

## TREN, KESENJANGAN DAN PROSPEK RISET KONVERGENSI TEKNOLOGI IMERSIF DAN AI DALAM PEMBELAJARAN FISIKA: STUDI BIBLIOMETRIK

Vandan Wiliyanti<sup>1</sup>, Siti Sarah<sup>2</sup>, Viyanti Viyanti<sup>3</sup>

UIN Raden Intan Lampung, Indonesia <sup>1,2</sup>

Universitas Lampung, Indonesia<sup>3</sup>

[vandanwiliyanti@radenintan.ac.id](mailto:vandanwiliyanti@radenintan.ac.id)\*

**Abstract:** *Trends, gaps, and research prospects of the convergence of immersive technology and AI in physics learning: a bibliometric study.* The convergence of immersive technology and artificial intelligence (AI) is transforming physics learning into a more interactive and adaptive environment. However, research on this topic has not been systematically mapped. This study analyzes research trends, gaps, and future prospects using a bibliometric approach. Data were collected from the Scopus database covering publications from 2020 to 2026. Following the screening process, 100 articles were analyzed using Bibliometrix-Biblioshiny. The analysis included publication trends, collaboration networks, keyword co-occurrence, thematic mapping, and conceptual structure. The results revealed a substantial increase in publications, with artificial intelligence, virtual reality, immersive technologies, and STEM education emerging as dominant themes. The United States, China, and Indonesia were the leading contributors. The findings indicate considerable opportunities for future research, particularly in adaptive learning and immersive learning environments for physics education. This study provides a scientific overview that may serve as a reference for future research on the convergence of AI and immersive technology in physics learning.

**Keywords:** *artificial intelligence; immersive technologies; physics education; bibliometric analysis; technology convergence*

**Abstrak:** *Tren, kesenjangan, dan prospek riset konvergensi teknologi imersif dan ai dalam pembelajaran fisika: studi bibliometrik.* Perkembangan teknologi imersif dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) mendorong transformasi pembelajaran fisika menjadi lebih interaktif dan adaptif. Namun, perkembangan penelitian mengenai konvergensi kedua teknologi tersebut belum dipetakan secara sistematis. Penelitian ini bertujuan menganalisis tren, kesenjangan, dan prospek riset menggunakan pendekatan bibliometrik. Data diperoleh dari basis data Scopus periode 2020–2026. Setelah proses seleksi, sebanyak 100 artikel dianalisis menggunakan Bibliometrix-Biblioshiny. Analisis meliputi tren publikasi, jaringan kolaborasi, ko-okurensi kata kunci, pemetaan tematik, dan struktur konseptual. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan publikasi yang signifikan dengan dominasi topik *artificial intelligence, virtual reality, immersive technologies*, dan

*STEM education*. Amerika Serikat, Tiongkok, dan Indonesia menjadi kontributor publikasi terbesar. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa integrasi AI dan teknologi imersif dalam pembelajaran fisika masih memiliki peluang riset yang luas, terutama pada pengembangan pembelajaran adaptif dan lingkungan belajar imersif. Temuan ini memberikan pemetaan ilmiah yang dapat menjadi rujukan bagi penelitian selanjutnya.

**Kata kunci:** analisis bibliometrik; konvergensi teknologi; kecerdasan buatan; pembelajaran fisika; teknologi imersif

## PENDAHULUAN

Transformasi digital yang dipicu oleh Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0 telah mendorong pemanfaatan teknologi cerdas dalam berbagai aspek pendidikan, termasuk pembelajaran fisika. Sebagai disiplin ilmu yang banyak mempelajari fenomena abstrak, mikroskopis, dan kompleks, fisika memerlukan pendekatan pembelajaran yang mampu membantu peserta didik memvisualisasikan konsep secara lebih konkret dan interaktif (de Jong et al., 2013; Rutten et al., 2012). Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi imersif seperti *Virtual Reality* (VR), *Augmented Reality* (AR), dan *Mixed Reality* (MR) semakin banyak digunakan untuk meningkatkan pengalaman belajar melalui simulasi dan visualisasi fenomena fisika yang sulit diamati secara langsung (Akçayır & Akçayır, 2017; Hamilton et al., 2020; Wu et al., 2013). Di sisi lain, perkembangan *Artificial Intelligence* (AI) telah membuka peluang baru dalam menciptakan pembelajaran yang adaptif, personal, dan berbasis data. Konvergensi antara teknologi imersif dan AI dipandang sebagai salah satu inovasi paling menjanjikan dalam pendidikan abad ke-21 karena mampu menggabungkan pengalaman belajar yang realistis dengan kemampuan analisis dan personalisasi pembelajaran secara otomatis (Griffiths & Forcier, 2016.; Yang et al., 2024)

Teknologi imersif berkembang sebagai salah satu inovasi pembelajaran yang mampu menjembatani kesenjangan antara konsep-konsep abstrak dalam fisika dengan pengalaman belajar peserta didik yang lebih nyata dan interaktif (Craig & Kay, 2023; Mystakidis, 2022). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan *Virtual Reality* (VR), *Augmented Reality* (AR), dan *Mixed Reality* (MR) mampu

meningkatkan keterlibatan belajar, motivasi, serta pemahaman konseptual melalui penyajian lingkungan belajar yang lebih autentik dan eksploratif. Hamilton et al. (2021) melaporkan bahwa lingkungan pembelajaran berbasis VR memberikan pengalaman belajar yang lebih mendalam dibandingkan pembelajaran konvensional karena memungkinkan peserta didik berinteraksi secara langsung dengan objek dan fenomena virtual. Sejalan dengan temuan tersebut, Makransky dan Lilleholt (2018) menunjukkan bahwa pengalaman belajar imersif dapat meningkatkan rasa kehadiran (*sense of presence*) yang berdampak positif terhadap keterlibatan dan hasil belajar peserta didik. Dalam konteks pembelajaran fisika, teknologi imersif memungkinkan peserta didik melakukan eksperimen virtual, mengamati fenomena yang sulit direalisasikan di laboratorium sekolah, serta memahami representasi konsep-konsep abstrak melalui visualisasi tiga dimensi yang interaktif (de Jong et al., 2013). Teknologi imersif tidak hanya berfungsi sebagai media visualisasi, tetapi juga sebagai lingkungan belajar yang mendukung pembentukan pemahaman konseptual secara lebih mendalam.

