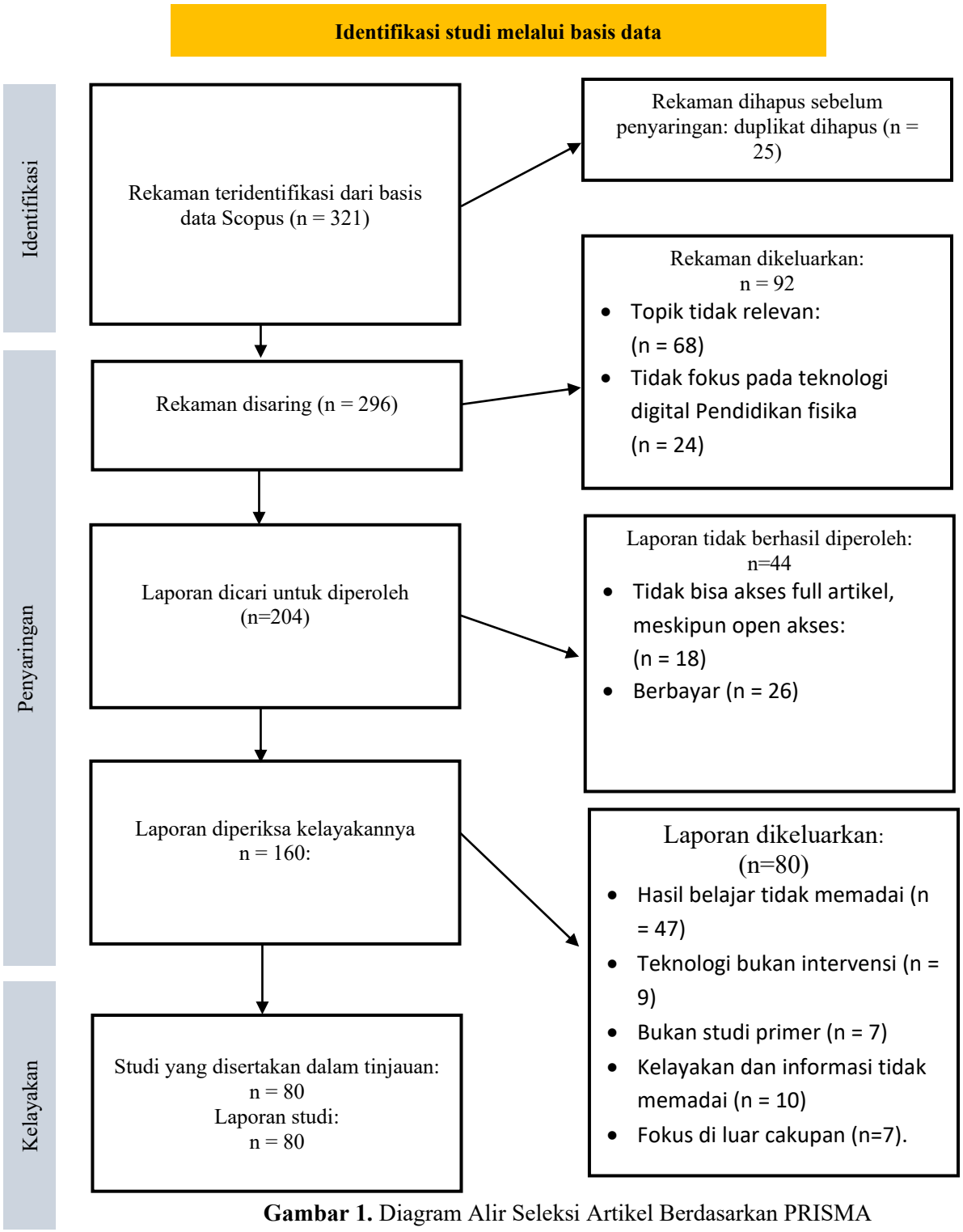
Seleksi artikel dilakukan melalui pemeriksaan judul, abstrak, dan teks lengkap berdasarkan kriteria inklusi serta eksklusi. Artikel yang dipertahankan merupakan publikasi jurnal ilmiah terindeks Scopus yang membahas penerapan teknologi digital dalam pembelajaran fisika. Artikel harus menjelaskan penggunaan teknologi dalam kegiatan pembelajaran serta melaporkan capaian pembelajaran peserta didik secara eksplisit. Publikasi berupa opini, komentar, tinjauan pustaka, atau penelitian yang tidak relevan dengan fokus kajian dikeluarkan. Artikel yang hanya menyebutkan teknologi tanpa menjelaskan penerapannya dalam pembelajaran fisika juga tidak disertakan. Proses seleksi menghasilkan 80 artikel yang memenuhi kriteria dan menjadi korpus akhir analisis.

Seluruh artikel terpilih dibaca dan dikodekan menggunakan lembar kerja spreadsheet untuk mengidentifikasi karakteristik penelitian secara sistematis. Data yang diekstraksi meliputi jenis teknologi digital, fungsi pedagogis, aktivitas pembelajaran, dan capaian pembelajaran peserta didik. Selain itu, informasi mengenai temuan utama dan rekomendasi penelitian lanjutan dicatat untuk mendukung telaah substantif terhadap isi artikel. Pengodean dilakukan dengan memeriksa konteks penggunaan teknologi, metode penelitian, indikator hasil, serta kesimpulan yang dilaporkan setiap artikel. Seluruh data kemudian disintesis secara deskriptif untuk menjawab empat pertanyaan pemetaan dan mendukung identifikasi kesenjangan penelitian.

Untuk memperdalam pembahasan substansi, dilakukan analisis tambahan terhadap artikel dengan jumlah sitasi tertinggi dalam korpus akhir. Jumlah sitasi diperoleh dari data ekspor Scopus tanggal 2 Oktober 2026 dan digunakan sebagai dasar pemeringkatan artikel. Sepuluh peringkat teratas menghasilkan sebelas artikel karena terdapat dua artikel dengan jumlah sitasi sama pada batas peringkat kesepuluh. Artikel-artikel tersebut ditelaah berdasarkan identitas bibliografis, temuan utama, dan rekomendasi penelitian lanjutan yang disampaikan penulis. Hasil telaah disajikan dalam tabel dan disintesis secara naratif untuk memperlihatkan kontribusi serta arah pengembangan penelitian.

Analisis data dilakukan melalui sintesis deskriptif kuantitatif dan sintesis interpretatif. Frekuensi serta persentase digunakan untuk memetakan jenis teknologi digital, fungsi pedagogis, aktivitas pembelajaran, dan capaian pembelajaran peserta didik dalam korpus akhir. Selain pemetaan frekuensi, sebelas artikel bersitasi tertinggi dianalisis secara substantif melalui perbandingan temuan dan rekomendasi penelitian. Selanjutnya, pola temuan dan keterbatasan bukti pada keempat dimensi tersebut ditafsirkan untuk mengidentifikasi kesenjangan penelitian. Interpretasi ini digunakan untuk merumuskan arah penelitian selanjutnya tanpa menghitung kesenjangan sebagai kategori frekuensi tersendiri.

Identifikasi kesenjangan dilakukan dengan mempertimbangkan distribusi temuan, variasi fokus penelitian, dan keterbatasan pelaporan dalam artikel terpilih. Interpretasi hasil membedakan temuan deskriptif dari rekomendasi yang memerlukan pengujian lebih lanjut. Seluruh tahapan analisis diarahkan untuk menghasilkan gambaran sistematis mengenai perkembangan pemanfaatan teknologi digital dalam pendidikan fisika.



