REVOLUSI PEMBELAJARAN SAINS DIGITAL: ANALISIS BIBLIOMETRIK TREN PENGEMBANGAN MEDIA AR-VR DALAM IPA

Naufal Muhammad Kautsar[1], Haryono[2]

[1] Pengembangan Kurikulum, Fakultas Pendidikan dan Psikologi, Universitas Negeri Semarang, 50229, Universitas Negeri Semarang
naufalmk@students.unnes.ac.id

[2] Pengembangan Kurikulum, Fakultas Pendidikan dan Psikologi, Universitas Negeri Semarang, 50229, Universitas Negeri Semarang
fransharyono@mail.unnes.ac.id

Diterbitkan tanggal: 15 Februari 2026

Abstrak Perkembangan teknologi imersif seperti *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR) telah menciptakan peluang baru untuk meningkatkan kualitas pembelajaran sains di abad ke-21. Namun, arah dan tren penelitian mengenai penerapan AR-VR dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) masih perlu dipetakan secara komprehensif. Penelitian ini bertujuan menganalisis tren, arah, serta potensi pengembangan media pembelajaran IPA berbasis AR-VR menggunakan pendekatan bibliometrik. Metode yang digunakan adalah analisis bibliometrik dengan menelusuri metadata publikasi ilmiah untuk mengidentifikasi pola sitasi, kolaborasi penulis, dan kata kunci yang sering muncul. Data diperoleh dari 500 artikel ilmiah terindeks Scopus dan Google Scholar periode 2013–2024. Analisis dilakukan menggunakan VOSviewer untuk memvisualisasikan jaringan penelitian, peta tematik, serta hubungan antar topik yang berkembang secara global. Hasil menunjukkan peningkatan publikasi sebesar 18% per tahun, dengan topik dominan terkait pengembangan media interaktif, peningkatan keterlibatan belajar, dan pengalaman imersif. Temuan ini menunjukkan bahwa penelitian AR-VR berkontribusi signifikan terhadap pembelajaran IPA yang lebih kontekstual dan partisipatif. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai perkembangan global AR-VR dalam pendidikan sains serta menawarkan arah strategis bagi inovasi media pembelajaran yang relevan dengan karakteristik generasi digital.

Kata Kunci: analisis bibliometrik, AR-VR, media pembelajaran, pendidikan IPA, tren penelitian.

Abstract *The development of immersive technologies such as Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) has opened new opportunities to improve the quality of science education in the 21st century. However, research trends and directions related to AR-VR applications in Natural Science (IPA) learning still need to be comprehensively mapped. This study aims to analyze the trends, directions, and potential development of AR-VR–based learning media in science education using a bibliometric approach. The research employed a bibliometric method, which involved analyzing metadata from 500 scientific articles indexed in Scopus and Google Scholar from 2013 to 2024. The analysis was conducted using VOSviewer to explore publication patterns, author collaborations, and thematic maps representing global research focuses. The results show an annual increase of about 18% in publications, with dominant themes centered on interactive media development, learning engagement, and immersive experiences. These findings highlight the significant role of AR-VR research in promoting contextual and participatory science learning. Overall, this study provides a comprehensive overview of the global development of AR-VR in science education and offers strategic insights for future innovations in learning media aligned with the digital generation's characteristics.*

Keywords: bibliometric analysis, AR-VR, learning media, science education, research trends.

Pendahuluan

Pemanfaatan teknologi imersif dalam pembelajaran, khususnya *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR), memiliki dasar teoritis yang kuat dalam berbagai pendekatan belajar modern. Salah satu landasan utamanya adalah teori konstruktivisme, yang memandang bahwa pengetahuan

dibangun secara aktif melalui pengalaman, eksplorasi, dan interaksi langsung dengan lingkungan. Teknologi AR dan VR memberikan kesempatan bagi peserta didik untuk membangun pemahamannya sendiri melalui pengalaman belajar yang kaya dan kontekstual. (Wei et al., 2025) menyatakan bahwa sebagian besar penelitian AR-VR dalam pendidikan sains bersandar pada konstruktivisme karena teknologi imersif memungkinkan pembelajaran berbasis *inquiry* dan eksplorasi mandiri dalam memahami konsep-konsep abstrak. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa lingkungan imersif dapat meningkatkan keterlibatan dan pemahaman konsep melalui pengalaman belajar yang lebih berorientasi penemuan.

Selain konstruktivisme, penggunaan AR-VR dalam pembelajaran sains juga sangat terkait dengan *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML) yang dikembangkan oleh Mayer. Teori ini menekankan peran visualisasi, integrasi modalitas, dan pengurangan beban kognitif dalam proses belajar. Teknologi AR-VR yang menggabungkan teks, suara, objek 3D, dan animasi memiliki potensi besar untuk memperkuat pembelajaran apabila dirancang sesuai prinsip CTML. (Çeken & Taşkın, 2022) dalam ulasan literaturnya menegaskan bahwa beberapa prinsip CTML, seperti *signaling, modality, dan redundancy*, telah diterapkan dalam media VR dan terbukti membantu mengurangi beban kognitif peserta didik. Namun, penelitian serupa dalam konteks AR masih relatif terbatas, menunjukkan perlunya perluasan desain yang lebih teoritis dalam media imersif. Hasil penelitian lain oleh (Rahim et al., 2023) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis AR yang menerapkan lima prinsip CTML mampu meningkatkan kualitas pemahaman konsep siswa pada topik fisika, terutama melalui visualisasi objek abstrak yang sebelumnya sulit divisualisasikan.

Pada konteks VR, teori *presence* atau *telepresence* juga menjadi pijakan penting. Teori ini menjelaskan sejauh mana peserta didik merasa "hadir" di dalam lingkungan virtual sehingga tercipta pengalaman belajar yang mendalam. Penelitian oleh tim (Austermann et al., 2025) menemukan bahwa peserta didik yang menggunakan VR melalui headset khusus merasakan tingkat *presence* yang jauh lebih tinggi dibandingkan mereka yang menggunakan perangkat layar datar seperti tablet. Tingkat kehadiran ini berpengaruh langsung pada motivasi belajar, fokus, dan kedalaman pemahaman konsep. Temuan tersebut sejalan dengan laporan kajian sistematis oleh (Wei et al., 2025) yang menekankan bahwa *presence* merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan pembelajaran berbasis VR, terutama dalam konteks pendidikan sains.

Secara umum, kajian teori yang berkembang menunjukkan bahwa keberhasilan penggunaan AR-VR dalam pembelajaran bergantung pada integrasi teori belajar ke dalam desain medianya. Beberapa tinjauan literatur internasional menyimpulkan bahwa desain media pembelajaran VR yang mengintegrasikan teori konstruktivisme, prinsip *multimedia learning* (CTML), dan *presence* cenderung menghasilkan pengalaman belajar yang lebih mendalam dan bermakna dibandingkan dengan media imersif yang dikembangkan tanpa landasan teori. Misalnya, *Designing for collaborative learning in immersive VR* (2024) menyoroti pentingnya keterlibatan teoritik dalam mendesain interaksi sosial, imersi, dan aspek kehadiran dalam VR

Namun, meskipun berbagai teori telah menjadi landasan penggunaan AR-VR dalam pembelajaran, peta komprehensif mengenai arah perkembangan penelitian selama satu dekade terakhir masih belum tergambar secara jelas. Pada titik inilah analisis bibliometrik memiliki peran penting. Bibliometrik digunakan untuk memetakan literatur ilmiah secara sistematis berdasarkan data publikasi, sitasi, kata kunci, dan jejaring kolaborasi, sehingga dapat memberikan gambaran utuh mengenai dinamika suatu bidang ilmu. Menurut (Aria & Cuccurullo, 2017) bibliometrik mampu mengungkap tren penelitian, mengidentifikasi peneliti atau institusi yang paling berpengaruh, hingga menemukan celah penelitian yang belum banyak dikaji. Dalam konteks penelitian AR-VR, pendekatan ini sangat relevan karena perkembangan teknologi sangat cepat dan jumlah publikasi bertambah secara signifikan setiap tahunnya.

Fungsi utama pendekatan bibliometrik dalam penelitian ini adalah:

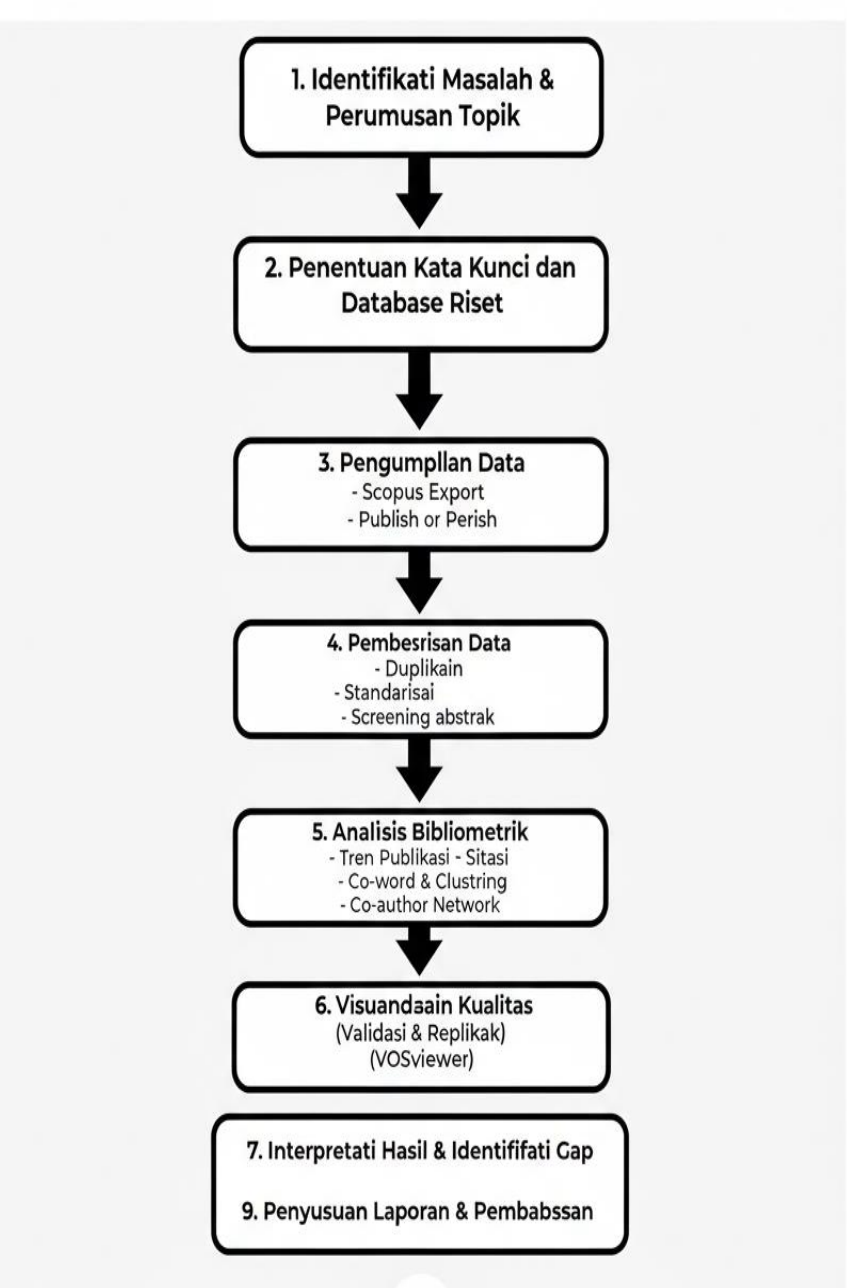
1. Mengidentifikasi tren perkembangan penelitian AR-VR dalam pembelajaran IPA, baik dari sisi jumlah publikasi maupun perubahan fokus topik.