*Artificial Intelligence* (AI) menjadi teknologi digital yang berkembang paling pesat dalam beberapa tahun terakhir dan mulai mengubah paradigma pembelajaran di berbagai jenjang pendidikan. Holmes et al. (2022) menjelaskan bahwa AI telah berkembang dari sekadar sistem otomatisasi menjadi teknologi yang mampu mendukung pembelajaran adaptif, tutor cerdas, analisis performa peserta didik, hingga pemberian umpan balik secara real-time. Kemunculan *Generative AI* seperti ChatGPT, Gemini, dan berbagai *Large Language Models* (LLM) semakin memperluas potensi penerapan AI dalam pendidikan (Kasneci et al., 2023).

UNESCO (2023) menjelaskan bahwa AI memiliki kemampuan untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih personal dan responsif terhadap kebutuhan individu peserta didik. Dalam pembelajaran fisika, AI dapat membantu mengidentifikasi miskonsepsi, memberikan rekomendasi materi yang sesuai, serta memfasilitasi proses pemecahan masalah secara lebih efektif (Yang et al., 2024).

Integrasi AI dengan teknologi imersif mulai dipandang sebagai pendekatan baru dalam pengembangan pembelajaran fisika. Integrasi ini memungkinkan terciptanya lingkungan pembelajaran cerdas (*intelligent immersive learning environment*) yang tidak hanya memberikan pengalaman belajar yang realistis, tetapi juga mampu beradaptasi terhadap karakteristik dan kebutuhan peserta didik. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa integrasi AI dan teknologi imersif berpotensi meningkatkan keterlibatan belajar, kemampuan berpikir kritis, serta pemahaman konsep yang lebih mendalam dibandingkan penggunaan salah satu teknologi secara terpisah (Holmes et al., 2019). Oleh karena itu, konvergensi kedua teknologi tersebut mulai menjadi salah satu fokus utama penelitian pendidikan digital di berbagai negara.

Penelitian mengenai AI dan teknologi imersif berkembang sangat cepat, tetapi arah perkembangannya masih menunjukkan kecenderungan dilakukan secara terpisah. Kajian sistematis yang dilakukan oleh Tlili et al. (2023) menunjukkan bahwa penelitian AI dalam pendidikan lebih banyak membahas personalisasi pembelajaran, analisis data pendidikan, dan sistem tutor cerdas. Di sisi lain, penelitian mengenai teknologi imersif lebih banyak berfokus pada pengembangan media pembelajaran berbasis VR dan AR serta pengaruhnya terhadap hasil belajar peserta didik (Bacca-Acosta et al., 2014). Penelitian yang secara khusus mengkaji integrasi atau konvergensi antara teknologi imersif dan AI dalam pembelajaran fisika masih relatif terbatas dan tersebar pada berbagai bidang kajian sehingga belum memberikan gambaran yang komprehensif mengenai perkembangan, arah penelitian, pola kolaborasi ilmiah, maupun tren topik yang berkembang.

Kajian bibliometrik menjadi pendekatan yang penting untuk memetakan perkembangan bidang penelitian yang tumbuh sangat cepat. Beberapa penelitian bibliometrik yang telah dilakukan umumnya berfokus pada AI dalam pendidikan secara umum atau teknologi imersif dalam pendidikan, tanpa secara khusus mengkaji hubungan dan integrasi kedua teknologi tersebut dalam konteks pembelajaran fisika. Padahal, perkembangan publikasi ilmiah yang sangat cepat dalam beberapa tahun terakhir memerlukan pemetaan yang sistematis agar dapat diketahui arah perkembangan penelitian, kesenjangan pengetahuan yang masih ada, serta peluang penelitian di masa mendatang (Moral et al., 2020). Ketiadaan kajian bibliometrik yang secara spesifik memetakan konvergensi teknologi imersif dan AI dalam pembelajaran fisika menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang perlu mendapat perhatian lebih lanjut (Zawacki-richter et al., 2019).

Kesenjangan penelitian tersebut menunjukkan bahwa belum tersedia pemetaan ilmiah yang secara khusus mengkaji konvergensi teknologi imersif dan AI dalam pembelajaran fisika. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya membahas salah satu teknologi secara terpisah atau berfokus pada implementasi praktis tanpa melakukan pemetaan ilmiah terhadap struktur pengetahuan yang berkembang dalam bidang tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa analisis bibliometrik yang secara khusus memetakan tren publikasi, jaringan kolaborasi peneliti, kata kunci dominan, tema penelitian, kesenjangan riset, serta prospek pengembangan penelitian mengenai integrasi teknologi imersif dan AI dalam pembelajaran fisika. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai lanskap penelitian global serta menjadi dasar bagi pengembangan inovasi pembelajaran fisika berbasis teknologi cerdas di masa depan.