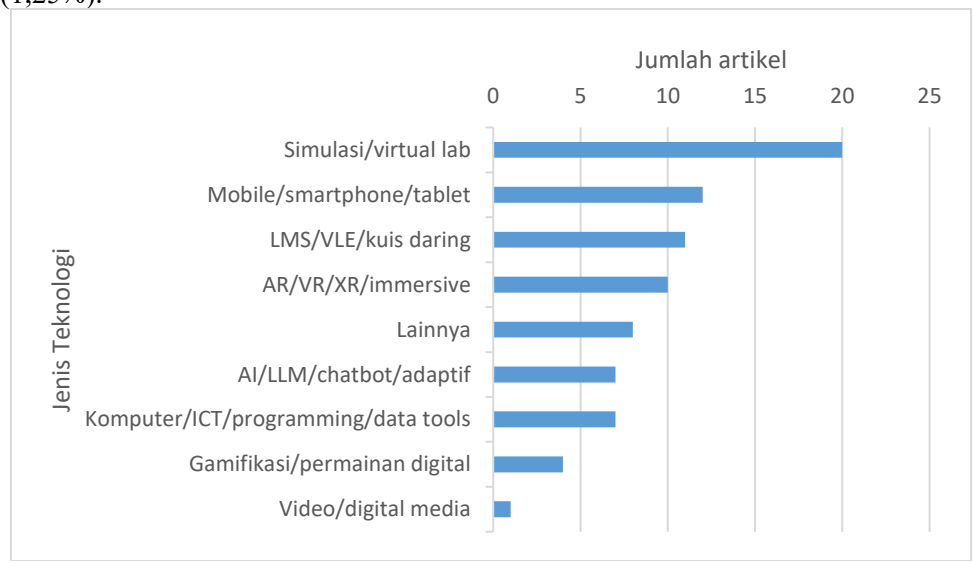
Gambar 1. Diagram Alir Seleksi Artikel Berdasarkan PRISMA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dilakukan terhadap 80 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan menjadi korpus akhir tinjauan sistematis. Hasil disajikan berdasarkan lima pertanyaan penelitian, mencakup jenis teknologi digital, fungsi pedagogis, aktivitas pembelajaran, capaian pembelajaran, dan kesenjangan penelitian.

Jenis Teknologi Digital yang Paling Banyak Diteliti

Pemetaan terhadap 80 artikel menunjukkan bahwa simulasi dan laboratorium virtual merupakan kategori teknologi digital yang paling banyak diteliti. Kategori ini mencakup 20 artikel atau 25% dari keseluruhan korpus, menunjukkan perhatian besar terhadap representasi fenomena fisika secara digital. Teknologi seluler, termasuk smartphone dan tablet, menempati urutan berikutnya dengan 12 artikel atau 15%. Selanjutnya, sistem manajemen pembelajaran, lingkungan belajar virtual, dan kuis daring ditemukan dalam 11 artikel atau 13,75%. Teknologi realitas tertambah, realitas virtual, dan lingkungan imersif tercatat dalam 10 artikel atau 12,5%. Kecerdasan buatan serta perangkat komputer, pemrograman, dan pengolahan data masing-masing muncul dalam 7 artikel atau 8,75%. Gamifikasi muncul dalam 4 artikel (5%), sementara video dan media digital hanya muncul sekali (1,25%).

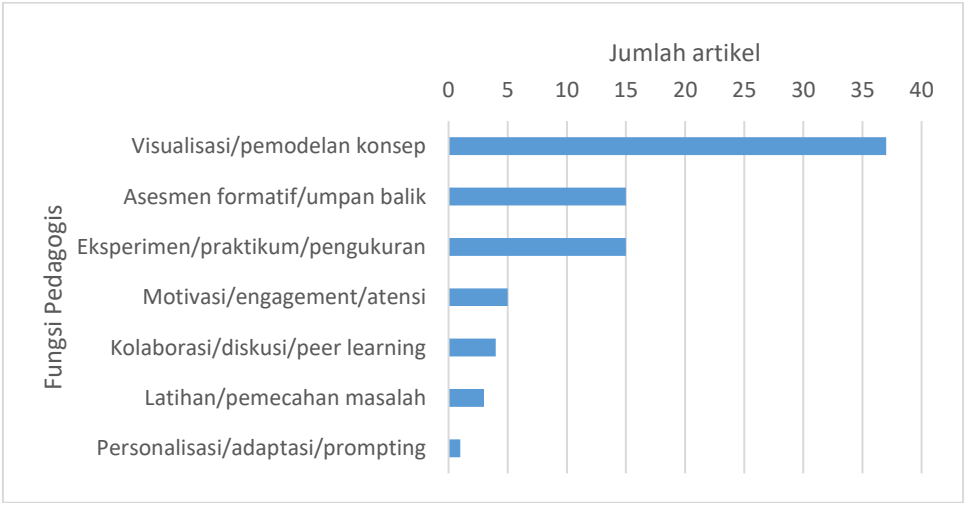


Gambar 2. Distribusi Jenis Teknologi Digital yang Diteliti dalam Pendidikan Fisika

Dominasi simulasi dan laboratorium virtual memperlihatkan bahwa teknologi visual dan eksperimental memiliki posisi penting dalam penelitian pendidikan fisika. Karakteristik tersebut sejalan dengan kebutuhan pembelajaran fisika yang sering melibatkan fenomena abstrak, perubahan variabel, dan proses yang sulit diamati langsung. Simulasi memungkinkan peserta didik mengamati hubungan antarvariabel, sedangkan laboratorium virtual menyediakan ruang latihan eksperimen melalui lingkungan digital. Temuan ini sejalan dengan Sarabando et al. (2016), yang mengkaji simulasi komputer untuk memperkuat pemahaman konsep massa dan berat. Puspitaningtyas et al. (2021) juga menelaah penguasaan teori gelombang cahaya melalui pembelajaran inkuiri berbantuan laboratorium virtual. Kedua penelitian tersebut memperlihatkan relevansi simulasi dan laboratorium virtual bagi pembelajaran konsep fisika tertentu. Namun, frekuensi publikasi dalam korpus ini tidak membuktikan bahwa teknologi tersebut lebih efektif dibandingkan teknologi lainnya. Perbandingan efektivitas tetap memerlukan pemeriksaan rancangan intervensi, instrumen pengukuran, dan konteks masing-masing penelitian.

Fungsi Pedagogis Teknologi Digital dalam Pendidikan Fisika

Fungsi pedagogis yang paling banyak ditemukan adalah visualisasi dan pemodelan konsep, yang dilaporkan dalam 37 artikel atau 46,25%. Temuan ini menunjukkan bahwa teknologi digital paling sering dimanfaatkan untuk membantu peserta didik merepresentasikan dan memahami konsep fisika. Fungsi asesmen formatif dan pemberian umpan balik ditemukan dalam 15 artikel atau 18,75%. Jumlah yang sama juga ditemukan pada fungsi eksperimen, praktikum, dan pengukuran, yaitu 15 artikel atau 18,75%. Selanjutnya, fungsi motivasi, keterlibatan, dan perhatian muncul dalam lima artikel atau 6,25%. Fungsi kolaborasi, diskusi, dan pembelajaran antarteman ditemukan dalam empat artikel atau 5%. Fungsi latihan dan pemecahan masalah ditemukan dalam tiga artikel (3,75%), sementara personalisasi pembelajaran muncul dalam satu artikel (1,25%).