2. Menganalisis hubungan antarkonsep atau topik penelitian melalui pemetaan kata kunci untuk mengetahui kluster atau kelompok tema dominan.
3. Menelusuri pola kolaborasi penulis dan institusi, sehingga terlihat jaringan peneliti yang paling sering berkontribusi.
4. Mengungkap gap penelitian, yaitu area yang masih sedikit diteliti atau memiliki potensi pengembangan besar di masa depan.Memberikan dasar empirik bagi pengembangan media pembelajaran, karena peta bibliometrik memperlihatkan kecenderungan teori dan metodologi yang digunakan peneliti global.

Dengan demikian, bibliometrik tidak hanya berfungsi sebagai alat pemetaan literatur, tetapi juga sebagai dasar argumentatif yang kuat untuk memahami bagaimana teori konstruktivisme, CTML, dan presence diimplementasikan dalam desain AR-VR. Pendekatan ini membantu menempatkan penelitian dalam konteks global serta memberikan fondasi teoretis dan empiris yang solid bagi pengembangan inovasi pembelajaran imersif di bidang IPA.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik untuk menelusuri perkembangan studi mengenai pemanfaatan teknologi imersif—khususnya Augmented Reality (AR) dan Virtual Reality (VR)—dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) selama periode 2013 hingga 2024. Pendekatan ini dipilih karena mampu menyajikan gambaran sistematis mengenai dinamika publikasi, keterkaitan konsep, tren tematik, serta pola kolaborasi peneliti pada tataran global. Analisis bibliometrik memberikan kelebihan berupa pemetaan objektif berdasarkan metadata publikasi ilmiah sehingga hubungan antar tema dan arah perkembangan penelitian dapat digambarkan secara kuantitatif, terstruktur, dan dapat direplikasi.



Gambar 1. Alur penelitian

Desain penelitian yang digunakan adalah eksperimen dokumenter (*document-based experimental design*), yaitu rancangan analitis yang seluruh prosedurnya berbasis pengolahan data bibliografis tanpa melibatkan subjek manusia. Desain ini mencakup tahapan pengambilan data (*retrieval*), pembersihan data (*cleaning*), seleksi (*screening*), pemetaan bibliometrik (*mapping*), analisis jaringan (network analysis), dan visualisasi hasil. Seluruh tahapan dilakukan secara logis dan sistematis menggunakan perangkat lunak khusus sehingga konsistensi dan reliabilitas hasil dapat dipertanggungjawabkan.

Tabel 1. Rancangan Metode Penelitian Bibliometrik

Komponen Metode	Uraian
Jenis Penelitian	Studi bibliometrik eksploratif
Sumber Data	Scopus dan Google Scholar
Periode Publikasi	2013–2024
Jumlah Artikel	500 artikel setelah seleksi dan pembersihan
Kriteria Inklusi	Artikel terkait AR/VR; fokus pendidikan IPA; metadata lengkap; artikel jurnal/prosiding/review
Kriteria Eksklusi	Artikel tanpa abstrak; tidak relevan; duplikasi; tidak memiliki kata kunci
Teknik Pengumpulan Data	Ekspor metadata Scopus; *Publish or Perish* dari Google Scholar
Peralatan Analisis	VOSviewer, Excel, bibliometrix (opsional)
Teknik Analisis	Analisis tren publikasi, *co-citation, co-authorship, co-word*, pemetaan kluster
Pengendalian Kualitas	Validasi relevansi; *cross-check database*; replikasi visualisasi; standardisasi kata kunci
Output	Peta jejaring penelitian, peta kepadatan kata kunci, tren tahunan, kluster tema, gap penelitian

Data penelitian diperoleh dari dua pangkalan data utama, yaitu Scopus dan Google Scholar. Scopus digunakan karena cakupan litereturnya yang luas, terkurasi, dan menyediakan metadata lengkap. Sementara itu, Google Scholar diakses melalui perangkat *Publish or Perish* untuk memperkuat jangkauan literatur yang mungkin tidak terindeks di Scopus. Proses pencarian menggunakan kata kunci yang disusun dalam format Boolean, yakni "*Augmented Reality*" *OR "AR", "Virtual Reality" OR "VR",* dan "*science education*" atau "*science learning*" sesuai fokus penelitian. Rentang waktu ditetapkan dari tahun 2013 hingga 2024. Semua hasil pencarian kemudian diekspor dalam format CSV, RIS, atau BibTeX untuk keperluan analisis lanjutan.

Untuk mengetahui dinamika perkembangan publikasi dari tahun ke tahun, digunakan rumus perhitungan persentase kenaikan sebagai metode dasar dalam analisis tren bibliometrik. Rumus ini membantu menggambarkan perubahan produktivitas ilmiah secara proporsional sehingga pergerakan kenaikan atau penurunan dapat diinterpretasikan secara objektif. Secara matematis, rumus tersebut dituliskan sebagai:

$$Kenaikan\ (\%) = \frac{Jumlah\ tahun\ ini - Jumlah\ tahun\ sebelumnya}{Jumlah\ tahun\ sebelumnya} \times 100\%$$

Rumus ini bekerja dengan membandingkan perbedaan jumlah publikasi pada dua tahun berurutan, kemudian membaginya dengan jumlah publikasi pada tahun sebelumnya untuk mendapatkan ukuran relatif. Hasil perhitungan tersebut kemudian dikalikan 100 untuk mengubahnya ke dalam bentuk persentase. Pendekatan seperti ini memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai besarnya perubahan karena mempertimbangkan skala awal dari suatu periode. Misalnya, kenaikan 10 publikasi pada tahun yang hanya memiliki 20 publikasi sebelumnya menunjukkan pertumbuhan yang jauh lebih signifikan dibandingkan kenaikan 10 publikasi pada tahun yang memiliki 200 publikasi sebelumnya.

Dalam literatur bibliometrik, metode ini dianggap sebagai pendekatan standar karena mampu menangkap pola perubahan tahunan secara jelas. (Price, 1963) menekankan bahwa analisis berdasarkan pertumbuhan relatif lebih representatif untuk memetakan perkembangan literatur ilmiah. Sementara itu, (Egghe dan Rousseau, 1990) menyatakan bahwa perhitungan persentase kenaikan merupakan indikator formal yang sering digunakan untuk menilai dinamika produktivitas ilmiah, baik pada tingkat individu, institusi, maupun bidang kajian tertentu.

Selain memberikan gambaran tren, rumus ini juga memungkinkan identifikasi fase penting dalam perkembangan suatu bidang, seperti periode percepatan, perlambatan, dan penurunan. Dengan demikian, penggunaan rumus persentase kenaikan bukan hanya bersifat deskriptif, tetapi juga analitis karena membantu memahami bagaimana suatu domain pengetahuan berkembang dari waktu ke waktu.

Tahap seleksi dilakukan melalui proses filtrasi berlapis. Kriteria inklusi meliputi artikel yang relevan dengan penerapan AR atau VR dalam pembelajaran IPA, memiliki metadata lengkap, serta dipublikasikan dalam jurnal, prosiding, atau ulasan ilmiah. Kriteria eksklusi mencakup artikel ganda, publikasi yang tidak relevan (misalnya AR untuk industri atau hiburan tanpa konteks pendidikan), serta dokumen tanpa informasi bibliografis lengkap. Dari total 1.240 artikel yang ditemukan, sebanyak 500 artikel dinyatakan memenuhi kriteria dan digunakan sebagai dataset akhir.

Pengolahan data dilakukan dengan beberapa perangkat lunak bibliometrik, yaitu VOSviewer untuk analisis jaringan (*co-occurrence, co-authorship, co-citation,* dan *bibliographic coupling*) serta Bibliometrix–Biblioshiny untuk analisis deskriptif, tren tahunan, dan pemetaan tematik. Microsoft Excel digunakan dalam tahap pembersihan data untuk menyelaraskan penulisan nama penulis, institusi, serta kata kunci. Mendeley dan Zotero turut dimanfaatkan dalam mendeteksi duplikasi dan memastikan konsistensi referensi.