Kesenjangan penelitian tersebut menunjukkan bahwa belum tersedia pemetaan ilmiah yang secara khusus mengkaji konvergensi teknologi imersif dan AI dalam pembelajaran fisika. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tren publikasi, pola kolaborasi penulis dan institusi, perkembangan

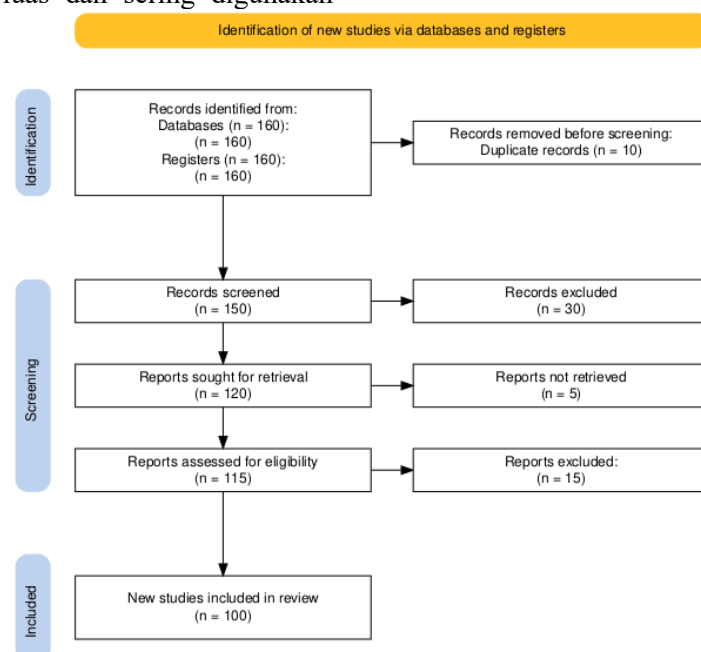
kata kunci penelitian, tema-tema utama yang berkembang, kesenjangan penelitian yang masih terbuka, serta prospek arah penelitian di masa mendatang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam bentuk pemetaan ilmiah (*scientific mapping*) mengenai perkembangan, kesenjangan, dan prospek riset konvergensi teknologi imersif dan kecerdasan buatan dalam pembelajaran fisika. Temuan penelitian dapat menjadi rujukan bagi peneliti untuk mengidentifikasi peluang penelitian lanjutan serta mendukung pengembangan inovasi pembelajaran fisika berbasis teknologi digital.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode analisis bibliometrik, yaitu pendekatan kuantitatif yang digunakan untuk menganalisis perkembangan publikasi ilmiah, tren penelitian, pola kolaborasi, serta struktur pengetahuan pada suatu bidang kajian tertentu (Passas, 2024). Analisis bibliometrik dalam penelitian ini difokuskan pada kajian mengenai konvergensi teknologi imersif dan AI dalam pembelajaran fisika.

Data penelitian diperoleh dari basis data Scopus karena memiliki cakupan publikasi internasional yang luas dan sering digunakan

dalam penelitian bibliometrik. Dokumen yang dianalisis dalam penelitian ini dibatasi pada publikasi yang terbit pada periode 2020–2026. Rentang waktu tersebut dipilih untuk menggambarkan perkembangan terkini penelitian mengenai konvergensi teknologi imersif dan kecerdasan buatan dalam pembelajaran fisika. Pencarian data dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci yang berkaitan dengan teknologi imersif, kecerdasan buatan, dan pembelajaran fisika, seperti *Virtual Reality*, *Augmented Reality*, *Mixed Reality*, *immersive technology*, *Artificial Intelligence*, *machine learning*, *adaptive learning*, *physics education*, dan *physics learning*. Untuk memastikan bahwa dokumen yang dianalisis relevan dengan tujuan penelitian, proses seleksi artikel dilakukan secara sistematis melalui tahapan identifikasi, *screening*, *eligibility*, dan *inclusion* yang diadaptasi dari pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Tahapan ini digunakan untuk menyaring dokumen yang diperoleh dari basis data Scopus sehingga hanya artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan sesuai dengan fokus penelitian yang digunakan dalam analisis bibliometrik. Alur proses pencarian dan seleksi artikel berdasarkan pedoman PRISMA disajikan pada Gambar 1.

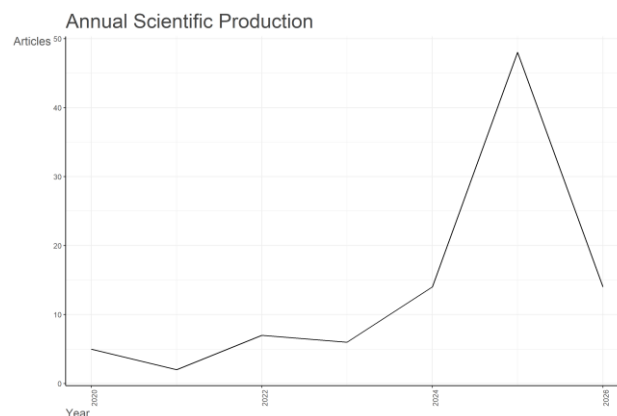


Gambar 1. Diagram alur PRISMA

Berdasarkan proses pencarian tersebut diperoleh sebanyak 100 dokumen yang relevan dan sesuai dengan fokus penelitian. Dalam penelitian ini, perangkat lunak yang digunakan adalah RStudio dengan package Bibliometrix/Biblioshiny. RStudio digunakan untuk melakukan analisis deskriptif, pemetaan ilmiah (*science mapping*), analisis struktur konseptual, dan identifikasi tren penelitian (Dege & Brüggemann, 2023). Penelitian ini dilakukan melalui dua tahapan utama, yaitu pengumpulan data dan analisis bibliometrik. Data dikumpulkan dari basis data Scopus menggunakan kata kunci yang relevan dengan topik penelitian, kemudian diekspor dalam format CSV. Data dianalisis menggunakan package Bibliometrix pada perangkat lunak RStudio melalui Biblioshiny. Analisis meliputi evaluasi kinerja publikasi (*performance analysis*) dan pemetaan ilmiah (*science mapping*), yang mencakup analisis tren publikasi, sumber dan afiliasi paling produktif, jaringan kolaborasi, analisis kata kunci, struktur konseptual, serta perkembangan tema penelitian.