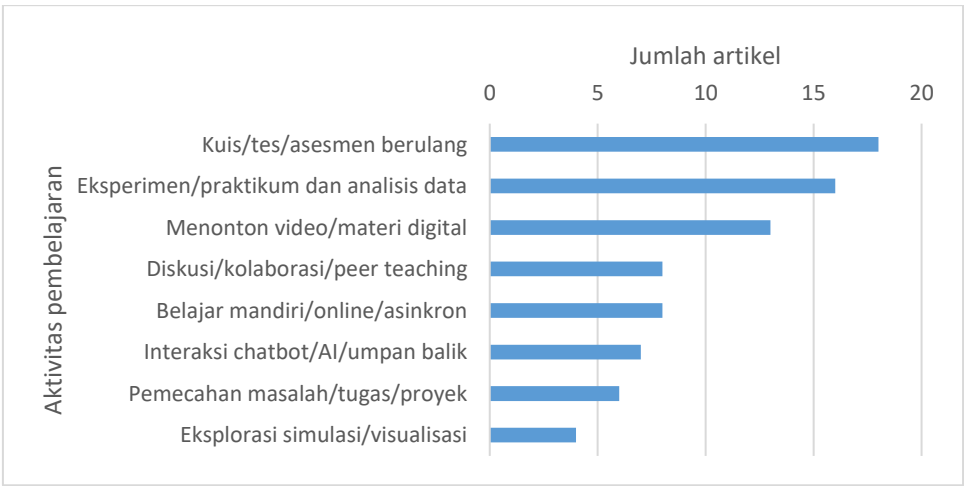


Gambar 3. Distribusi Fungsi Pedagogis Teknologi Digital dalam Pendidikan Fisika

Besarnya proporsi visualisasi dan pemodelan konsep menunjukkan bahwa teknologi terutama digunakan untuk menjembatani representasi abstrak dalam pembelajaran fisika. Simulasi, animasi, dan representasi digital dapat membantu menghubungkan model teoretis dengan fenomena yang dapat diamati peserta didik. Fan et al. (2018) mengkaji simulasi interaktif dalam urutan pembelajaran untuk mendukung perubahan konseptual fisika. Sarabando et al. (2016) juga melaporkan penggunaan simulasi komputer untuk membantu pemahaman konsep massa dan berat. Temuan dalam korpus ini memperluas gambaran tersebut dengan menunjukkan dominasi fungsi visualisasi pada beragam teknologi digital. Fungsi asesmen formatif dan praktikum juga menunjukkan bahwa teknologi mendukung pemantauan pemahaman serta pengalaman penyelidikan. Cohen dan Sasson (2016) membahas kuis daring dalam lingkungan belajar virtual sebagai sarana asesmen formatif. Sementara itu, personalisasi dan adaptasi pembelajaran masih jarang ditemukan dalam korpus artikel yang dianalisis.. Abdulayeva et al. (2025) mengangkat peran kecerdasan buatan dalam pembelajaran fisika yang dipersonalisasi. Perbedaan antara dominasi visualisasi dan terbatasnya personalisasi membuka ruang penelitian lanjutan tentang dukungan belajar adaptif.

Aktivitas Pembelajaran yang Diintegrasikan dengan Teknologi Digital

Aktivitas pembelajaran yang paling sering ditemukan adalah kuis, tes, dan asesmen berulang, dengan 18 artikel atau 22,5% dari keseluruhan korpus. Eksperimen, praktikum, dan analisis data menempati urutan berikutnya, ditemukan dalam 16 artikel atau 20%. Aktivitas menonton video dan mempelajari materi digital tercatat dalam 13 artikel atau 16,25%. Diskusi, kolaborasi, dan pengajaran antarteman ditemukan dalam delapan artikel atau 10%. Jumlah yang sama juga ditemukan pada aktivitas belajar mandiri, pembelajaran daring, dan kegiatan asinkron. Interaksi chatbot, kecerdasan buatan, dan umpan balik digital dilaporkan dalam tujuh artikel atau 8,75%. Aktivitas pemecahan masalah, pengerjaan tugas, dan proyek ditemukan dalam enam artikel atau 7,5%. Sementara itu, eksplorasi melalui simulasi dan visualisasi tercatat dalam empat artikel atau 5%.

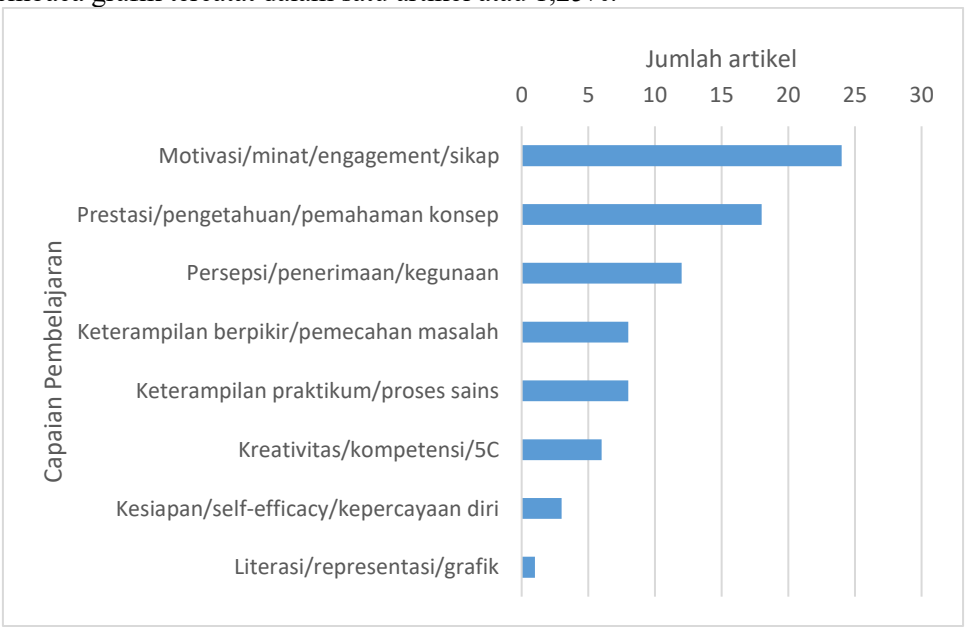


Gambar 4. Distribusi Aktivitas Pembelajaran yang Diintegrasikan dengan Teknologi Digital

Distribusi tersebut menunjukkan bahwa asesmen berulang dan kegiatan eksperimen menjadi aktivitas yang menonjol dalam integrasi teknologi digital pada pendidikan fisika. Cohen dan Sasson (2016) menempatkan kuis daring sebagai alat asesmen formatif dalam lingkungan belajar virtual. Temuan tersebut relevan dengan dominasi kuis, tes, dan asesmen berulang dalam korpus kajian ini. Pada sisi eksperimen, Hochberg et al. (2018) menelaah penggunaan smartphone sebagai alat eksperimen serta kaitannya dengan minat dan pembelajaran fisika. Shi et al. (2016) juga mengkaji pemanfaatan smartphone dalam praktikum fisika umum di perguruan tinggi. Studi-studi tersebut memperlihatkan bahwa perangkat digital dapat mendukung asesmen maupun aktivitas eksperimental. Penggunaan video dan materi digital turut menyediakan sumber belajar yang dapat diakses peserta didik. McClellan et al. (2024) meneliti pengaruh prompt pembelajaran yang disisipkan dalam video kuliah daring. Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan variasi aktivitas digital, tetapi frekuensi saja belum menjelaskan kualitas keterlibatan peserta didik. Penelitian berikutnya perlu menguji bagaimana rancangan aktivitas memengaruhi eksplorasi, keterlibatan aktif, dan pemecahan masalah.

Capaian pembelajaran Peserta Didik yang Paling Sering Dikaji

Capaian pembelajaran yang paling sering dikaji adalah motivasi, minat, keterlibatan, dan sikap, yang ditemukan dalam 24 artikel atau 30% dari keseluruhan korpus. Prestasi, pengetahuan, dan pemahaman konsep menempati urutan berikutnya dengan 18 artikel atau 22,5%. Persepsi, penerimaan, dan kegunaan teknologi dilaporkan dalam 12 artikel atau 15%. Keterampilan berpikir dan pemecahan masalah ditemukan dalam delapan artikel atau 10%. Jumlah yang sama juga ditemukan pada keterampilan praktikum dan proses sains. Kreativitas, kompetensi, dan keterampilan abad ke-21 dikaji dalam enam artikel atau 7,5%. Sementara itu, kesiapan, efikasi diri, dan kepercayaan diri ditemukan dalam tiga artikel atau 3,75%. Literasi, representasi, dan kemampuan membaca grafik tercatat dalam satu artikel atau 1,25%.



Gambar 5. Distribusi Capaian pembelajaran yang Dikaji dalam Penelitian Teknologi Digital pada Pendidikan Fisika

Temuan tersebut menunjukkan bahwa penelitian teknologi digital dalam pendidikan fisika banyak memperhatikan aspek afektif peserta didik. Radulović et al. (2023) secara khusus mengkaji pengaruh pembelajaran campuran terhadap motivasi belajar fisika. Ng dan Chua (2023) juga meneliti penggunaan PhET dalam perubahan sikap peserta didik terhadap pembelajaran fisika. Kajian-kajian tersebut sejalan dengan tingginya perhatian terhadap motivasi, minat, keterlibatan, dan sikap dalam korpus ini. Namun, prestasi dan pemahaman konsep tetap menempati kelompok hasil belajar dengan proporsi cukup besar. Erdoğan dan Bozkurt (2022) mengkaji laboratorium virtual pada materi optika geometris dengan menelaah prestasi dan sikap terhadap fisika. Temuan ini menggarisbawahi bahwa teknologi dapat dikaji melalui hasil afektif maupun kognitif. Meskipun demikian, kreativitas, efikasi diri, dan literasi grafik masih memperoleh perhatian relatif lebih sedikit. Penelitian selanjutnya dapat memadukan indikator kognitif, afektif, dan keterampilan sesuai tujuan pembelajaran fisika.