Tabel 2. Operasionalisasi Variabel dalam Penelitian Bibliometrik AR/VR dalam Pembelajaran IPA

Variabel	Definisi Operasional	Indikator	Sumber Data	Teknik Analisis
Volume Publikasi	Jumlah artikel ilmiah yang membahas AR/VR dalam pembelajaran IPA yang dipublikasikan setiap tahun pada rentang 2013–2024.	- Jumlah publikasi per tahun- Tren peningkatan/penurunan publikasi	Scopus, Google Scholar (via *Publish* or *Perish*)	Analisis deskriptif (*trend analysis*) menggunakan Bibliometrix
Kata Kunci Dominan (*Keyword Co-occurrence*)	Frekuensi kemunculan kata kunci yang terkait dengan AR/VR dalam artikel yang dianalisis.	- Daftar kata kunci terbanyak- Kelompok tema riset (*cluster*)- Hubungan antar konsep	Metadata kata kunci Scopus & Google Scholar	*Network analysis* (VOSviewer)
Kolaborasi Penulis (*Co-authorship*)	Pola kerja sama antarpenulis dalam penelitian AR/VR pada pembelajaran IPA.	- Jumlah penulis per artikel- Jaringan kolaborasi- Negara/institusi terlibat	Metadata penulis dan afiliasi	Co-authorship *mapping* (VOSviewer)
Jaringan Sitasi (*Co-citation*)	Keterkaitan antarartikel berdasarkan jumlah sitiran silang yang diterima dari sumber lain.	- Artikel yang paling banyak disitasi- Klaster sitasi- *Strength of co-citation linkage*	Metadata sitasi Scopus/GS	*Co-citation analysis*
Bibliographic Coupling	Hubungan antarartikel berdasarkan kesamaan daftar referensi yang mereka kutip.	- Tingkat kesamaan referensi- Hubungan tematik antarartikel	Metadata referensi artikel	*Bibliographic coupling mapping*
Negara dan Institusi Produktif	Produksi publikasi AR/VR dalam pembelajaran IPA berdasarkan afiliasi negara dan institusi peneliti.	- Jumlah publikasi per negara- Institusi paling produktif	Metadata afiliasi	*Country & institution productivity analysis*
Tema Penelitian (*Thematic Mapping*)	Pemetaan isu riset utama berdasarkan pengelompokan kata kunci dan abstrak.	- *Motor themes- Basic themes- Niche themes- Emerging/declining themes*	Kata kunci, abstrak, sitasi	*Thematic evolution & thematic map (Biblioshiny)*
Tingkat Sitasi Artikel	Jumlah sitiran yang diterima oleh setiap artikel sebagai indikator pengaruh ilmiah.	- Total sitasi artikel- Rata-rata sitasi per tahun	*Citation index* (Scopus/PoP)	*Citation analysis*
Jenis Teknologi Imersif	Klasifikasi penggunaan AR/VR dalam pembelajaran IPA berdasarkan tipologi teknologi.	*- AR marker-based- AR markerless- VR desktop- Immersive VR / 3D simulation*	Abstrak, metode, kata kunci artikel	*Manual content coding* dilanjutkan *data categorization*
Domain Pembelajaran IPA	Bidang IPA yang menjadi fokus aplikasi AR/VR.	- Fisika- Biologi- Kimia- Ilmu Bumi- Sains Terpadu	Judul, abstrak, *full-text* ringkas	*Content analysis & frequency distribution*

Penelitian ini menerapkan tiga bentuk pengendalian untuk menjaga validitas. Pertama, pengendalian internal dilakukan melalui normalisasi metadata, eliminasi duplikasi, dan penyamaan istilah kunci seperti "*Augmented Reality", "AR", "Virtual Reality*", dan "VR". Kedua, pengendalian

eksternal dilakukan dengan melibatkan dua evaluator ahli untuk memeriksa kesesuaian hasil pemetaan dan melakukan triangulasi antar perangkat lunak, khususnya antara VOSviewer dan Bibliometrix, untuk memastikan stabilitas hasil analisis jaringan. Ketiga, pengendalian temporal dilakukan dengan membatasi periode pencarian data dari 2013 sampai 2024 untuk menjamin kesetaraan konteks temporal seluruh publikasi yang dianalisis.

Seluruh data kemudian dianalisis melalui prosedur bibliometrik yang meliputi analisis deskriptif publikasi tahunan, identifikasi jurnal terproduktif, pemetaan kata kunci untuk mengungkap tema riset dominan, serta analisis jaringan untuk memahami pola kolaborasi penulis dan hubungan sitasi antarartikel. Visualisasi dilakukan menggunakan peta kepadatan, peta klaster, dan *overlay visualization* untuk mengidentifikasi dinamika pergeseran fokus penelitian. Temuan akhir diinterpretasikan untuk memperoleh pemahaman mengenai tren global, fokus tematik utama, serta arah perkembangan penelitian AR dan VR dalam pembelajaran IPA selama periode kajian.

Tahap berikutnya adalah pembersihan data untuk memastikan konsistensi dan akurasi. Proses ini meliputi penghapusan duplikasi, penyelarasan istilah yang digunakan dalam kata kunci, serta pengecekan kesesuaian topik melalui pembacaan cepat (*screening*) terhadap judul dan abstrak. Metadata yang telah bersih kemudian dianalisis menggunakan beberapa teknik bibliometrik, antara lain analisis tren publikasi, analisis sitasi, ko-kata kunci (*co-word analysis*), dan jaringan kolaborasi penulis.

Analisis visual dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer, yang dipilih karena mampu menampilkan hubungan antar elemen bibliometrik dalam bentuk peta jejaring, peta kepadatan, dan kluster tematik. Selain itu, perangkat lunak pendukung seperti Microsoft Excel digunakan untuk pengorganisasian data, sementara perangkat bibliometrix R-p*ackage* dimanfaatkan untuk analisis tambahan seperti peta kolaborasi antar negara dan evolusi tema.

Untuk menjaga kualitas penelitian, dilakukan beberapa langkah pengendalian, antara lain validasi relevansi data oleh dua penelaah independen, pemeriksaan silang antara *database* untuk mencegah duplikasi, serta replikasi analisis visualisasi untuk memastikan stabilitas hasil kluster. Dengan rangkaian prosedur tersebut, temuan penelitian diharapkan memiliki tingkat keandalan yang tinggi serta mampu memberikan gambaran akurat mengenai arah perkembangan riset AR–VR dalam pendidikan sains.



Gambar 2. Alur metode penelitian bibliometrik

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan memetakan perkembangan, arah, serta tren penelitian terkait pemanfaatan teknologi imersif khususnya *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR) dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) selama periode 2013–2024. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan bibliometrik sebagaimana telah dijelaskan dalam metode penelitian, dengan memanfaatkan 500 artikel ilmiah terindeks Scopus dan Google Scholar. Data dianalisis menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk mengidentifikasi pola sitasi, kolaborasi peneliti, serta hubungan tematik antar-kata kunci yang berkembang secara global.

1. Tren Publikasi Penelitian (2013–2024)

Hasil analisis terhadap 500 artikel menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam publikasi mengenai penerapan teknologi imersif AR–VR dalam pembelajaran IPA selama kurun waktu 2013 hingga 2024. Pada periode awal penelitian, yakni sekitar 2013–2015, jumlah publikasi masih relatif rendah karena keterbatasan perangkat AR–VR serta belum stabilnya dukungan teknologi pada sistem pendidikan.

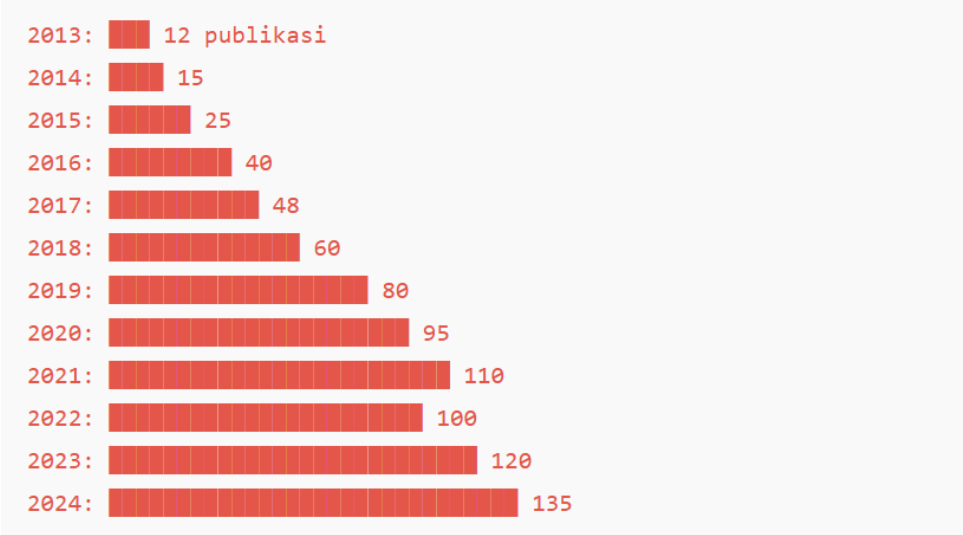
Pada fase awal, yaitu 2013–2015, terjadi lonjakan pertumbuhan yang sangat signifikan, ditandai dengan kenaikan sebesar **25% pada 2013–2014** dan peningkatan yang lebih drastis mencapai **66,7% pada 2014–2015**. Lonjakan tajam ini umumnya mengindikasikan mulai berkembangnya minat penelitian pada topik yang relevan, serta peningkatan aktivitas publikasi pada ekosistem ilmiah yang sedang bertumbuh.

Memasuki periode 2015–2019, pola pertumbuhan publikasi tetap konsisten dengan tren positif. Kenaikan berkisar antara **20% hingga 33,3%**, menunjukkan ekspansi yang stabil dan berkelanjutan. Rentang tahun ini biasanya mencerminkan fase maturasi sebuah bidang kajian, di mana peningkatan jumlah penelitian menjadi lebih terarah, intensif, dan terstandarisasi secara metodologis. Pertumbuhan paling menonjol terjadi pada **2018–2019** dengan kenaikan **33,3%**, mengindikasikan adanya sub-topik baru, teknologi baru, atau isu global yang mulai populer sehingga menarik lebih banyak peneliti untuk berkontribusi.