Analisis data dilakukan melalui beberapa fitur pada Biblioshiny, meliputi *Document*

*Analysis, Conceptual Structure, Social Structure, Intellectual Structure, Trend Topics, dan Word Cloud*. Analisis tersebut digunakan untuk mengidentifikasi perkembangan jumlah publikasi, penulis dan jurnal paling produktif, negara dan institusi dominan, jaringan kolaborasi ilmiah, kata kunci yang paling sering digunakan, serta tema-tema penelitian yang berkembang. Pencarian literatur menggunakan kata kunci *immersive technology, artificial intelligence, virtual reality, augmented reality, dan physics learning* pada basis data Scopus untuk periode 2020–2026 menghasilkan 100 dokumen yang memenuhi kriteria penelitian. Seluruh dokumen kemudian dianalisis menggunakan RStudio dengan package Bibliometrix/Biblioshiny untuk mengidentifikasi perkembangan penelitian mengenai konvergensi teknologi imersif dan kecerdasan buatan dalam pembelajaran fisika. Analisis ini menghasilkan berbagai informasi, termasuk tren publikasi tahunan, hubungan antarkata kunci, serta perkembangan tema penelitian. Perkembangan jumlah publikasi ilmiah selama periode 2020–2026 disajikan pada Gambar 2.

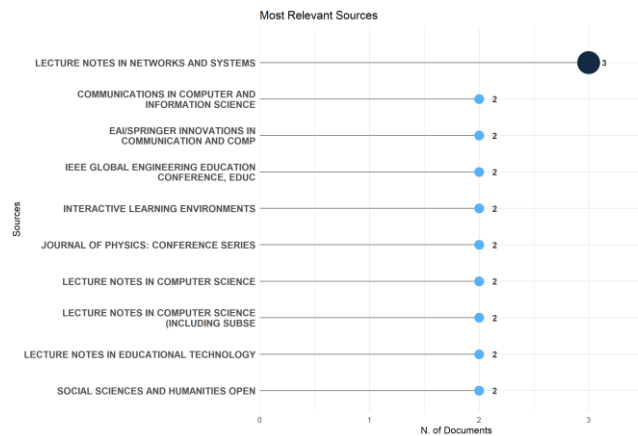


**Gambar 2. Annual Scientific Production**

Gambar 2 menunjukkan bahwa jumlah publikasi terkait konvergensi teknologi imersif dan kecerdasan buatan dalam pembelajaran fisika mengalami tren yang cenderung meningkat selama periode 2020–2026 meskipun bersifat fluktuatif. Jumlah publikasi relatif rendah pada periode 2020–2023 hanya sekitar 20 publikasi, kemudian meningkat pada tahun 2024 dan mencapai puncaknya pada tahun 2025 dengan 48 publikasi.

Sementara itu, penurunan pada tahun 2026 kemungkinan dipengaruhi oleh proses indeksasi data yang belum lengkap. Temuan ini menunjukkan bahwa topik penelitian ini berkembang pesat dan semakin mendapat perhatian dalam bidang pembelajaran fisika.

Untuk mengidentifikasi sumber publikasi yang paling produktif dalam bidang kajian ini, dilakukan analisis *Most Relevant Sources*. Hasil analisis tersebut disajikan pada Gambar 3.

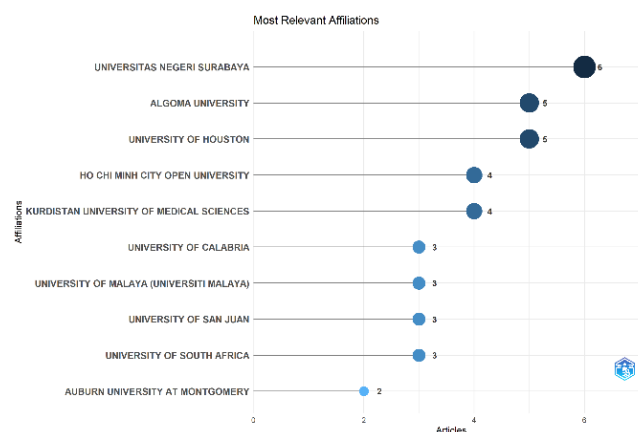


**Gambar 3. Most Relevant Sources**

Pada analisis *Most Relevant Sources*, sumber publikasi terbanyak adalah Lecture Notes in Networks and Systems dengan 3 dokumen. Beberapa sumber lain seperti Interactive Learning Environments, Journal of Physics: Conference Series, dan IEEE EDUCON masing-masing memiliki 2 dokumen. Temuan ini menunjukkan bahwa penelitian banyak dipublikasikan pada jurnal dan prosiding yang

berfokus pada teknologi pendidikan dan inovasi pembelajaran digital.

Analisis produktivitas institusi dilakukan untuk mengetahui afiliasi yang paling aktif mempublikasikan penelitian mengenai konvergensi teknologi imersif dan kecerdasan buatan dalam pembelajaran fisika. Hasil analisis disajikan pada Gambar 4.