Pendalaman Substansi Artikel dengan Sitasi Tertinggi

Untuk memperdalam pembahasan substansi penelitian, telaah dilakukan terhadap sebelas artikel dengan jumlah sitasi tertinggi dalam korpus akhir. Artikel dipilih berdasarkan data sitasi Scopus yang diekspor pada 2 Oktober 2026. Sebelas artikel tersebut mencakup sepuluh peringkat teratas karena terdapat dua artikel dengan jumlah sitasi sama pada batas peringkat kesepuluh. Penelaahan difokuskan pada identitas artikel, temuan utama, dan rekomendasi penelitian lanjutan yang disampaikan penulis.

Tabel 1. Artikel dengan jumlah sitasi tertinggi dalam korpus penelitian

No.	Identitas penulis dan judul artikel	Sitasi	Temuan penelitian	Rekomendasi penelitian lanjutan
1	Fidan dan Tuncel (2019). "Integrating Augmented Reality into Problem Based Learning: The Effects on Learning Achievement and Attitude in Physics Education."	362	Integrasi augmented reality dalam pembelajaran berbasis masalah meningkatkan prestasi, sikap positif terhadap fisika, dan retensi belajar.	Menguji AR pada topik fisika lain, mengembangkan pelacakan markerless, meningkatkan aksesibilitas, serta membandingkan integrasi AR dengan pendekatan pembelajaran berbeda.
2	Hochberg, Kuhn, dan Müller (2018). "Using Smartphones as Experimental Tools—Effects on Interest, Curiosity, and Learning in Physics Education."	142	Penggunaan sensor akselerasi smartphone dalam eksperimen gerak pendulum meningkatkan minat dan rasa ingin tahu, tetapi tidak meningkatkan prestasi secara signifikan.	Mengkaji penggunaan sensor pada kelompok usia dan konteks berbeda, serta mengembangkan representasi dan umpan balik waktu nyata.
3	Georgiou, Tsivitanidou, dan Ioannou (2021). "Learning Experience Design with Immersive Virtual Reality in Physics Education."	75	Desain pengalaman belajar berbasis virtual reality imersif dalam pembelajaran inkuiri menghasilkan peningkatan konseptual serta persepsi, keterlibatan, dan motivasi positif.	Menguji simulasi VR, kelompok usia, dan bidang materi berbeda; memperpanjang intervensi serta memisahkan pengaruh VR dari pendekatan inkuiri.
4	Hochberg et al. (2020). "Using Smartphones as Experimental Tools—a Follow-up: Cognitive Effects by Video Analysis and Reduction of Cognitive Load by Multiple Representations."	70	Analisis video gerak pendulum menggunakan perangkat bergerak meningkatkan prestasi secara signifikan, tetapi tidak menunjukkan pengaruh signifikan pada minat, rasa ingin tahu, atau beban kognitif.	Menguji konteks pembelajaran dan sampel yang lebih beragam serta menggunakan instrumen beban kognitif yang lebih mampu membedakan dimensinya.
5	Tsivitanidou, Georgiou, dan Ioannou (2021). "A Learning Experience in Inquiry-Based Physics with Immersive Virtual Reality: Student Perceptions and an Interaction Effect Between Conceptual Gains and Attitudinal Profiles."	69	Hasil belajar konseptual berinteraksi dengan profil sikap peserta didik; peserta didik dengan sikap positif terhadap sains dan teknologi menunjukkan persepsi lebih baik.	Menguji desain pembelajaran dan jenis VR berbeda, menggunakan metode kualitatif dan triangulasi, serta mengukur inkuiri, pemecahan masalah, dan faktor sikap lainnya.
6	Cohen dan Sasson (2016). "Online Quizzes in a Virtual Learning Environment as a Tool for Formative Assessment."	62	Nilai kuis daring dan tes tertulis menjadi prediktor signifikan nilai ujian akhir; pengulangan kuis memperbaiki skor dan mempersingkat waktu pengerjaan.	Merancang kuis dengan umpan balik langsung dan kesempatan mencoba kembali, serta mengembangkan butir yang mendorong pemahaman konsep.
7	Novitra et al. (2021). "Development of Online-based Inquiry Learning Model to Improve 21st-Century Skills of Physics Students in Senior High School."	41	Model pembelajaran inkuiri daring memperoleh validitas dan kepraktisan sangat tinggi serta menunjukkan peningkatan keterampilan abad ke-21.	Menguji model pada skala lebih luas dan konteks berbeda, sekaligus mengendalikan faktor eksternal seperti latar belakang peserta didik dan kompetensi guru.
8	Sulisworo, Agustin, dan Sudarmiyati (2016). "Cooperative-blended Learning Using Moodle as an Open Source Learning Platform."	35	Pembelajaran kooperatif-blended berbantuan Moodle dilaporkan mendukung prestasi dan motivasi belajar melalui forum, percakapan, serta media pembelajaran. Artikel memuat ketidakkonsistenan pelaporan jumlah sampel dan beberapa nilai hasil.	Mengembangkan latihan soal serta memperjelas peran guru sebagai fasilitator dalam mengelola interaksi dan aktivitas kolaboratif.
9	Agyare et al. (2025). "A Cross-National Assessment of Artificial Intelligence (AI) Chatbot User Perceptions in Collegiate Physics Education."	30	Persepsi kemudahan penggunaan dan norma subjektif memprediksi niat serta penggunaan chatbot AI; kekhawatiran etis melemahkan hubungan niat dengan penggunaan aktual.	Melakukan survei longitudinal untuk mengkaji hubungan penggunaan chatbot, dukungan institusi, motivasi, dan capaian pembelajaran.
10	Ayasrah et al. (2024). "Enhancing Secondary School Students' Attitudes Toward Physics by Using Computer Simulations."	27	Simulasi komputer pada materi Hukum II Newton berpengaruh signifikan terhadap sikap inkuiri ilmiah, kesenangan belajar sains, dan minat karier fisika.	Mengintegrasikan simulasi dalam kurikulum, menyesuaikannya dengan kebutuhan peserta didik, memperkuat pelatihan guru, dan melakukan penelitian longitudinal.
11	Kohnle dan Rizzoli (2017). "Interactive Simulations for Quantum Key Distribution."	27	Pengembangan dan evaluasi simulasi interaktif menunjukkan potensi membantu mahasiswa memahami prinsip dasar distribusi kunci kuantum.	Menambahkan simulasi ketidaksempurnaan instrumen, strategi penyadapan, koreksi kesalahan, dan penguatan privasi.

Kesenjangan Penelitian dan Arah Penelitian Selanjutnya

Identifikasi kesenjangan penelitian dilakukan melalui sintesis interpretatif terhadap empat dimensi pemetaan dalam korpus artikel terpilih. Dimensi tersebut mencakup jenis teknologi digital, fungsi pedagogis, aktivitas pembelajaran, dan hasil belajar peserta didik. Sintesis ini tidak menghitung kesenjangan sebagai kategori frekuensi tersendiri, tetapi menafsirkan pola temuan untuk mengenali aspek yang memerlukan pengembangan. Sintesis tersebut menunjukkan empat kesenjangan: kejelasan konseptual, kedalaman integrasi pedagogis, keluasan hasil belajar, dan konsistensi bukti penelitian.

Pertama, kesenjangan konseptual (conceptual gap) berkaitan dengan perlunya memperjelas hubungan antara jenis teknologi dan fungsi pedagogis yang dijalankannya. Teknologi yang sama dapat mendukung visualisasi konsep, asesmen formatif, eksperimen, atau aktivitas pembelajaran lainnya. Tinjauan Banda dan Nzabahimana (2021) berfokus pada simulasi PhET dan kaitannya dengan pemahaman konseptual peserta didik. Fokus yang lebih khusus tersebut berbeda dari pemetaan kajian ini, yang mengelompokkan beragam teknologi berdasarkan fungsi pedagogisnya. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu menjelaskan teknologi yang digunakan, alasan pemilihannya, serta fungsi pembelajaran yang hendak dicapai.