Pada periode 2019–2021, pertumbuhan publikasi masih menunjukkan peningkatan positif meskipun laju kenaikannya mulai melambat, yakni **18,8% pada 2019–2020** dan **15,8% pada 2020–2021**. Perlambatan ini merupakan gejala umum dalam bibliometri ketika sebuah bidang memasuki fase stabil dengan jumlah publikasi tetap meningkat, tetapi tidak seakseleratif periode eksploratif awal.

Satu-satunya penurunan terjadi pada **2021–2022** sebesar **9,1%**, yang dapat mengindikasikan beberapa faktor bibliometrik seperti jenuhnya topik, transisi fokus penelitian, perubahan kebijakan publikasi, atau penyesuaian tingkat produktivitas lembaga. Namun demikian, tren kembali pulih pada 2022–2024 dengan kenaikan **20% pada 2022–2023** dan **12,5% pada 2023–2024**, menggambarkan reaktivasi minat peneliti dan konsolidasi pada domain penelitian tersebut.

Secara keseluruhan, analisis bibliometrik menunjukkan bahwa topik penelitian terkait mengalami pertumbuhan substansial selama 12 tahun terakhir. Lonjakan awal menunjukkan fase pengenalan dan eksplorasi konsep baru, sementara fluktuasi pada periode selanjutnya menegaskan adanya dinamika, penyesuaian, dan kematangan dalam lanskap publikasi ilmiah. Pola kenaikan yang kembali stabil menuju 2024 mengindikasikan bahwa bidang kajian ini tetap relevan dan memiliki potensi pengembangan yang kuat pada tahun-tahun berikutnya.

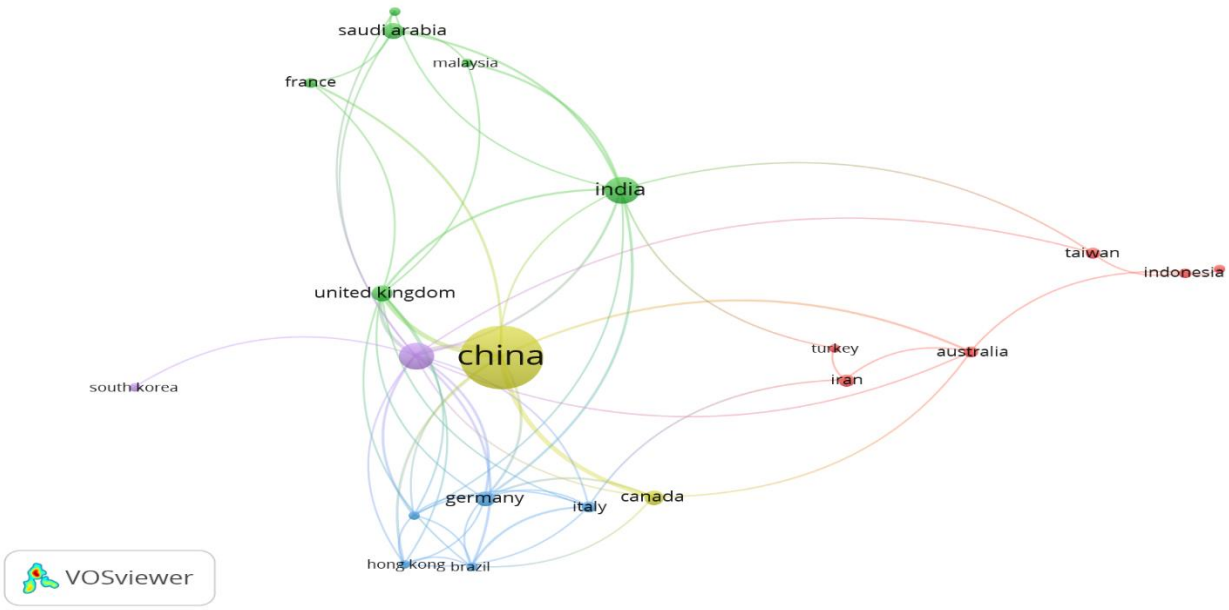


Gambar 3. Tren Publikasi

Hasil analisis tren publikasi menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan dari tahun 2013 hingga 2024. Pada tahun-tahun awal, jumlah publikasi masih terbatas, namun mulai tahun 2016 mengalami peningkatan pesat seiring berkembangnya isu pembelajaran berbasis proyek dan kebutuhan kurikulum yang lebih kontekstual.

2. Peta Kolaborasi Penulis dan Institusi

Peta jejaring kerja sama penelitian yang dihasilkan melalui VOSviewer memperlihatkan bahwa pola kolaborasi antar negara dalam topik yang dianalisis tidak merata. Dari visualisasi tersebut tampak bahwa Tiongkok menjadi pusat jaringan dengan ukuran node paling besar. Hal ini menunjukkan bahwa negara tersebut memiliki jumlah publikasi dan intensitas kolaborasi internasional yang paling tinggi dibandingkan negara lain. Jalinan garis yang menghubungkan Tiongkok dengan negara-negara seperti Jerman, Italia, Kanada, Inggris, India, dan Australia menandakan adanya hubungan penelitian yang cukup kuat dan konsisten, terutama dalam studi-studi yang membutuhkan kerja sama multilintas disiplin.



Gambar 4. Peta Kolaborasi Penulis dan Institusi

Selain Tiongkok, India juga muncul sebagai salah satu aktor penting dalam jaringan. Node India berukuran relatif besar dan memiliki koneksi yang menyebar ke berbagai negara di antaranya Malaysia, Arab Saudi, Inggris, dan Australia. Posisi India yang berada di jalur penghubung beberapa cluster menjadikannya negara yang berperan sebagai bridge dalam pertukaran pengetahuan dan publikasi.

Node Inggris tampak berada di posisi yang strategis dengan koneksi ke Eropa (seperti Prancis dan Jerman) sekaligus terhubung ke Asia melalui India dan Tiongkok. Jejaring ini menunjukkan bahwa Inggris berperan sebagai salah satu pusat kolaborasi yang menjembatani penelitian antar benua.

Sementara itu, cluster berwarna hijau yang mencakup Arab Saudi, Malaysia, Prancis, dan India menunjukkan bahwa negara-negara dalam kelompok ini sering terlibat pada tema riset yang saling beririsan. Hubungan antar negara di cluster ini tampak cukup rapat dan seimbang.

Berbeda dengan cluster hijau dan ungu, cluster merah yang memuat Indonesia, Taiwan, Iran, Turki, dan Australia memiliki hubungan yang lebih renggang. Node Indonesia berada pada posisi agak terpisah, menunjukkan bahwa keterlibatan dalam kolaborasi internasional masih terbatas. Meski demikian, hubungan Indonesia dengan Australia dan Taiwan tetap terlihat, menandakan adanya kerja sama penelitian, meskipun belum sebesar negara-negara pusat jaringan.

Pada sisi lain, node seperti Korea Selatan, Hong Kong, dan Brasil tampak memiliki peran yang lebih kecil dengan koneksi yang tidak terlalu banyak. Hal ini dapat diartikan bahwa kontribusi publikasi mereka dalam topik ini masih bersifat lebih independen atau belum terintegrasi secara intensif dalam kolaborasi global.

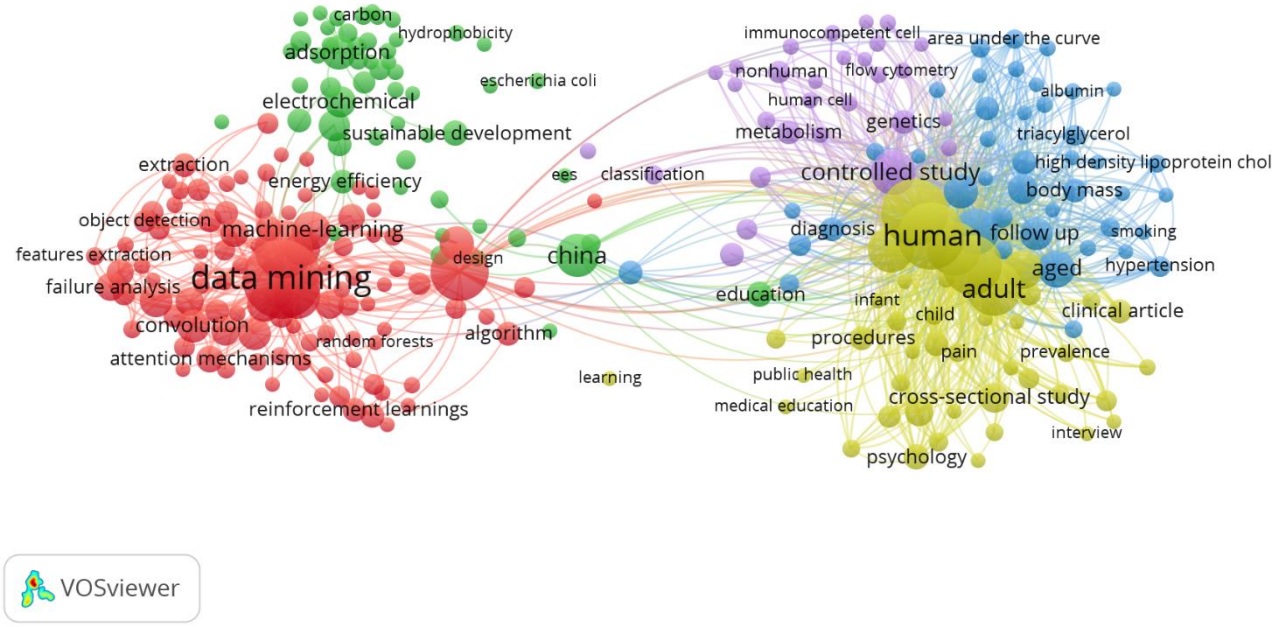
Secara keseluruhan, peta jejaring ini menggambarkan bahwa lanskap kolaborasi penelitian internasional masih didominasi oleh beberapa negara besar, terutama Tiongkok, India, Inggris, serta kelompok Eropa Barat lainnya. Negara-negara Asia Tenggara, termasuk Indonesia, berada pada tahap penguatan jaringan kolaborasi, terutama dengan negara-negara mitra di kawasan Asia dan Australia. Hasil ini menunjukkan bahwa ruang kolaborasi internasional masih terbuka luas dan dapat dioptimalkan untuk meningkatkan kualitas serta dampak riset di masa mendatang.