**Gambar 4. Most Relevant Affiliations**

Berdasarkan hasil analisis *Most Relevant Affiliations*, Universitas Negeri Surabaya menjadi institusi paling produktif dengan 6 publikasi. Selanjutnya, Algoma University dan University of Houston masing-masing memiliki 5 publikasi. Hasil ini menunjukkan bahwa penelitian mengenai konvergensi teknologi imersif dan kecerdasan buatan dalam pembelajaran fisika berkembang di berbagai

institusi internasional dan didominasi oleh universitas yang aktif dalam penelitian teknologi pendidikan.

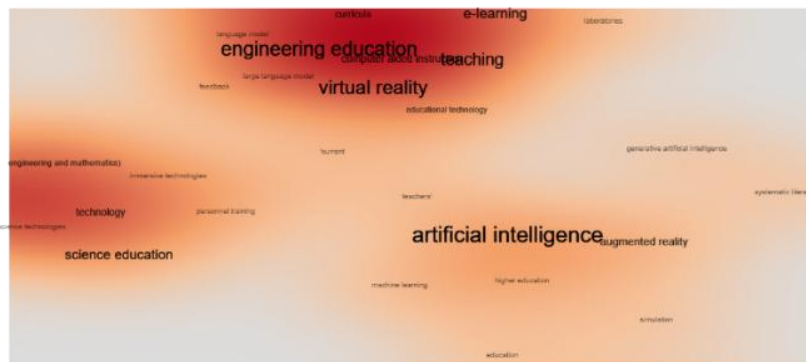
Distribusi negara asal penulis korespondensi dianalisis untuk menggambarkan kontribusi masing-masing negara terhadap perkembangan penelitian. Hasil analisis tersebut disajikan pada Gambar 5.



*reality, e-learning, dan science education.* Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan penelitian pendidikan saat ini banyak berfokus pada integrasi AI dan teknologi imersif dalam proses pembelajaran. Selain itu, keterhubungan antara *physics education, STEM education, dan virtual reality* menunjukkan bahwa teknologi imersif mulai diterapkan dalam pembelajaran

fisika untuk mendukung pemahaman konsep secara lebih interaktif dan kontekstual.

Selain hubungan antarkata kunci, analisis kepadatan (*Density Visualization*) dilakukan untuk mengetahui topik-topik yang paling dominan dalam bidang penelitian ini. Hasil visualisasi kepadatan disajikan pada Gambar 7.

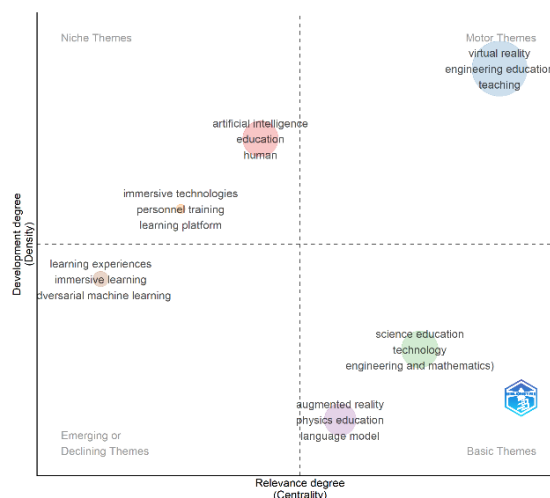


**Gambar 7. Density Visualization**

Visualisasi kepadatan menunjukkan bahwa area penelitian paling padat terpusat pada kata kunci *Artificial Intelligence, virtual reality, engineering education, dan e-learning.* Kepadatan warna yang lebih tinggi menandakan bahwa topik tersebut memiliki jumlah publikasi dan keterkaitan penelitian yang lebih besar dibandingkan topik lainnya. Sementara itu, topik seperti *physics education dan STEM education* masih berada pada area dengan kepadatan yang

lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian mengenai integrasi AI dan teknologi imersif secara khusus dalam pembelajaran fisika masih belum banyak dikembangkan dan memiliki peluang riset yang cukup besar di masa mendatang.

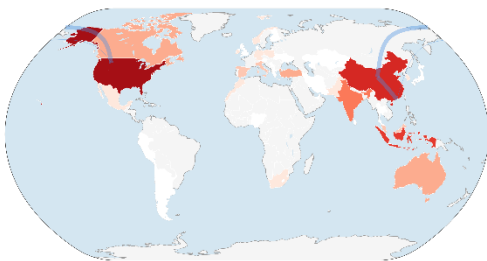
Untuk mengidentifikasi posisi dan tingkat perkembangan setiap tema penelitian, dilakukan analisis *Thematic Map*. Hasil pemetaan tema tersebut disajikan pada Gambar 8.



**Gambar 8. Thematic Map**

Hasil *thematic map* menunjukkan bahwa tema *virtual reality, engineering education*, dan *teaching* berada pada kuadran *motor themes*, yang menandakan tema-tema tersebut menjadi penggerak utama perkembangan riset. Tema *science education, technology, STEM, augmented reality, physics education*, dan *language model* berada pada *basic themes* yang menunjukkan keterkaitan luas dengan bidang penelitian. Sementara itu, tema *Artificial Intelligence, education*, dan *human* termasuk *niche themes*, sedangkan *immersive learning, learning experiences, immersive technologies*, dan *learning platform* berada pada kategori *emerging or declining themes*. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa riset berkembang menuju integrasi teknologi imersif, AI, dan pembelajaran berbasis STEM.