Kedua, kesenjangan kedalaman integrasi (depth gap) berkaitan dengan bagaimana teknologi diintegrasikan ke dalam aktivitas belajar peserta didik. Penggunaan teknologi untuk menyajikan materi atau memberikan kuis berbeda dari pemanfaatannya untuk mendukung eksplorasi fenomena, analisis data, dan pemecahan masalah. Melo (2018), misalnya, membahas desain lingkungan belajar digital dengan model 4C/ID untuk mengajarkan rangkaian listrik. Contoh tersebut menunjukkan pentingnya menghubungkan teknologi dengan rancangan instruksional, bukan hanya dengan perangkat yang digunakan. Penelitian selanjutnya perlu mengkaji karakteristik aktivitas yang difasilitasi teknologi serta hubungan aktivitas tersebut dengan tujuan pembelajaran fisika.

Ketiga, kesenjangan hasil belajar (outcome gap) berkaitan dengan perlunya memperluas dan memperjelas cakupan hasil belajar yang dikaji. Korpus menunjukkan perhatian terhadap motivasi, minat, keterlibatan, sikap, prestasi, dan pemahaman konsep. Akan tetapi, distribusi hasil belajar menunjukkan bahwa beberapa aspek masih relatif jarang diteliti. Subali et al. (2017), misalnya, mengkaji eksperimen berbantuan komputer untuk meningkatkan literasi grafik peserta didik. Studi tersebut menggambarkan salah satu hasil belajar yang belum banyak muncul dalam korpus ini. Penelitian berikutnya dapat mempertimbangkan retensi pengetahuan, transfer konsep, dan literasi representasi sesuai tujuan pembelajaran yang diteliti.

Keempat, kesenjangan konsistensi bukti penelitian berkaitan dengan kebutuhan pelaporan hasil yang lebih transparan dan dapat dibandingkan. Perbedaan indikator, instrumen, dan cara melaporkan hasil dapat membatasi sintesis lintas penelitian. Karena itu, pembaca perlu mengetahui definisi operasional, prosedur pengukuran, serta karakteristik instrumen yang digunakan. Halim et al. (2021), misalnya, menelaah umpan balik naratif, modul e-learning, dan video realistis dalam kaitannya dengan pengurangan miskonsepsi. Pelaporan yang jelas mengenai intervensi dan hasil membantu pembaca memahami batas interpretasi temuan. Penelitian selanjutnya perlu menjelaskan prosedur pengukuran, karakteristik indikator, serta hasil yang diperoleh secara memadai. Penjelasan tersebut memungkinkan kontribusi teknologi digital ditafsirkan dengan lebih tepat dan konsisten.

Secara keseluruhan, keempat kesenjangan tersebut merupakan interpretasi atas pola dan keterbatasan bukti dalam korpus, bukan pengukuran frekuensi kesenjangan secara langsung. Sintesis ini mengarahkan penelitian selanjutnya untuk memperjelas fungsi pedagogis teknologi dan memperdalam integrasi aktivitas pembelajaran. Penelitian mendatang juga perlu memperluas cakupan hasil belajar serta meningkatkan kualitas pelaporan bukti empiris. Implikasi praktisnya, pemilihan teknologi sebaiknya dimulai dari tujuan pembelajaran dan kebutuhan peserta didik, bukan sekadar kebaruan perangkat. Implikasi bagi penelitian adalah perlunya pelaporan intervensi, indikator, dan instrumen secara transparan agar temuan lebih mudah dibandingkan.

KESIMPULAN

Penelitian ini memetakan pemanfaatan teknologi digital dalam pendidikan fisika melalui *Systematic Literature Review* terhadap 80 artikel periode 2016–2025. Hasil kajian memperlihatkan kecenderungan pemanfaatan teknologi berdasarkan jenis teknologi, fungsi pedagogis, aktivitas pembelajaran, dan capaian pembelajaran peserta didik.

Simulasi dan laboratorium virtual menjadi jenis teknologi digital yang paling banyak diteliti, mencakup 20 artikel atau 25% korpus. Dominasi tersebut menunjukkan perhatian penelitian terhadap pemanfaatan representasi digital untuk mengeksplorasi fenomena fisika. Dari sisi fungsi pedagogis, visualisasi dan pemodelan konsep paling banyak ditemukan, yaitu 37 artikel atau 46,25%. Temuan ini memperlihatkan bahwa

teknologi digital banyak dimanfaatkan untuk membantu peserta didik merepresentasikan dan memahami konsep fisika. Aktivitas kuis, tes, dan asesmen berulang menjadi aktivitas pembelajaran yang paling sering diintegrasikan, ditemukan dalam 18 artikel atau 22,5%. Eksperimen, praktikum, dan analisis data juga cukup menonjol, dengan temuan pada 16 artikel atau 20%. Sementara itu, motivasi, minat, keterlibatan, dan sikap merupakan capaian pembelajaran yang paling banyak dikaji, mencakup 24 artikel atau 30%. Prestasi, pengetahuan, dan pemahaman konsep juga cukup menonjol, ditemukan dalam 18 artikel atau 22,5%.

Secara keseluruhan, kecenderungan tersebut memperlihatkan bahwa teknologi digital dalam pendidikan fisika banyak diarahkan untuk mendukung representasi konsep dan evaluasi pembelajaran. Pemanfaatannya juga terintegrasi dengan kegiatan eksplorasi, eksperimen, serta penguatan keterlibatan peserta didik. Pola ini menunjukkan bahwa penelitian tidak hanya menempatkan teknologi sebagai media penyampaian informasi. Teknologi juga dimanfaatkan untuk memfasilitasi aktivitas belajar dan mendukung pencapaian tujuan pembelajaran. Meskipun demikian, dominasi kajian motivasi dan keterlibatan menunjukkan bahwa capaian afektif masih lebih banyak mendapat perhatian dibandingkan beberapa capaian lainnya.

Sintesis terhadap keseluruhan korpus mengidentifikasi empat kesenjangan penelitian yang perlu mendapat perhatian dalam kajian berikutnya. Kesenjangan tersebut meliputi kejelasan konseptual, kedalaman integrasi pedagogis, cakupan capaian pembelajaran, dan konsistensi bukti penelitian. Temuan ini menunjukkan perlunya penjelasan lebih tegas mengenai tujuan pedagogis penggunaan teknologi dalam pembelajaran fisika. Integrasi teknologi juga perlu diwujudkan melalui aktivitas pembelajaran bermakna, bukan sekadar penggunaan perangkat digital. Penelitian mendatang perlu memperluas indikator capaian serta meningkatkan transparansi pelaporan metode dan hasil penelitian.

Pendalaman terhadap sebelas artikel dengan sitasi tertinggi memperlihatkan beragam kontribusi teknologi digital dalam pendidikan fisika. Artikel-artikel tersebut membahas pembelajaran berbasis masalah, eksperimen, simulasi imersif, asesmen formatif, kolaborasi, dan penggunaan kecerdasan buatan. Temuan tersebut memperkuat pemetaan bahwa teknologi digital tidak hanya berfungsi sebagai media penyampaian materi. Pemanfaatannya juga dapat mendukung investigasi, interaksi, evaluasi, serta pengembangan pemahaman konsep dan sikap peserta didik. Namun, kontribusi teknologi tetap bergantung pada kesesuaian karakteristik media, tujuan pedagogis, dan rancangan aktivitas pembelajaran.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu dipertimbangkan ketika menafsirkan dan menerapkan hasil kajian. Pencarian literatur hanya dilakukan melalui Scopus sehingga publikasi relevan dari basis data lain belum tercakup. Pembatasan pada artikel jurnal berbahasa Inggris juga menyebabkan sumber relevan di luar kriteria tersebut tidak dianalisis. Selain itu, pengelompokan temuan bergantung pada kelengkapan informasi yang dilaporkan dalam setiap artikel. Jumlah sitasi artikel juga dapat berubah seiring waktu dan tidak secara langsung menunjukkan kualitas metodologis penelitian.