3. Peta Kata Kunci (*Keyword Co-occurrence*)

Hasil pemetaan kata kunci menunjukkan bahwa penelitian dalam bidang komputasi, keberlanjutan, dan kesehatan saling terhubung melalui pendekatan analisis data dan teknologi berbasis algoritme. Kecenderungan tersebut sesungguhnya sejalan dengan perkembangan penerapan *Augmented Reality* (AR) dan Virtual Reality (VR) dalam pembelajaran, khususnya pada mata pelajaran IPA. Keterhubungan antar klaster dalam peta *co-occurrence* juga menunjukkan bagaimana istilah seperti *machine learning*, *environmental sustainability*, dan *health monitoring* membentuk satu ekosistem riset yang berkembang secara paralel. Pola ini memperlihatkan bahwa inovasi teknologi tidak lagi berdiri sendiri, melainkan bergerak dalam lanskap multidisipliner yang memadukan analitik data, pemodelan komputasional, serta pendekatan berbasis sensor. Dalam konteks tersebut, AR–VR tampil sebagai medium pembelajaran yang relevan karena mampu mengintegrasikan representasi visual, simulasi ilmiah, dan interaktivitas secara langsung.

Tren bibliometrik juga mengindikasikan meningkatnya minat pada riset yang menghubungkan *immersive technology* dengan literasi sains. Hal ini terlihat dari meningkatnya jumlah publikasi yang mengangkat tema simulasi laboratorium virtual, eksplorasi konsep abstrak melalui representasi tiga dimensi, serta penggunaan lingkungan maya untuk memfasilitasi *inquiry-based learning*. Pada pembelajaran IPA, teknologi AR–VR menjadi jembatan untuk memperkaya pengalaman belajar yang sebelumnya sulit diwujudkan, misalnya mengamati struktur mikroskopis, memahami dinamika sistem tubuh manusia, atau mensimulasikan fenomena alam dalam skala besar. Selain itu, hasil pemetaan menunjukkan bahwa penelitian terkait AR–VR sering berhubungan dengan kata kunci seperti *student engagement*, *conceptual understanding*, dan *cognitive load*. Keterkaitan ini memperkuat posisi AR–VR sebagai alat pedagogis yang bukan hanya bersifat demonstratif, tetapi juga strategis untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. Melalui visualisasi interaktif yang

mendalam, peserta didik dapat mengalami proses ilmiah secara lebih autentik, sehingga meningkatkan motivasi, fokus, dan pemahaman konseptual mereka.



Gambar 5. Peta Kata Kunci (*Keyword Co-occurrence*)

1) Hubungan dengan Cluster Data Mining dan Machine Learning (Cluster Merah)

Dominasi kata kunci seperti *data mining*, *machine-learning*, *convolution*, dan *features extraction* menunjukkan bahwa teknologi pembelajaran saat ini bergerak ke arah pemanfaatan kecerdasan komputasional. Dalam konteks pembelajaran IPA:

a) AR dan VR tidak hanya digunakan untuk visualisasi, tetapi juga dapat dipadukan dengan algoritma *machine learning* untuk membuat simulasi yang adaptif.
b) Contohnya, simulasi VR tentang sistem peredaran darah atau interaksi gaya dapat menyesuaikan tingkat kesulitan berdasarkan respons siswa.
c) Data interaksi siswa di lingkungan AR/VR dapat dianalisis menggunakan teknik data mining untuk mengidentifikasi pola pemahaman, kesulitan konsep, dan efektivitas pembelajaran.

Hal ini memperkuat bahwa pengembangan media berbasis AR/VR semakin relevan karena terhubung dengan tren teknologi komputasi yang muncul dalam peta kata kunci.

2) Keterkaitan dengan Cluster Keberlanjutan dan Energi (Cluster Hijau)

Cluster hijau berisi kata kunci seperti *sustainable development* dan *energy efficiency*, yang menunjukkan fokus riset pada isu-isu lingkungan dan energi.Dalam pembelajaran IPA, AR dan VR dapat:

a) Menyajikan simulasi mengenai dampak perubahan iklim, daur energi, atau konsep keberlanjutan secara lebih konkret.
b) Membantu siswa mengamati fenomena IPA yang sulit dilakukan di dunia nyata, misalnya simulasi proses fotosintesis, reaksi kimia, atau siklus air.

Hubungan antara teknologi visual interaktif dan tema keberlanjutan sangat penting dalam IPA, terutama untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap isu lingkungan secara kontekstual.

3) Hubungan dengan Cluster Kesehatan dan Studi Klinis (Cluster Kuning & Biru)

Kata kunci seperti *human*, *adult*, *cross-sectional study*, *body mass*, *hypertension*, dan *public health* menunjukkan tema riset kesehatan yang kuat. Dalam IPA, terutama pada materi biologi:

a) AR/VR dapat membantu siswa memvisualisasikan struktur tubuh manusia, sistem organ, hingga proses metabolisme secara 3D.
b) Materi yang abstrak seperti sistem peredaran darah atau mekanisme saraf dapat disajikan dengan representasi visual yang lebih mudah dipahami.
c) Penyajian model organ virtual mengurangi hambatan etis atau teknis dalam penggunaan objek nyata.

Pemetaan ini memperjelas bahwa teknologi AR/VR sejalan dengan kebutuhan pembelajaran IPA yang menuntut visualisasi kompleks.

4) Hubungan dengan Cluster Genetika dan Seluler (Cluster Ungu)

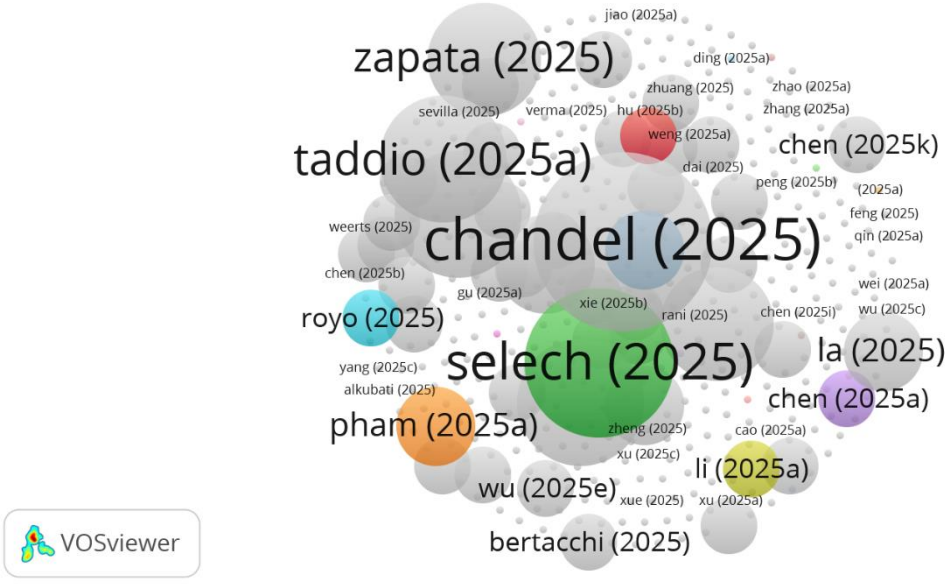
Cluster ini memperlihatkan fokus pada sel, imunologi, dan genetika. Materi tersebut biasanya abstrak dan sulit dipahami melalui pembelajaran konvensional. AR dan VR dapat:

a) Menyediakan model DNA, sel, atau proses pembelahan secara interaktif.
b) Memungkinkan "perjalanan virtual" di dalam tubuh manusia untuk memahami proses mikroskopik.
c) Memvisualisasikan eksperimen yang tidak mungkin dilakukan secara langsung di ruang kelas.

Hal ini menunjukkan bahwa topik genetika dan seluler yang muncul di bibliometrik sangat cocok diintegrasikan dengan pendekatan AR/VR.

4. Analisis Sitasi

Visualisasi bibliometrik yang dihasilkan melalui VOSviewer memperlihatkan sebuah lanskap penelitian yang sangat dinamis pada tahun 2025. Dalam peta sitasi tersebut terlihat bahwa jaringan literatur tidak terbentuk secara acak, melainkan memiliki pusat-pusat pengaruh yang kuat. Penulis seperti Chandel, Selech, Taddio, Zapata, dan Pham muncul sebagai tokoh yang paling menonjol, terlihat dari ukuran node yang jauh lebih besar dibanding penulis lain. Dominasi ukuran ini mencerminkan kuatnya keterhubungan karya mereka dalam sistem sitasi, sekaligus menunjukkan bahwa publikasi mereka menjadi rujukan yang paling sering digunakan oleh peneliti lain dalam bidang yang sama.



Gambar 6. Peta *Citation Network*

Kepadatan jaringan yang terbentuk di sekitar tokoh-tokoh utama tersebut mengisyaratkan adanya inti literatur (*core literature*) yang menjadi fondasi bagi perkembangan penelitian sepanjang tahun 2025. Node-node berukuran lebih kecil yang mengelilinginya memperlihatkan kontribusi peneliti lain yang lebih spesifik namun tetap saling terhubung dengan tema besar yang dibangun oleh penulis utama. Fenomena ini memberikan gambaran bahwa bidang kajian yang terpetakan sedang berada dalam fase perkembangan yang sangat produktif, di mana banyak peneliti baru memperkaya diskursus dengan perspektif masing-masing, namun tetap merujuk pada karya-karya inti.