Pola kolaborasi internasional dianalisis melalui *Country Collaboration Map* untuk menggambarkan jaringan kerja sama antarnegara dalam penelitian mengenai konvergensi teknologi imersif dan kecerdasan buatan dalam pembelajaran fisika. Hasil analisis tersebut disajikan pada Gambar 9.



**Gambar 9. Country Collaboration Map**

Kolaborasi antarnegara menunjukkan bahwa penelitian mengenai konvergensi teknologi imersif dan kecerdasan buatan dalam pembelajaran fisika telah melibatkan berbagai negara dengan tingkat kolaborasi yang beragam. Pola kolaborasi didominasi oleh negara-negara di kawasan Asia dan Amerika Utara, dengan hubungan kerja sama yang relatif lebih kuat dibandingkan kawasan lainnya. Tiongkok menunjukkan peran paling dominan dalam jaringan kolaborasi internasional, diikuti oleh Amerika Serikat dan Indonesia. Beberapa hubungan kolaborasi yang paling menonjol terlihat antara Tiongkok–Hong Kong serta

Amerika Serikat–Tiongkok, yang menunjukkan adanya pusat kolaborasi riset pada negara-negara dengan produktivitas publikasi tinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa perkembangan riset dalam bidang ini semakin bersifat global dan didorong oleh kolaborasi lintas negara.

## PEMBAHASAN

Hasil analisis bibliometrik menunjukkan bahwa penelitian mengenai konvergensi teknologi imersif dan kecerdasan buatan dalam pembelajaran fisika mengalami perkembangan yang signifikan selama periode 2020–2026. Peningkatan jumlah publikasi pada periode tersebut menunjukkan bahwa integrasi AI dan teknologi imersif telah berkembang menjadi salah satu fokus utama dalam inovasi pembelajaran fisika. Lonjakan publikasi yang terjadi terutama setelah tahun 2022 dapat dikaitkan dengan semakin pesatnya perkembangan kecerdasan buatan generatif, meningkatnya akses terhadap perangkat *Virtual Reality (VR)*, *Augmented Reality (AR)*, dan *Mixed Reality (MR)*, serta percepatan transformasi digital dalam dunia pendidikan pascapandemi. Perubahan tersebut mendorong peneliti untuk mengembangkan model pembelajaran yang tidak hanya mampu memvisualisasikan konsep-konsep fisika yang abstrak, tetapi juga menyediakan pengalaman belajar yang adaptif, interaktif, dan berpusat pada peserta didik. Temuan ini menunjukkan bahwa perkembangan penelitian tidak sekadar mencerminkan peningkatan jumlah publikasi, tetapi juga mengindikasikan terjadinya pergeseran paradigma menuju pembelajaran fisika berbasis teknologi cerdas yang mampu mengintegrasikan visualisasi, simulasi, dan personalisasi pembelajaran. Temuan tersebut sejalan dengan konsep transformasi pendidikan pada era Society 5.0 yang menempatkan teknologi digital sebagai sarana untuk meningkatkan kualitas pembelajaran tanpa mengabaikan kebutuhan dan karakteristik peserta didik (Fukuyama, 2018; Holmes et al., 2019; UNESCO, 2023).

Dominasi publikasi yang berasal dari jurnal dan prosiding bertema teknologi pendidikan menunjukkan bahwa penelitian mengenai integrasi AI dan teknologi imersif

berkembang sebagai bidang yang bersifat multidisipliner. Hal ini mengindikasikan bahwa inovasi pembelajaran fisika tidak lagi hanya menjadi perhatian bidang pendidikan fisika, tetapi juga melibatkan ilmu komputer, rekayasa perangkat lunak, kecerdasan buatan, dan teknologi pendidikan. Tingginya proporsi publikasi pada prosiding konferensi memperlihatkan bahwa bidang ini masih berada pada fase perkembangan yang dinamis, ditandai dengan banyaknya eksplorasi konsep, pengembangan prototipe, dan pengujian awal berbagai teknologi pembelajaran. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa konvergensi AI dan teknologi imersif masih terus berkembang sehingga peluang untuk menghasilkan inovasi baru masih sangat terbuka. Dengan demikian, penelitian di bidang ini tidak hanya berorientasi pada pengembangan media pembelajaran, tetapi juga pada pembangunan ekosistem pembelajaran digital yang mampu mengintegrasikan kecerdasan buatan, simulasi virtual, dan analisis data pembelajaran secara berkelanjutan (Craig & Kay, 2023; Mystakidis, 2022).

Produktivitas institusi menunjukkan bahwa pengembangan penelitian mengenai konvergensi AI dan teknologi imersif tidak hanya didominasi oleh universitas di negara maju, tetapi juga mulai berkembang pada perguruan tinggi di Indonesia. Universitas Negeri Surabaya sebagai institusi dengan jumlah publikasi tertinggi menunjukkan meningkatnya perhatian akademisi Indonesia terhadap pemanfaatan teknologi digital dalam pembelajaran fisika. Kondisi ini mencerminkan meningkatnya kapasitas penelitian nasional dalam merespons transformasi pendidikan berbasis teknologi. Di sisi lain, keberadaan Algoma University dan University of Houston sebagai institusi yang juga produktif menunjukkan bahwa pengembangan bidang ini didukung oleh kolaborasi lintas disiplin yang melibatkan pendidikan, ilmu komputer, dan teknologi pendidikan. Temuan ini memberikan indikasi bahwa keberhasilan pengembangan pembelajaran fisika berbasis AI dan teknologi imersif sangat dipengaruhi oleh ekosistem penelitian yang mendukung kolaborasi multidisipliner, ketersediaan infrastruktur digital, dan budaya riset yang kuat. Oleh karena

itu, peningkatan kapasitas penelitian di perguruan tinggi Indonesia menjadi faktor penting dalam menghasilkan inovasi pembelajaran fisika yang relevan dengan kebutuhan pendidikan nasional (UNESCO, 2023; Zawacki-Richter et al., 2019).