Hasil kajian ini memberikan implikasi praktis bagi pendidik dalam memilih dan mengintegrasikan teknologi digital. Pemilihan teknologi sebaiknya mempertimbangkan karakteristik materi, tujuan pembelajaran, kebutuhan peserta didik, serta aktivitas yang dirancang. Bagi peneliti, hasil kajian menyediakan arah pengembangan studi melalui pengujian integrasi pedagogis dan pengukuran capaian pembelajaran yang lebih beragam. Penelitian berikutnya juga perlu menerapkan desain yang kuat, pelaporan transparan, serta pengamatan dampak pembelajaran dalam jangka panjang.

KONTRIBUSI PENULIS

Nur Raudyah Musyarrafah: Conceptualization, Methodology, Investigation, Data Curation, Formal Analysis, Writing – Original Draft, and Writing – Review & Editing**. Heru Kuswanto:** Supervision, Validation, and Writing – Review & Editing. **Heny Asvarinda** dan **Herman Sinurat** berkontribusi dalam *Writing – Review & Editing* melalui pembacaan naskah, pemberian masukan, dan perbaikan bagian yang memerlukan penyempurnaan. Semua penulis telah membaca dan menyetujui naskah akhir.

PERNYATAAN BEBAS KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat memengaruhi hasil penelitian. Pernyataan ini mencakup kepentingan yang berpotensi memengaruhi pelaksanaan maupun pelaporan hasil dalam naskah ini.

PERNYATAAN ETIKA PENELITIAN DAN PUBLIKASI

Para penulis menyatakan bahwa penelitian dan penulisan naskah telah mematuhi standar etika penelitian serta publikasi ilmiah. Penulis juga menyatakan bahwa naskah ini disusun dengan memperhatikan integritas akademik dan bebas dari plagiasi.

PERNYATAAN PEMANFAATAN TEKNOLOGI ASISTIF

Dalam penyusunan naskah ini, penulis menggunakan ChatGPT sebagai alat bantu untuk penyuntingan bahasa, penataan struktur, dan pemeriksaan konsistensi redaksi. Alat tersebut tidak digunakan sebagai pengganti proses seleksi artikel, ekstraksi data, atau pengambilan keputusan analitis. Penulis telah meninjau dan bertanggung jawab penuh atas isi, interpretasi, serta versi akhir naskah.

DAFTAR PUSTAKA

Abdulayeva, A., Zhanatbekova, N., Andasbayev, Y., Khaimuldanov, Y., & Zhiyembayev, Z. (2025). The role of artificial intelligence (ai) in personalised physics education. Jurnal Pendidikan IPA Indonesia, 14(3), 599–615. DOI: https://doi.org/10.15294/jpii.v14i3.29752

Abdullah, H., Malago J.D., & Arafah, K. (2021). The implementation of physics learning through online mode during pandemic COVID-19 using metacognitive knowledge-based materials. Jurnal Pendidikan IPA Indonesia, 10(2), 220–227. DOI: https://doi.org/10.15294/jpii.v10i2.28583

Abdurrahman, Herlina, K., & Sari P.M. (2022). Online learning with multi-representation worksheets for oral and written communication skills on light reflecting material. Online Learning In Educational Research, 2(1), 49–56. DOI: https://doi.org/10.58524/oler.v2i1.122

Agyare, B., Asare, J., Kraishan, A., Nkrumah, I., & Adjekum D.K. (2025). A cross-national assessment of artificial intelligence (ai) chatbot user perceptions in collegiate physics education. Computers and Education: Artificial Intelligence, 8, Article 100365. DOI: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100365

Al-Kamzari, F., & Alias, N. (2024). Exploring the readiness of high school physics students for project-based hybrid learning in the sultanate of oman. Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 20(2), 1–12. DOI: https://doi.org/10.29333/ejmste/14241

Alarabi, K., Tairab, H., Rabbani, L., & El Hassan Hamad, S. (2022). Teachers' and students' attitudes toward online physics education during the COVID-19 pandemic in uae. International Journal of Instruction, 15(4), 293–310. DOI: https://doi.org/10.29333/iji.2022.15417a

Amaaz, A., Mouradi, A., & Erradi, M. (2024). A model for physics practical work using mobile learning and learning management system (lms) in higher education: design, validation, and evaluation. Journal of Baltic Science Education, 23(5), 809–825. DOI: https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.809

Anh T.T.N., Nhat N.D., & Phuong T.T.M. (2025). Evaluating gamified mobile learning with quizalize: engagement and equity in vietnamese physics education. International Journal of Interactive Mobile Technologies, 19(19), 122–133. DOI: https://doi.org/10.3991/ijim.v19i19.56409

Astalini, Qizi K.C.A., San M.T., Yusifov, S., & Byamba-Ochir, N. (2023). Development ofMATLAB-based physics practical media to optimize online learning for students on sine wave material. Journal of Educational Technology and Learning Creativity, 1(2), 88–97. DOI: https://doi.org/10.37251/jetlc.v1i2.1396

Astalini, Darmaji, Kurniawan D.A., & Octavia S.W. (2024). Assembler edu e-modules: improving argumentation skills, perseverance, and curiosity in physics learning. Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi, 8(2), 550–562. DOI: https://doi.org/10.22437/jiituj.v8i2.37238

Asyhari, A., & Komikesari, H. (2024). Investigating factors affecting students' attitudes and readiness towards collaborative online learning environments in physics. online learning in. Educational Research, 4(2), 113–130. DOI: https://doi.org/10.58524/oler.v4i2.509

Ayasrah F.T.M., Alarabi, K., Al Mansouri, M., Fattah H.A.A., & Al-Said, K. (2024). Enhancing secondary school students' attitudes toward physics by using computer simulations. International Journal of Data and Network Science, 8(1), 369–380. DOI: https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2023.9.017

Bakhtibaeva S.A., Grinshkun V.V., Berkimbaev K.M., & Turmambekov T.A. (2016). Use of information technology in teaching semiconductors physics. Indian Journal of Science and Technology, 9(19), Article 93892. DOI: https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i19/93892

Bessas, N., Tzanaki, E., Vavougios, D., & Plagianakos V.P. (2025). The role ofChatGPT in junior high school physics education: insights from teachers and students and guidelines for optimal use. Social Sciences and Humanities Open, 11, Article 101610. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101610

Bouras, N., Ayaichi, L., Amaaz, A., Mouradi, A., & Erradi, M. (2025). Mobile learning in physics education: evaluating the impact of interactive videos on practical work. International Journal of Interactive Mobile Technologies, 19(13), 4–18. DOI: https://doi.org/10.3991/ijim.v19i13.53617

Büyükbayraktar F.N., & Dilber, R. (2022). Teaching of magnetism unit topics via active learning applications. Participatory Educational Research, 9(6), 286–311. DOI: https://doi.org/10.17275/per.22.140.9.6.

Carli, M. (2024). Implementing active learning in a teaching-learning sequence on rolling motion for mechanical engineers. European Journal of Physics, 45(5), Article 055701. DOI: https://doi.org/10.1088/1361-6404/ad5edb

Celestino-Salcedo R.K.M., Malayao S.O., Jr., Salic-Hairulla M.A., Castro E.J., & Mordeno I.C.V. (2024). Vodcast embedded with physics education technology simulation in learning projectile motion. Journal of Education and Learning, 18(3), 1047–1055. DOI: https://doi.org/10.11591/edulearn.v18i3.21434

Chekour, M., Seghroucheni Y.Z., Tadlaoui M.A., & Hafid M.M. (2022). Blended learning and simulation for teaching electrical concepts to high school pupils. Journal of Turkish Science Education, 19(4), 1119–1134. DOI: https://doi.org/10.36681/tused.2022.165

Coban, A., Dzsotjan, D., Küchemann, S., Durst, J., Kuhn, J., & Hoyer, C. (2025). Ai support meets AR visualization for alice and bob: personalized learning based on individualChatGPT feedback in an AR quantum cryptography experiment for physics lab courses. EPJ Quantum Technology, 12(1), Article 15. DOI: https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-025-00310-z

Cohen, D., & Sasson, I. (2016). Online quizzes in a virtual learning environment as a tool for formative assessment. Journal of Technology and Science Education, 6(3), 188–208. DOI: https://doi.org/10.3926/jotse.217