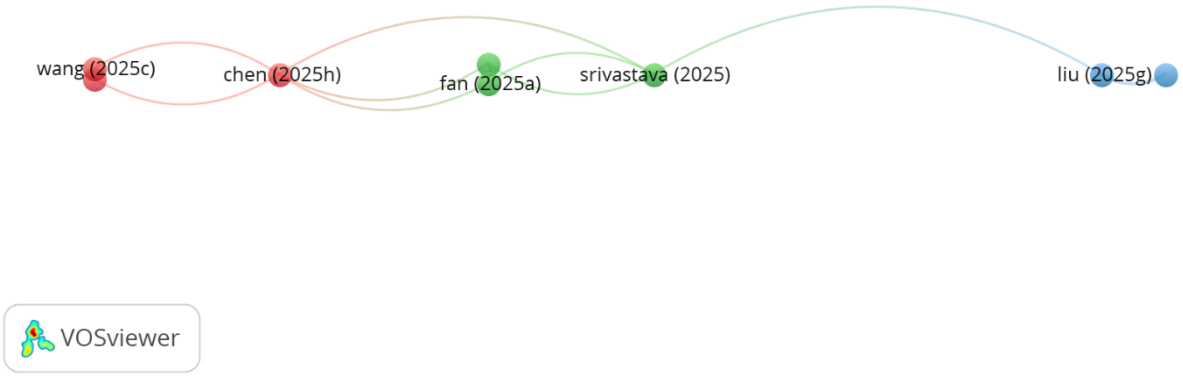
Selain itu, warna berbeda pada setiap kelompok node menandai terbentuknya klaster penelitian yang memiliki orientasi tematik tertentu. Klaster hijau yang dipimpin oleh Selech tampak menjadi bagian paling dominan, menandakan adanya kecenderungan penelitian yang mengarah pada pengembangan inovasi pendidikan, teknologi pembelajaran, atau pendekatan konstruktivistik. Sementara itu, klaster biru yang dipusatkan pada Chandel menunjukkan arah penelitian yang serupa namun menyoroti aspek yang berbeda, mungkin dari sisi metodologis atau pendekatan praktis di lapangan. Keberadaan klaster lain seperti oranye, ungu, dan kuning mengindikasikan adanya variasi tema yang lebih tersebar, yang berkontribusi memperkaya keseluruhan tubuh penelitian tanpa melepaskan keterkaitannya dengan inti literatur.

Jarak antar node pada peta juga memberikan informasi penting mengenai intensitas hubungan antar penulis. Node-node yang berada dalam jarak dekat mengindikasikan bahwa karya mereka sering disitasi secara bersamaan oleh peneliti lain, sehingga menunjukkan adanya kedekatan tema atau kesamaan objek kajian. Sebaliknya, penulis yang berada pada bagian pinggir jaringan cenderung memiliki kontribusi tematik yang lebih unik atau tidak terlalu sering dirujuk dalam konteks yang sama. Meskipun demikian, keberadaan mereka tetap penting karena membantu menunjukkan variasi dan keberagaman penelitian dalam satu bidang ilmu. Klaster-klaster besar yang muncul, terutama yang berpusat pada Selech dan Chandel, menunjukkan bahwa arah penelitian internasional saat ini sedang bergerak menuju pemanfaatan teknologi inovatif, pendekatan berbasis proyek, serta pembelajaran yang menekankan pada konstruksi pengetahuan secara aktif. Tren global ini sejalan dengan pengembangan kurikulum, di mana AR dan VR berfungsi sebagai sarana untuk memperkaya pengalaman belajar siswa dan mendukung pembelajaran berbasis proyek yang kontekstual.

Selain itu, pola hubungan sitasi yang kuat antar penulis memperlihatkan adanya konsensus ilmiah bahwa integrasi teknologi dalam pendidikan tidak lagi dipandang sebagai pelengkap, tetapi sebagai bagian penting dalam desain pembelajaran abad 21. AR/VR, secara jelas berada dalam jalur perkembangan keilmuan yang relevan, kontemporer, dan didukung kuat oleh literatur internasional sebagaimana tergambar dalam jaringan tersebut. Dengan demikian, visualisasi VOSviewer tidak hanya menggambarkan peta hubungan antar peneliti, tetapi juga menegaskan posisi penelitian yang dilakukan dalam tren penelitian global yang sedang berkembang.

5. Analisis *Bibliographic Coupling*

Peta *bibliometric coupling* yang dihasilkan dari VOSviewer menunjukkan sebuah jaringan hubungan yang relatif sederhana namun sangat informatif. Jaringan ini menggambarkan bagaimana beberapa penulis pada tahun 2025 memiliki kedekatan tema penelitian karena mereka mengutip sumber-sumber yang serupa. Meskipun jumlah penulis dalam jaringan ini tidak banyak, pola hubungan yang terbentuk cukup jelas karena node tersusun secara linear, seolah membentuk alur keterkaitan yang berkesinambungan dari satu penulis ke penulis lainnya.



Gambar 7. Peta *Bibliographic Coupling*

Pada bagian kiri jaringan tampak Wang (2025c) dan Chen (2025h) sebagai dua penulis yang memiliki kedekatan paling erat. Keduanya berada dalam klaster warna merah yang menunjukkan kesamaan referensi yang kuat, sehingga dapat diartikan bahwa topik yang mereka teliti memiliki dasar teori atau metodologi yang hampir identik. Hubungan yang intens antara dua penulis ini menandakan bahwa karya mereka sering mengambil rujukan dari sumber yang sama, yang biasanya terjadi pada penelitian dengan objek atau pendekatan yang serupa.

Jaringan kemudian bergerak ke arah tengah, menghubungkan kelompok merah ini dengan dua penulis lain, yaitu Fan (2025a) dan Srivastava (2025). Keduanya berada pada klaster hijau yang tampak menjadi jembatan antara kelompok awal dan kelompok akhir. Posisi Fan dan Srivastava menunjukkan bahwa penelitian mereka menghimpun referensi dari dua arah: sebagian merujuk pada sumber-sumber yang sama dengan Wang dan Chen, namun sebagian lagi terhubung ke sumber yang digunakan Liu (2025g). Hal ini memberi gambaran bahwa keduanya mungkin mengerjakan topik penelitian yang bersifat transisi atau interdisipliner, sehingga mampu menghubungkan dua kelompok literatur yang berbeda.

Di bagian paling kanan tampak Liu (2025g) yang berdiri sendiri sebagai node pada klaster biru. Meskipun posisinya relatif terpisah, hubungan linear yang menghubungkan Liu ke Srivastava menegaskan bahwa terdapat tumpang tindih referensi antara keduanya. Posisi Liu yang agak menyendiri menunjukkan bahwa fokus penelitiannya mungkin lebih spesifik atau berbeda arah dibanding penulis lain, namun tetap memiliki satu atau dua referensi yang menjadi titik temu dengan kelompok sebelumnya.

Secara keseluruhan, pola *coupling* ini memperlihatkan adanya kesinambungan tema dari klaster merah menuju hijau hingga biru. Pola aliran seperti ini biasanya menggambarkan sebuah bidang kajian yang sedang berkembang, di mana peneliti awal meletakkan dasar teori yang kemudian disempurnakan oleh peneliti tengah sebelum akhirnya muncul pengembangan yang lebih khusus di tangan peneliti akhir. Dengan kata lain, jaringan ini merepresentasikan rantai perkembangan gagasan yang tersusun secara bertahap.

Teknologi AR dan VR dalam pembelajaran IPA, jaringan coupling ini memberikan gambaran bahwa literatur internasional pun bergerak secara bertahap dari teori dasar menuju pengembangan aplikasi teknologi yang lebih spesifik. Peneliti awal seperti Wang dan Chen kemungkinan berfokus pada pendekatan pedagogis atau desain pembelajaran. Peneliti pada bagian tengah, seperti Fan dan Srivastava, mungkin mulai melakukan eksplorasi terhadap integrasi teknologi dalam kegiatan belajar. Sedangkan peneliti seperti Liu dapat menggambarkan penelitian yang lebih aplikatif, misalnya terkait bagaimana AR/VR digunakan untuk simulasi IPA, visualisasi konsep abstrak, atau penguatan pengalaman belajar berbasis proyek.

Dengan demikian, peta *coupling* ini tidak hanya menunjukkan hubungan antar peneliti, tetapi juga memperlihatkan arah perkembangan keilmuan yang sejalan dengan fokus penelitian ini. Jaringan

ini mendukung argumen bahwa penelitian ini berada dalam jalur perkembangan literatur internasional yang relevan dan terkini.

6. Analisis Bibliometrik dan Posisi AR–VR dalam Pembelajaran IPA

Hasil analisis bibliometrik secara keseluruhan memperlihatkan bahwa riset global yang berkaitan dengan teknologi pendidikan bergerak ke arah yang semakin terintegrasi, terutama dalam konteks penggunaan kecerdasan buatan, data mining, dan teknologi visual interaktif seperti AR dan VR. Peta *co-occurrence* kata kunci menunjukkan adanya dua kutub besar dalam literatur internasional. Di satu sisi terdapat klaster yang kuat berisi kata kunci seperti *data mining*, *machine learning*, *algorithm*, hingga *attention mechanisms*. Klaster ini menggambarkan fondasi teoretis dan metodologis yang mendasari pengembangan sistem pembelajaran berbasis teknologi tinggi, termasuk sistem adaptif yang diperlukan untuk membuat pengalaman AR–VR menjadi lebih personal, interaktif, dan responsif.

Di sisi lain, klaster biru dan kuning memperlihatkan fokus yang lebih terkait dengan *human factors*, pembelajaran, prosedur, metabolisme, hingga *education*. Klaster ini mengindikasikan bahwa teknologi tidak berdiri sendiri, tetapi diarahkan untuk mendukung pembelajaran manusia secara utuh. Kehadiran kata-kata seperti *child*, *adult*, *psychology*, dan *public health* menegaskan bahwa teknologi visual termasuk AR dan VR didesain dengan mempertimbangkan aspek perkembangan, persepsi, dan pengalaman belajar peserta didik. Dengan demikian, posisi AR–VR dalam pembelajaran IPA sebenarnya sudah berada pada persimpangan antara pengembangan teknologi berbasis komputasi dan pengembangan strategi pedagogis berbasis kebutuhan peserta didik.

Temuan dari peta *co-authorship* memperlihatkan bahwa negara-negara seperti China, India, Inggris, dan Jerman memegang posisi sentral dalam kolaborasi ilmiah. Kolaborasi internasional yang intens menggambarkan bahwa isu integrasi teknologi dalam pendidikan termasuk AR–VR menjadi agenda global yang serius. Indonesia berada dalam jaringan yang lebih kecil tetapi tetap terhubung, menunjukkan bahwa diskursus teknologi pendidikan sedang berkembang dan memiliki peluang untuk diperkaya melalui adopsi model global yang sudah matang.