Analisis negara korespondensi dan peta kolaborasi internasional menunjukkan bahwa Amerika Serikat, Tiongkok, dan Indonesia merupakan aktor penting dalam perkembangan penelitian mengenai konvergensi AI dan teknologi imersif. Dominasi Amerika Serikat dan Tiongkok dapat dipahami karena kedua negara memiliki investasi yang besar dalam pengembangan kecerdasan buatan, teknologi digital, dan pendidikan STEM. Sementara itu, meningkatnya kontribusi Indonesia menunjukkan bahwa penelitian mengenai pembelajaran fisika berbasis teknologi mulai memperoleh perhatian yang lebih besar di tingkat nasional. Adanya *Multiple Country Publications* (MCP) memperlihatkan bahwa perkembangan bidang ini semakin didorong oleh kolaborasi internasional yang memungkinkan pertukaran pengetahuan, sumber daya, dan pengalaman penelitian. Kolaborasi yang kuat antara Tiongkok, Hong Kong, dan Amerika Serikat mengindikasikan bahwa pusat-pusat penelitian global berperan sebagai penggerak utama perkembangan bidang ini. Namun demikian, masih terbatasnya keterlibatan beberapa negara berkembang menunjukkan adanya peluang untuk memperluas jaringan kolaborasi internasional sehingga inovasi pembelajaran fisika dapat berkembang secara lebih merata (Aria & Cuccurullo, 2017; Donthu et al., 2021).

Analisis *network visualization* memperlihatkan bahwa AI menjadi simpul utama yang menghubungkan berbagai tema penelitian, seperti *Virtual Reality*, *augmented reality*, *e-learning*, *science education*, dan *physics education*. Posisi sentral AI menunjukkan bahwa teknologi ini telah berkembang dari sekadar alat bantu pembelajaran menjadi komponen utama dalam pembangunan lingkungan belajar digital yang adaptif. Keterhubungan AI dengan teknologi imersif menunjukkan adanya perubahan orientasi penelitian dari penggunaan media digital menuju pengembangan sistem

pembelajaran cerdas yang mampu menyesuaikan pengalaman belajar dengan karakteristik peserta didik. Dalam konteks pembelajaran fisika, integrasi AI dan teknologi imersif memungkinkan visualisasi konsep-konsep abstrak melalui simulasi tiga dimensi yang dipadukan dengan umpan balik otomatis, rekomendasi aktivitas belajar, dan penyesuaian tingkat kesulitan materi secara adaptif. Temuan ini memperluas hasil penelitian sebelumnya yang umumnya membahas AI dan teknologi imersif secara terpisah, serta menunjukkan bahwa konvergensi kedua teknologi tersebut mulai menjadi paradigma baru dalam pengembangan pembelajaran fisika (Holmes et al., 2019; Hamilton et al., 2020; Craig & Kay, 2023).

Hasil *density visualization* menunjukkan bahwa tema AI, *Virtual Reality*, *engineering education*, dan *e-learning* memiliki tingkat kepadatan penelitian yang tinggi, sedangkan *physics education* masih berada pada tingkat kepadatan yang relatif rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa implementasi AI dan teknologi imersif dalam pembelajaran fisika masih belum berkembang sepesat penerapannya pada bidang pendidikan secara umum. Salah satu penyebabnya adalah karakteristik materi fisika yang memerlukan visualisasi ilmiah yang akurat, validasi konseptual yang ketat, dan pengembangan simulasi yang sesuai dengan prinsip-prinsip fisika. Selain itu, pengembangan media pembelajaran berbasis AI dan teknologi imersif membutuhkan kolaborasi antara ahli pendidikan fisika, pengembang perangkat lunak, dan pakar kecerdasan buatan, yang dalam praktiknya masih relatif terbatas. Tantangan lain berkaitan dengan kebutuhan infrastruktur, biaya pengembangan perangkat, dan kesiapan sumber daya manusia dalam mengimplementasikan teknologi tersebut. Oleh karena itu, rendahnya kepadatan penelitian pada tema *physics education* tidak hanya menunjukkan adanya kesenjangan penelitian, tetapi juga membuka peluang yang besar untuk pengembangan laboratorium virtual berbasis AI, *adaptive immersive learning environment*, *learning analytics*, dan pembelajaran fisika yang dipersonalisasi.

Analisis *thematic map* menunjukkan bahwa *Virtual Reality*, *engineering education*,

dan *teaching* telah berkembang menjadi motor themes, yang berarti tema-tema tersebut menjadi penggerak utama perkembangan penelitian. Sebaliknya, *physics education*, *augmented reality*, *STEM*, dan *language model* masih berada pada kategori *basic themes*, yang menunjukkan bahwa tema-tema tersebut memiliki keterkaitan yang luas tetapi masih memerlukan pendalaman penelitian. Posisi *physics education* sebagai *basic theme* mengindikasikan bahwa pembelajaran fisika telah menjadi bagian penting dalam perkembangan AI dan teknologi imersif, namun fokus penelitian masih lebih banyak diarahkan pada pengembangan teknologi dibandingkan evaluasi dampaknya terhadap hasil belajar. Kondisi ini menunjukkan perlunya penelitian yang menguji efektivitas integrasi AI dan teknologi imersif terhadap pemahaman konsep, keterampilan berpikir kritis, kemampuan pemecahan masalah, serta literasi sains peserta didik. Selain itu, munculnya tema *immersive learning* dan *learning platform* sebagai *emerging themes* menunjukkan adanya peluang penelitian baru yang berorientasi pada pengembangan lingkungan belajar cerdas berbasis AI generatif dan teknologi imersif dalam pembelajaran fisika (Holmes et al., 2019; Tlili et al., 2023).