Cárdenas-Sainz B.A., Barrón-Estrada M.L., Zatarain-Cabada, R., & Chavez-Echeagaray M.E. (2023). Evaluation of extended reality (xr) technology on motivation for learning physics among students in mexican schools. Computers and Education: X Reality, 3, Article 100036. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100036

Darmaji, Jamlan, M., Yildiz, R., Boglou A.K., & Baharin Z.H.Z. (2024). Utilization of wokwi technology as a modern electronics learning media. Journal of Educational Technology and Learning Creativity, 2(2), 256–268. DOI: https://doi.org/10.37251/jetlc.v2i2.1392

Dorocki, M., Radulović, B., Stojanović, M., & Gajić, O. (2022). Impact of blended learning approach on students' achievement and mental effort. Canadian Journal of Physics, 100(3), 193–199. DOI: https://doi.org/10.1139/cjp-2019-0602

Eldy E.F., Sulaiman, F., Ishak M.Z., Uden, L., & Netto-Shek J.-A. (2025). Gender differences in motivation and problem-solving in a physics course online problem-based learning. International Journal of Evaluation and Research in Education, 14(4), 2832–2845. DOI: https://doi.org/10.11591/ijere.v14i4.31105

Erdoğan Ş., Doç, & Bozkurt, E. (2022). The effect of virtual laboratory applications prepared for geometrical optics lesson on students' achievement levels and attitudes towards physics. Pegem Egitim ve Ogretim Dergisi, 12(2), 226–234. DOI: https://doi.org/10.47750/pegegog.12.02.22

Fan, X., Geelan, D., & Gillies, R. (2018). Evaluating a novel instructional sequence for conceptual change in physics using interactive simulations. Education Sciences, 8(1), Article 29. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci8010029

Fidan, M., & Tuncel, M. (2019). Integrating augmented reality into problem based learning: the effects on learning achievement and attitude in physics education. Computers and Education, 142, Article 103635. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103635

Georgiou, Y., Tsivitanidou, O., & Ioannou, A. (2021). Learning experience design with immersive virtual reality in physics education. Educational Technology Research and Development, 69(6), 3051–3080. DOI: https://doi.org/10.1007/s11423-021-10055-y

Gerhátová Ž., Perichta, P., & Palcut, M. (2020). Project-based teaching of the topic "energy sources" in physics via integrated e-learning—pedagogical research in the 9th grade at two primary schools in slovakia. Education Sciences, 10(12), 1–18. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci10120371

Halim, A., Mahzum, E., Yacob, M., Irwandi, I., & Halim, L. (2021). The impact of narrative feedback, e-learning modules and realistic video and the reduction of misconception. Education Sciences, 11(4), Article 158. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci11040158

Hochberg, K., Kuhn, J., & Müller, A. (2018). Using smartphones as experimental tools—effects on interest, curiosity, and learning in physics education. Journal of Science Education and Technology, 27(5), 385–403. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-018-9731-7

Hochberg, K., Becker, S., Louis, M., Klein, P., & Kuhn, J. (2020). Using smartphones as experimental tools—a follow-up: cognitive effects by video analysis and reduction of cognitive load by multiple representations. Journal of Science Education and Technology, 29(2), 303–317. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-020-09816-w

Hoshino, T., Ota, Y., Tomaru, K., Hamamatsu, Y., & Komuro, T. (2019). New functions and evaluation for learning effects of acceleration experiment support software. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 9(1), 242–249. DOI: https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.1.7580

Jufrida, J., Kurniawan, W., Furqon, M., Anwar, K., Falah H.S., & Riantoni, C. (2025). Ai-driven ethnoscience learning: enhancing physics education through malay cultural insights. Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice, 24, Article 13. DOI: https://doi.org/10.28945/5520

Kannan, V., Warriem J.M., Majumdar, R., & Ogata, H. (2022). Learning dialogs orchestrated with bookroll: effects on engagement and learning in an undergraduate physics course. Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 17(1), Article 28. DOI: https://doi.org/10.1186/s41039-022-00203-0

Katanosaka, T., Khan M.F.F., & Sakamura, K. (2024). Phygame: an interactive and gamified learning support system for secondary physics education. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 15(6), 84–94. DOI: https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0150611

Kohnle, A., & Rizzoli, A. (2017). Interactive simulations for quantum key distribution. European Journal of Physics, 38(3), Article 035403. DOI: https://doi.org/10.1088/1361-6404/aa62c8

Lakka, I., Zafeiropoulos, V., & Leisos, A. (2023). Online virtual reality-based vs. face-to-face physics laboratory: a case study in distance learning science curriculum. Education Sciences, 13(11), Article 1083. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci13111083

Laumann, D., Schlummer, P., Abazi, A., Borkamp, R., Lauströer, J., Pernice, W., Schuck, C., Schulz-Schaeffer, R., & Heusler, S. (2024). Analyzing the effective use of augmented reality glasses in university physics laboratory courses for the example topic of optical polarization. Journal of Science Education and Technology, 33(5), 668–685. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-024-10112-0

Laumann, D., Fischer J.A., Stürmer-Steinmann T.K., Welberg, J., Weßnigk, S., & Neumann, K. (2024). Designing e-learning courses for classroom and distance learning in physics: the role of learning tasks. physical review. Physics Education Research, 20(1), Article 010107. DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010107

Lebedev, P., Lindstrøm, C., & Sharma M.D. (2021). Making linear multimedia interactive: questions, solutions and types of reflection. European Journal of Physics, 42(1), Article 015707. DOI: https://doi.org/10.1088/1361-6404/abbaaf

Mardiana, N., Maulina, B., Mardiani, N., Sabar, S., & Collantes L.M. (2025). Enhancing critical thinking skills through android-assisted virtual physics learning: a focus on hots development. Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi, 9(2), 513–526. DOI: https://doi.org/10.22437/jiituj.v9i2.34373

Marshman E.M., DeVore, S., & Singh, C. (2018). Challenge of helping introductory physics students transfer their learning by engaging with a self-paced learning tutorial. Frontiers in ICT, 5(MAR), Article 3. DOI: https://doi.org/10.3389/fict.2018.00003

Marzari, A., Di Mauro, M., Rosi, T., Onorato, P., & Malgieri, M. (2023). Investigating the principle of relativity and the principle of equivalence in classical mechanics: design and evaluation of a teaching–learning sequence based on experiments and simulations. Education Sciences, 13(7), Article 712. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci13070712

Mathew, A., Sagayam K.M., Immanuel J.S., & Jebarani P.E. (2025). Next-gen physics education: ar/vr-powered simple pendulum learning for obe and nep 2020. Archives for Technical Sciences, 3(34), 1285–1296. DOI: https://doi.org/10.70102/afts.2025.1834.1285

McClellan, D., Chastain R.J., & DeCaro M.S. (2024). Enhancing learning from online video lectures: the impact of embedded learning prompts in an undergraduate physics lesson. Journal of Computing in Higher Education, 36(3), 852–874. DOI: https://doi.org/10.1007/s12528-023-09379-w

Melo, M. (2018). The 4c/id-model in physics education: instructional design of a digital learning environment to teach electrical circuits. International Journal of Instruction, 11(1), 103–122. DOI: https://doi.org/10.12973/iji.2018.1118a

Mills, E., Mizouri, A., & Peach, A. (2025). Prompting better feedback: a study of custom gpt for formative assessment in undergraduate physics. Education Sciences, 15(8), Article 1058. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci15081058

Mukumba, P., & Shambira, N. (2022). Students' technology preference and computer technology applications in the teaching and learning of physics modules at the university undergraduate level in south africa during the COVID-19 pandemic. Education Sciences, 12(11), Article 771. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci12110771

Nazira, A., Sandibaeva, N., & Garnaeva, G. (2025). Formation of students' research skills in digital transformation of physics teaching. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 13(2), 473–488. DOI: https://doi.org/10.21533/pen.v13.i2.344

Ng M.E., & Chua K.H. (2023). The effect of using PhET in changing malaysian students' attitude to learning physics in a full virtual environment. Pertanika Journal of Social Sciences and Humanities, 31(2), 545–560. DOI: https://doi.org/10.47836/pjssh.31.2.05

Novitra, F., Festiyed, Yohandri, & Asrizal (2021). Development of online-based inquiry learning model to improve 21st-century skills of physics students in senior high school. Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 17(9), 1–20. DOI: https://doi.org/10.29333/ejmste/11152