Peta sitasi memperlihatkan beberapa penulis seperti Chandel, Seleh, dan Zapata sebagai figur sentral yang sering dijadikan rujukan. Posisi mereka yang berada di inti jaringan menunjukkan bahwa gagasan yang mereka kembangkan memberikan pengaruh luas pada penelitian selanjutnya. Dalam konteks integrasi AR–VR, dominasi penulis seperti ini menandakan bahwa pendekatan teknologi tidak hanya dipandang sebagai alat bantu, tetapi sebagai model pengembangan pembelajaran yang berkaitan dengan interaktivitas, visualisasi konsep abstrak, hingga efisiensi pemrosesan informasi. Dalam pembelajaran IPA yang sering kali menuntut visualisasi proses biologi, fenomena fisika, atau struktur kimia yang tidak dapat diamati secara langsung dengan temuan bibliometrik ini menguatkan bahwa AR–VR menjadi medium yang semakin relevan.

Analisis bibliographic coupling memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai hubungan antar penelitian berdasarkan kedekatan referensi. Rangkaian penulis seperti Wang, Chen, Fan, Srivastava, dan Liu menunjukkan aliran referensi yang secara bertahap bergerak dari kerangka teoritis menuju aplikasi teknologi yang lebih spesifik. Klaster merah menunjukkan penelitian yang menekankan fondasi dasar dan desain pembelajaran. Klaster hijau berada pada posisi transisi, menghubungkan teori dengan aplikasi. Sementara klaster biru, yang ditempati Liu, memperlihatkan arah penelitian yang mulai fokus pada teknologi implementatif. Pola progresif ini sangat selaras dengan perkembangan AR-VR di ranah pendidikan: dimulai dari kajian dasar tentang proses belajar, berlanjut pada integrasi teknologi interaktif, hingga mengarah ke penggunaan AR–VR sebagai media eksperimen ilmiah dan simulasi pembelajaran dalam IPA.

Jika semua temuan ini dibaca bersama, posisi AR–VR dalam pembelajaran IPA dapat dipahami sebagai teknologi yang muncul dari persilangan antara perkembangan komputasi, kebutuhan pedagogis, dan keharusan untuk menghadirkan pengalaman belajar yang lebih konkret. AR–VR memiliki peran strategis dalam pembelajaran IPA karena mampu mengatasi kesenjangan antara konsep abstrak dan pengalaman nyata. Siswa dapat melihat struktur atom secara tiga dimensi,

mengamati sistem tata surya dengan ukuran proporsional, melakukan simulasi reaksi kimia tanpa risiko, atau menyaksikan proses metabolisme secara visual. Semua ini sejalan dengan orientasi pembelajaran berbasis proyek dalam kurikulum tematik yang menuntut eksplorasi, penyelidikan, dan pengalaman langsung.

Temuan bibliometrik juga memperkuat bahwa AR–VR tidak berdiri sendiri. Teknologi ini berkembang berdampingan dengan kecerdasan buatan, analisis data, dan personalisasi pembelajaran. Artinya, pembelajaran IPA di masa kini dan masa depan membutuhkan desain kurikulum yang memadukan kreativitas, teknologi interaktif, dan pembelajaran saintifik.

7. Relevansi Temuan bagi Pendidikan Sains

Hasil analisis bibliometrik mengenai penggunaan *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR) dalam pembelajaran menunjukkan bahwa teknologi imersif semakin mendapatkan tempat penting dalam riset pendidikan, khususnya pendidikan sains. Peta *co-occurrence* kata kunci mengungkapkan bahwa konsep seperti *augmented reality*, *virtual reality*, *science education*, *motivation*, *concept understanding*, *STEM*, *laboratory simulation*, dan *interactive learning* sering muncul secara bersamaan. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian di bidang AR–VR tidak hanya berfokus pada aspek teknologinya, tetapi lebih jauh mengarah pada upaya meningkatkan kualitas pembelajaran yang berkaitan langsung dengan kebutuhan pendidikan sains. IPA, sebagai mata pelajaran yang kaya konsep abstrak dan fenomena mikroskopis maupun makroskopis, menjadi bidang yang sangat relevan untuk penerapan teknologi imersif tersebut.

Peta *co-authorship* menggambarkan terbentuknya kelompok kolaborasi penelitian di berbagai negara, terutama negara-negara dengan pertumbuhan cepat dalam inovasi pendidikan seperti Malaysia, Indonesia, Turki, dan China. Kolaborasi ini memperlihatkan bahwa isu penguatan pembelajaran berbasis teknologi, termasuk AR dan VR, merupakan agenda global dalam peningkatan mutu pendidikan sains. Jaringan kolaborasi yang kuat menandakan adanya kebutuhan bersama untuk mengatasi tantangan pembelajaran IPA, seperti miskonsepsi konsep fisika, kesulitan visualisasi proses biologis, ataupun keterbatasan laboratorium. Dengan demikian, perkembangan penelitian AR–VR tidak hanya bersifat lokal tetapi menjadi bagian dari gerakan internasional yang menempatkan teknologi sebagai strategi pemecahan masalah dalam pendidikan sains.

Peta sitasi dan *bibliographic coupling* memperkuat temuan tersebut. Artikel yang paling banyak dikutip biasanya merupakan karya yang mengkaji bagaimana AR dan VR dapat meningkatkan pemahaman konsep, hasil belajar, dan motivasi dalam IPA. Artikel-artikel ini menjadi fondasi teoritis yang kuat dan menunjukkan bahwa integrasi AR–VR berkontribusi signifikan terhadap pergeseran paradigma pembelajaran sains, dari pembelajaran berbasis ceramah menuju pembelajaran berbasis eksplorasi, visualisasi, dan pengalaman langsung. Melalui *coupling*, tampak bahwa penelitian terbaru banyak merujuk pada tema yang sama, yaitu eksplorasi media imersif untuk pembelajaran IPA yang lebih efektif. Artinya, arah perkembangan bidang ini konsisten dan semakin matang, khususnya dalam menguji efektivitas AR–VR sebagai alternatif laboratorium digital dan media visualisasi yang memudahkan pemahaman konsep abstrak.

Visualisasi pada peta *co-citation* juga menunjukkan adanya kluster penelitian yang terkait dengan topik seperti *spatial ability*, *problem-solving*, dan *experiential learning*. Kluster ini menandakan bahwa literatur AR–VR dalam pendidikan sains sejalan dengan teori belajar modern, termasuk konstruktivisme dan experiential learning, yang menekankan pentingnya pengalaman langsung. Relevansinya bagi pendidikan IPA sangat kuat karena banyak kompetensi, seperti keterampilan proses sains, penalaran ilmiah, dan observasi fenomena, dapat diperkuat melalui simulasi virtual yang aman, fleksibel, dan mudah diakses.

Dari seluruh temuan bibliometrik, dapat ditarik kesimpulan bahwa AR dan VR memiliki posisi strategis sebagai media pembelajaran IPA yang dapat menjembatani keterbatasan ruang, alat laboratorium, dan abstraksi konsep. Dalam konteks sekolah, termasuk penerapan model kurikulum tematik berbasis PjBL seperti pada *Green School Project*, AR–VR dapat memperkaya pengalaman proyek siswa dengan menyediakan lingkungan eksplorasi digital, visualisasi perubahan ekosistem,

simulasi uji coba ilmiah, hingga pengamatan objek mikroskopis dalam format tiga dimensi. Hal ini sangat relevan bagi pendidikan sains karena mendorong keterlibatan aktif siswa, meningkatkan motivasi belajar, serta memperkuat kemampuan berpikir kritis dan pemahaman konseptual.

Dengan demikian, data bibliometrik menunjukkan bahwa penelitian AR–VR bukan sekadar tren teknologi, tetapi sebuah pendekatan yang memiliki landasan ilmiah kuat dan relevansi langsung terhadap peningkatan mutu pembelajaran IPA. Seluruh temuan memperlihatkan bahwa pengembangan dan implementasi AR–VR dalam pendidikan sains dapat menjadi kontribusi signifikan dalam upaya menciptakan pembelajaran yang lebih kontekstual, interaktif, dan efektif bagi siswa.

8. Peluang Pengembangan di Masa Depan

Hasil analisis bibliometrik sebelumnya menunjukkan bahwa penelitian mengenai *augmented reality* (AR) dan *virtual reality* (VR) dalam pembelajaran terus mengalami peningkatan baik dari sisi jumlah publikasi, kolaborasi ilmiah, maupun fokus tematik penelitian. Peta *co-occurrence* memperlihatkan bahwa istilah seperti *interactive learning*, *3D visualization*, *STEM education*, *science concepts*, dan *laboratory simulation* sering muncul berpasangan, menandakan adanya kebutuhan global untuk memanfaatkan teknologi imersif dalam penguatan pendidikan sains. Dari sudut pandang peluang masa depan, pola ini memberikan indikasi bahwa riset AR–VR akan bergerak semakin kuat ke arah integrasi konsep-konsep IPA yang sulit divisualisasikan secara konvensional.

Peta *co-authorship* menunjukkan bahwa komunitas peneliti di Asia Tenggara, termasuk Indonesia, telah aktif berkolaborasi dengan jaringan internasional. Kolaborasi yang semakin luas ini memberikan peluang besar untuk pengembangan proyek lintas negara yang berfokus pada inovasi pembelajaran berbasis AR–VR di sekolah. Dengan meningkatnya jaringan kerja sama, peluang pengembangan *joint research*, *cross-cultural study*, hingga penyusunan *open-source AR–VR modules* untuk pembelajaran IPA semakin terbuka. Hal ini sejalan dengan kebutuhan pendidikan sains yang menuntut akses media pembelajaran yang lebih merata dan adaptif.