Hasil penelitian ini memberikan implikasi penting bagi pengembangan pembelajaran fisika di era transformasi digital. Konvergensi AI dan teknologi imersif menunjukkan bahwa inovasi pembelajaran tidak lagi hanya berorientasi pada penggunaan media digital, tetapi mengarah pada pembangunan ekosistem pembelajaran yang mampu menghadirkan pengalaman belajar adaptif, interaktif, dan kontekstual. Integrasi kedua teknologi tersebut berpotensi mendukung pengembangan laboratorium virtual cerdas, simulasi eksperimen berbasis AI, tutor virtual, serta sistem pembelajaran yang mampu menyesuaikan materi dengan karakteristik peserta didik. Bagi peneliti, hasil bibliometrik ini memberikan gambaran mengenai tema-tema penelitian yang telah berkembang maupun yang masih memiliki peluang untuk dikembangkan. Sementara itu, bagi guru dan pengembang kurikulum, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam merancang pembelajaran fisika yang memanfaatkan AI dan teknologi imersif secara lebih efektif sehingga mampu meningkatkan

pemahaman konseptual, motivasi belajar, serta keterampilan berpikir ilmiah peserta didik.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan basis data Scopus sehingga belum mencakup seluruh publikasi yang tersedia pada basis data lain. Selain itu, hasil analisis bibliometrik sangat dipengaruhi oleh strategi pencarian, pemilihan kata kunci, dan rentang waktu publikasi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan memanfaatkan lebih dari satu basis data, seperti *Web of Science* atau *Dimensions*, serta mengombinasikan analisis bibliometrik dengan *systematic literature review* agar diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai perkembangan penelitian AI dan teknologi imersif dalam pembelajaran fisika.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kajian mengenai konvergensi teknologi imersif dan kecerdasan buatan dalam pembelajaran fisika mengalami perkembangan yang signifikan selama periode 2020–2026. Perkembangan tersebut ditandai dengan meningkatnya tren publikasi, semakin luasnya kolaborasi internasional, serta dominasi tema penelitian yang berkaitan dengan *artificial intelligence*, *virtual reality*, *immersive technologies*, dan *STEM education*. Hasil analisis juga mengungkap bahwa integrasi teknologi imersif dan AI dalam pembelajaran fisika masih relatif terbatas dibandingkan bidang pendidikan lainnya, sehingga masih tersedia peluang penelitian yang luas. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa pemetaan ilmiah mengenai perkembangan, struktur pengetahuan, kesenjangan, dan arah penelitian konvergensi teknologi imersif dan AI dalam pembelajaran fisika.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan laboratorium virtual cerdas, pembelajaran fisika adaptif berbasis AI, pemanfaatan AI generatif dalam pembelajaran fisika, serta mengevaluasi dampaknya terhadap pemahaman konsep, kemampuan berpikir kritis, dan keterampilan pemecahan masalah peserta didik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational research review*, 20, 1–11.  
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Bacca-Acosta, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk, D. (2014). Augmented reality trends in education: A systematic review of research and applications. *Educational Technology and Society*, 17, 133–149.
- Craig, C., & Kay, R. (2023). A systematic overview of reviews of the use of immersive virtual reality in higher education. *Higher Learning Research Communications*, 13, 42–60.  
<https://doi.org/10.18870/hlrc.v13i2.1430>
- de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305–308.  
<https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Dege, D., & Brüggemann, P. (2023). Marketing analytics with RStudio: A software review marketing analytics with RStudio: a software review. *Palgrave Macmillan*.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Fukuyama, M. (2018). Society 5.0: Aiming for a new human-centered society. *Japan spotlight*, 27(5), 47–50.
- Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). Intelligence unleashed. *An argument for AI in Education*, 18(2), 22–43.
- Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E., & Wilson, C. (2020). Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *Journal of Computers in Education*, 8.  
<https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence In Education Promises and Implications for Teaching and Learning*. The

- Center for Curriculum Redesign.
- Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ... Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Makransky, G., & Lilleholt, L. (2018). A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education. *Educational Technology Research and Development*, 66. <https://doi.org/10.1007/s11423-018-9581-2>
- Moral-Muñoz, J. A., & Herrera-Viedma, E. (2020). Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. *Profesional de La Información*, 29(1). <https://doi.org/10.3145/epi.2020.ene.03>
- Mystakidis, S. (2022). Metaverse. *Encyclopedia*, 2(1), 486-497.
- Passas, I. (2024). Bibliometric analysis: The main steps. *Encyclopedia*, 4, 1014-1025. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia4020065>
- Rutten, N., van Joolingen, W., & Veen, J. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58, 136-153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Tlili, A., Shehata, B., Adarkwah, M. A., Bozkurt, A., & Hickey, D. T. (2023). What if the devil is my guardian angel: ChatGPT as a case study of using chatbots in education. *Smart Learning Environments*. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00237-x>
- UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization,.
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>
- Yang, C., Zhang, J., Hu, Y., Yang, X., Chen, M., Shan, M., & Li, L. (2024). The impact of virtual reality on practical skills for students in science and engineering education: a meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 11(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00487-2>
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education—where are the educators?. *International journal of educational technology in higher education*, 16(1), 39.