Onyema E.M., Khan, R., Eucheria N.C., & Kumar, T. (2023). Impact of mobile technology and use of big data in physics education during coronavirus lockdown. Big Data Mining and Analytics, 6(3), 381–389. DOI: https://doi.org/10.26599/BDMA.2022.9020013

Perez-Navarro, A., Garcia, V., & Conesa, J. (2021). Students perception of videos in introductory physics courses of engineering in face-to-face and online environments. Multimedia Tools and Applications, 80(1), 1009–1028. DOI: https://doi.org/10.1007/s11042-020-09665-0

Pratidhina, E., Pujianto, & Sumardi, Y. (2019). Developing computer program as a learning resource on gas law topics for high school students. International Journal of Instruction, 12(2), 133–146. DOI: https://doi.org/10.29333/iji.2019.1229a

Puspitaningtyas, E., Putri E.F.N., Umrotul, & Sutopo (2021). Analysis of high school students' mastery in light wave theory using structured inquiry learning assisted by a virtual laboratory. Revista Mexicana de Fisica E, 18(1), 10–22. DOI: https://doi.org/10.31349/REVMEXFISE.18.10

Radulović, B., Dorocki, M., Ninković S.O., Stojanović, M., & Adamov, J. (2023). The effects of blended learning approach on student motivation for learning physics. Journal of Baltic Science Education, 22(1), 73–82. DOI: https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.73

Rahayu, S., Setyosari, P., Hidayat, A., & Kuswandi, D. (2022). The effectiveness of creative problem solving-flipped classroom for enhancing students' creative thinking skills in online physics educational learning. Jurnal Pendidikan IPA Indonesia, 11(4), 649–656. DOI: https://doi.org/10.15294/jpii.v11i4.39709

Richter, K., & Kickmeier-Rust, M. (2025). Exploring gender dynamics in gamified physics learning–investigating gamification's impact on engagement and learning across genders. Italian Journal of Educational Technology, 33(1), 87–103. DOI: https://doi.org/10.17471/2499-4324/1378

Richter, K., & Kickmeier-Rust, M. (2025). Gamification in physics education: play your way to better learning. International Journal of Serious Games, 12(1), 59–81. DOI: https://doi.org/10.17083/ijsg.v12i1.858

Rizal, R., Rusdiana, D., Setiawan, W., & Siahaan, P. (2020). Students perception of learning management system supported smartphone: satisfaction analysis in online physics learning. Jurnal Pendidikan IPA Indonesia, 9(4), 600–610. DOI: https://doi.org/10.15294/jpii.v9i4.25363

Rizki I.A., Suprapto, N., Saphira H.V., Alfarizy, Y., Ramadani, R., Saputri A.D., & Suryani, D. (2024). Cooperative model, digital game, and augmented reality-based learning to enhance students' critical thinking skills and learning motivation. Journal of Pedagogical Research, 8(1), 339–355. DOI: https://doi.org/10.33902/JPR.202423825

Ropawandi, D., Halim, L., & Husnin, H. (2022). Augmented reality (ar) technology-based learning: the effect on physics learning during the COVID-19 pandemic. International Journal of Information and Education Technology, 12(2), 132–140. DOI: https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.2.1596

Salas-Rueda R.-A., De-La-cruz-martínez, G., Alvarado-Zamorano, C., & Prieto-Larios, E. (2022). The collaborative wall: a technological means to improving the teaching-learning process about physics.

Center for Educational Policy Studies Journal, 12(4), 205–231. DOI: https://doi.org/10.26529/cepsj.1167

Sarabando, C., Cravino J. P., & Soares A. A. (2016). Improving student understanding of the concepts of weight and mass with a computer simulation. *Journal of Baltic Science Education*, 15(1), 109–126. DOI: https://doi.org/10.33225/jbse/16.15.109

Sari, L., Sulisworo, D., Toifur, M., & Abd Rahman, N. H. (2020). Effects of Schoology online cooperative learning to learning achievement. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(2), 99–103. Retrieved from https://www.ijstr.org/final-print/feb2020/Effects-Of-Schoology-Online-Cooperative-Learning-To-Learning-Achievement.pdf

Shi W.-Z., Sun, J., Xu, C., & Huan, W. (2016). Assessing the use of smartphone in the university general physics laboratory. Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 12(1), 125–132. DOI: https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1424a

Subali, B., Rusdiana, D., Firman, H., Kaniawati, I., & Ellianawati, E. (2017). Computer-based experiment of free fall movement to improve the graphical literacy. Jurnal Pendidikan IPA Indonesia, 6(1), 41–48. DOI: https://doi.org/10.15294/jpii.v6i1.8750

Suhirman, & Prayogi, S. (2023). Problem-based learning utilizing assistive virtual simulation in mobile application to improve students' critical thinking skills. Humanities and Social Sciences Letters, 11(3), 351–364. DOI: https://doi.org/10.18488/61.v11i3.3380

Sulisworo, D., Agustin S.P., & Sudarmiyati, E. (2016). Cooperative-blended learning usingMoodle as an open source learning platform. International Journal of Technology Enhanced Learning, 8(2), 187–198. DOI: https://doi.org/10.1504/IJTEL.2016.078089

Susilawati, Doyan, A., Rokhmat, J., Muliyadi, L., Rizaldi D.R., Fatimah, Z., Ikhsan, M., & Ardianti N.R. (2025). Integration of smartphone-based learning media and project-based learning to enhance creativity and scientific literacy in physics. International Journal of Information and Education Technology, 15(7), 1449–1459. DOI: https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.7.2346

Suyidno, S., Mastuang, M., Komariyah, L., Misbah, M., Qamariah, Q., & Syarkowi, A. (2025). Augmented reality, artificial intelligence, and local wisdom-based renewable energy learning media to improve students' 5C skills. *Journal of Engineering Science and Technology*, 20(6), 1895–1919. Retrieved from https://jestec.taylors.edu.my/Vol%2020%20Issue%206%20December%202025/20_6_13.pdf

Tarhi, I., Hab Arrih, R., Hassouni, T., Al Ibrahmi, E., & Sadoune, Z. (2025). A comparative study of digital and traditional methods in introductory physics experiments. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 17(3), 11–20. Retrieved from https://www.iotpe.com/IJTPE/IJTPE-2025/IJTPE-Issue64-Vol17-No3-Sep2025/2-IJTPE-Issue64-Vol17-No3-Sep2025-pp11-20.pdf

Tsivitanidou, O. E., Georgiou, Y., & Ioannou, A. (2021). A learning experience in inquiry-based physics with immersive virtual reality: Student perceptions and an interaction effect between conceptual gains and attitudinal profiles. *Journal of Science Education and Technology, 30*(6), 841–861. https://doi.org/10.1007/s10956-021-09924-1

Velentzas, A., Dimakopoulou, A., & Theodonis, I. (2024). Supporting laboratories in physics education with virtual experiments videos. European Journal of Physics, 45(5), Article 055702. DOI: https://doi.org/10.1088/1361-6404/ad61d2

Villada Castillo J.F., Bohorquez Santiago, L., & Martínez García, S. (2025). Optimization of physics learning through immersive virtual reality: a study on the efficacy of serious games. Applied Sciences (Switzerland), 15(6), Article 3405. DOI: https://doi.org/10.3390/app15063405

Yamaguti M.X., Cruz R.S., & Neto J.T.D.C. (2023). Simulation of caliper and micrometer for teaching and assessment in virtual learning environments. Revista Brasileira de Ensino de Fisica, 45, Article e20230178. DOI: https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0178

Yuksel, T., Walsh, Y., Magana A.J., Nova, N., Krs, V., Ngambeki, I., Berger E.J., & Benes, B. (2019). Visuohaptic experiments: exploring the effects of visual and haptic feedback on students' learning of friction concepts. Computer Applications in Engineering Education, 27(6), 1376–1401. DOI: https://doi.org/10.1002/cae.22157

Çoban, A., & Erol, M. (2025). Impact of arduino based STEM education on cognitive domain level of mechanics and scientific creativity. LUMAT, 12(4), Article 16. DOI: https://doi.org/10.31129/LUMAT.12.4.2231