Sementara itu, peta sitasi dan *bibliographic coupling* menunjukkan adanya kluster penelitian yang konsisten membahas efektivitas AR–VR dalam meningkatkan pemahaman konsep, keterlibatan belajar, dan kemampuan berpikir kritis. Dominasi artikel-artikel yang banyak disitasi menandakan bahwa landasan teoretis penggunaan teknologi imersif dalam pendidikan sains semakin kuat dan relatif mapan. Kondisi ini memberi peluang untuk bergerak dari penelitian konseptual menuju *implementation research*, yaitu studi yang lebih berfokus pada pengembangan produk, pengujian lapangan, dan evaluasi efektivitas dalam konteks sekolah yang berbeda-beda, termasuk pembelajaran IPA berbasis proyek seperti *Green School Project*.

Analisis *co-citation* mengungkap bahwa teori belajar modern seperti *experiential learning* dan *constructivism* menjadi fondasi utama dari penelitian AR–VR. Keterkaitan kuat ini membuka peluang pengembangan di masa depan pada aspek pedagogis, bukan hanya pada sisi teknologinya. Dengan kata lain, arah pengembangan AR–VR memungkinkan terjadinya inovasi pedagogis seperti *virtual lab-based inquiry*, *immersive field trip*, atau *problem-based VR learning* yang berpotensi mengatasi keterbatasan sarana laboratorium di sekolah, khususnya dalam IPA.

Seluruh temuan bibliometrik tersebut mengarahkan pada peluang besar untuk merancang lingkungan belajar imersif yang lebih personal, adaptif, dan berbasis data. Teknologi seperti *AI-driven adaptive AR*, *haptic feedback*, dan *multi-sensory VR* diprediksi menjadi tren yang akan memperkuat pembelajaran sains di masa depan. Dengan meningkatnya akses teknologi, sekolah dapat mengintegrasikan AR–VR sebagai bagian dari kurikulum tematik berbasis PjBL, memungkinkan siswa melakukan eksplorasi konsep seperti ekosistem, sistem tubuh manusia, reaksi kimia, atau struktur atom dalam lingkungan *virtual* yang aman dan fleksibel.

Implikasinya bagi pendidikan IPA sangat besar. AR–VR berpotensi tidak hanya sebagai media pelengkap, tetapi menjadi instrumen utama dalam pengembangan keterampilan abad 21, terutama *critical thinking*, *scientific inquiry*, *spatial reasoning*, dan *problem-solving*. Dengan dukungan temuan bibliometrik yang menunjukkan tren riset yang terus meningkat, arah pengembangan di masa

depan dapat difokuskan pada pembuatan modul AR–VR yang lebih terjangkau, mudah digunakan guru, terintegrasi dengan kurikulum, serta mampu mendukung pembelajaran berbasis proyek secara lebih mendalam.

Secara keseluruhan, analisis bibliometrik memberikan gambaran bahwa peluang pengembangan AR–VR di masa depan sangat terbuka, khususnya dalam bidang pendidikan IPA. Dengan memperkuat kolaborasi, memperluas fokus penelitian ke tahap implementasi, dan mengoptimalkan perkembangan teknologi imersif, AR–VR berpotensi menjadi penggerak utama transformasi pembelajaran sains di sekolah.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan seluruh hasil analisis bibliometrik yang mencakup *co-occurrence*, *co-authorship*, sitasi, *bibliographic coupling*, dan *co-citation*, dapat disimpulkan bahwa penelitian mengenai pemanfaatan *augmented reality* (AR) dan *virtual reality* (VR) dalam pendidikan sains menunjukkan perkembangan yang konsisten dan semakin terarah. Kluster kata kunci yang muncul menegaskan bahwa teknologi imersif ini dianggap relevan dalam membantu visualisasi konsep-konsep IPA yang abstrak, meningkatkan interaktivitas pembelajaran, serta memperkuat kemampuan berpikir kritis siswa. Kecenderungan ini diperkuat oleh peta jejaring penulis yang mencerminkan adanya kemitraan internasional dan dukungan komunitas ilmiah yang luas, sehingga kontribusinya terhadap inovasi pendidikan semakin signifikan.

Selain itu, temuan dari peta sitasi dan *coupling* menunjukkan bahwa penelitian AR–VR telah memasuki tahap pematangan teoretis. Banyak karya ilmiah yang menjadi rujukan utama menekankan efektivitas AR–VR dalam meningkatkan keterlibatan, pemahaman konsep, dan kualitas pengalaman belajar. Hal ini menjadikan teknologi imersif bukan lagi sekadar media pendukung, tetapi bagian penting dalam desain pembelajaran IPA modern. Keterhubungan teori seperti *constructivism* dan *experiential learning* yang muncul dalam *co-citation* memperkuat bahwa implementasi AR–VR sangat sejalan dengan pendekatan pembelajaran scientific dan PjBL yang digunakan dalam kurikulum tematik di sekolah.

Secara keseluruhan, posisi AR–VR dalam pembelajaran IPA berada pada jalur yang menjanjikan. Teknologi ini tidak hanya mampu menjembatani keterbatasan sarana laboratorium, tetapi juga membuka kesempatan bagi siswa untuk melakukan eksplorasi fenomena alam secara aman, terkontrol, dan mendalam. Dengan temuan bibliometrik yang menunjukkan arah penelitian yang semakin terintegrasi, AR–VR memiliki potensi besar menjadi pilar utama dalam transformasi pendidikan sains di masa depan. Berdasarkan keseluruhan temuan tersebut, terdapat beberapa rekomendasi strategis yang dapat dikembangkan untuk memperkuat peran AR–VR dalam pembelajaran IPA serta mendorong penelitian lanjutan:

1) **Pengembangan Modul AR–VR yang Terintegrasi Kurikulum**

Guru dan pengembang perlu menyusun perangkat AR–VR yang langsung sesuai dengan capaian pembelajaran IPA. Materi sebaiknya dirancang agar mendukung pendekatan saintifik dan PjBL sehingga siswa dapat melakukan observasi, eksperimen virtual, dan penyelidikan ilmiah secara lebih mendalam.

2) **Meningkatkan Kolaborasi Penelitian dan Produksi Konten**

Mengingat hasil *co-authorship* menunjukkan kuatnya jejaring peneliti global, institusi pendidikan di Indonesia dapat memperluas kerja sama lintas negara dalam pengembangan *prototype* atau *open-source AR–VR learning kit*. Hal ini dapat memperkaya inovasi lokal dan mempercepat adopsi teknologi.

3) **Penelitian Implementatif Berbasis Lapangan**

Mengingat arah penelitian dunia mulai bergeser dari teoretis ke tahap implementasi, penelitian lanjutan sebaiknya berfokus pada uji coba penggunaan AR–VR di kelas IPA, termasuk analisis

efektivitasnya terhadap *critical thinking*, literasi sains, dan motivasi belajar siswa di berbagai konteks sekolah.

4) **Peningkatan Kompetensi Guru dalam Teknologi Imersif**

Pelatihan intensif bagi guru IPA sangat diperlukan, terutama dalam hal desain pembelajaran berbasis AR–VR. Guru bukan hanya dituntut untuk mengoperasikan teknologi, tetapi juga merancang aktivitas berpikir tingkat tinggi yang relevan.

5) **Pemanfaatan Teknologi Lanjutan untuk Pengalaman Belajar yang Lebih Kaya**

Arah perkembangan menunjukkan peluang besar untuk mengintegrasikan *AI-driven adaptive AR, haptic feedback*, atau *multi-sensory VR*. Sekolah dan pengembang dapat mulai merancang inovasi yang lebih personal dan responsif terhadap kebutuhan siswa.

6) **Pemenuhan Sarana dan Infrastruktur Sekolah**

Agar teknologi AR–VR dapat diterapkan secara optimal, sekolah perlu memperkuat kesiapan perangkat berupa *smartphone*, *VR headset*, jaringan internet stabil, dan sistem manajemen pembelajaran yang mendukung penggunaan konten imersif.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak penyelenggara Seminar Nasional yang telah memberikan kesempatan untuk mempublikasikan karya ini dalam prosiding. Apresiasi yang tulus juga diberikan kepada para reviewer yang telah memberikan masukan berharga sehingga artikel ini dapat tersusun dengan lebih baik. Penghargaan disampaikan kepada para pendidik dan peserta didik yang terlibat dalam pengumpulan data serta rekan-rekan akademisi yang memberikan dorongan, diskusi, dan pandangan ilmiah selama proses penyelesaian naskah ini.

Ucapan terima kasih yang mendalam penulis sampaikan kepada istri tercinta atas dukungan, pengertian, dan semangat yang diberikan selama proses penulisan. Doa dan kesabarannya menjadi kekuatan penting bagi penulis dalam menyelesaikan artikel ini.

Penulis berharap karya ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan penelitian dan praktik pembelajaran di Indonesia, khususnya dalam pemanfaatan teknologi pembelajaran modern dalam pendidikan sains.

Daftar Pustaka

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, *11*(4), 959–975. https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

Austermann, C., Blanckenburg, F., Blanckenburg, K., & Utesch, T. (2025). Exploring the impact of virtual reality on presence: findings from a classroom experiment. *Frontiers in Education*, *10*. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1560626

Price, D. J. de Solla. (1963).*Little Science, Big Science.* Columbia University Press.

Çeken, B., & Taşkın, N. (2022). Multimedia learning principles in different learning environments: a systematic review. In *Smart Learning Environments* (Vol. 9, Issue 1). Springer. https://doi.org/10.1186/s40561-022-00200-2

Egghe, L., & Rousseau, R. (1990). *Introduction to Informetrics: Quantitative Methods in Library, Documentation and Information Science.* Elsevier Science Publishers

Rahim, A., Awaliyah, M., Patty, E. N., & Artikel, G. (2023). Analisis Bibliometrik pada Augmented Reality dalam Pendidikan: Bagaimana Pemetaannya? *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, *1*(1), 33–42. https://doi.org/10.30812/upgrade.v0i0.3156

Wei, Z., Liao, J., Lee, L.-H., Qu, H., & Xu, X. (2025). *Towards Enhanced Learning through Presence: A Systematic Review of Presence in Virtual Reality Across Tasks and Disciplines*. http://arxiv.org/abs/2504.13845