

Tren penggunaan laboratorium virtual dan simulasi digital dalam praktikum IPA: analisis bibliometrik berbasis scopus

Mey Prihandani Wulandari^{1*}, Retno Utaminingsih², Mawan Akhir
Riwanto³, Isyti Nihayati⁴, Wahyu Nuning Budiarti⁵, Lulu Dwi Lestari⁶

^{1,3,5,6} Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap, Jl. Kemerdekaan Barat No.17, Cilacap 53274, Indonesia)

² Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, Jl. Batikan UH-III/1043, Tahunan, Daerah Istimewa Yogyakarta 55167, Indonesia)

^{3,4,5} Program Studi Doktor Pendidikan Dasar, Universitas Negeri Yogyakarta, Jalan Colombo No 1, Yogyakarta 55281, Indonesia)

*meyprihandani@unugha.id

Abstract. Laboratory work in science education is an essential component that supports students' deep conceptual understanding. Advances in technology and limitations in practical equipment have encouraged the use of virtual laboratories as an alternative, although traditional hands-on laboratory activities are still highly needed and receive positive responses from students. This situation raises an important question regarding the current relevance of virtual laboratories and digital simulations in science practicum learning. This study is a bibliometric analysis conducted using Biblioshiny to examine trends in the use of virtual laboratories and digital simulations in science practicum instruction. The analyzed data were retrieved from the Scopus database and limited to publications from 2015 to 2025, consisting of 198 articles and conference proceedings. The results reveal three distinct trend phases: an initial growth phase characterized by increasing publications, a shock phase marked by a significant decline, and a normal phase in which the number of publications becomes relatively stable.

Kata kunci: science practicum, virtual laboratory, digital simulation, bibliometric analysis

1. Pendahuluan

Ilmu pengetahuan alam merupakan keilmuan yang menekankan pemahaman konsep sekaligus pengembangan keterampilan dan sikap ilmiah. Pembelajaran ilmu pengetahuan alam memiliki hakikat sebagai sikap, proses, dan produk. Sikap ilmiah dalam IPA merupakan penggambaran dari cara bersikap dalam melihat fenomena, mencari ilmu pengetahuan, dan menggunakan ilmu pengetahuan tersebut. Selain itu proses belajar IPA tidak cukup hanya menutut pencapaian kognitif saja karena saat belajar IPA tidak cukup hanya dengan menghafat dan belajar konsep tetapi dibutuhkan pengembangan keterampilan dan sikap ilmiah. pembelajaran berbasis aktivitas, terutama melalui pendekatan inquiry, memberikan peluang untuk memperkuat motivasi dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran IPA [1]. Dalam melakukan percobaan, baik itu untuk membuktikan sesuatu ataupun melakukan percobaan sesuatu yang baru menggunakan alat laboratorium, dan mengamati fenomena secara sistematis sangat dibutuhkan rasa ingin tahu, ketekunan, dan kejujuran ilmiah. Ketiga domain ini bersifat saling melengkapi dan menjadi dasar bagi terbentuknya kompetensi ilmiah siswa secara utuh. Kegiatan percobaan ataupun praktikum memberikan dampak signifikan terhadap pencapaian

siswa dalam sains dan membantu dalam membentuk pemahaman yang lebih baik terkait konsep-konsep ilmiah dan menguatkan ide [2].

Dalam perspektif konstruktivisme, proses belajar tidak dilakukan melalui transfer pengetahuan dari guru ke siswa melainkan dibangun melalui pengalaman siswa secara aktif melalui aktivitas belajar. Siswa perlu terlibat dalam kegiatan membangun pemahaman sendiri dengan cara mengamati, mencoba, berdiskusi, dan merefleksikan proses serta hasil belajar. Pengalaman langsung dari kegiatan belajar siswa akan mampu memberikan kesempatan kepada siswa untuk menghubungkan konsep abstrak dengan fenomena nyata, sehingga pemahaman menjadi lebih bermakna dan mudah diingat. Keterlibatan langsung siswa dalam eksperimen melalui hands-on activities menjadi fundamental dalam pembelajaran IPA. Keterlibatan dalam eksperimen berbasis inquiry tidak hanya meningkatkan sikap positif siswa tetapi juga menguatkan keterampilan eksperimen [3], merangsang kreativitas dan meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa selama proses pembelajaran [4]. Pelaksanaan pembelajaran IPA idealnya memuat aktivitas praktikum yang memberikan ruang bagi siswa untuk memanipulasi objek, menggunakan alat, dan mengalami proses ilmiah secara konkret. Aktivitas ini melatih keterampilan eksperimental yang dibutuhkan untuk memahami sains secara autentik.

Dalam pembelajaran IPA kegiatan praktikum menempati posisi sentral karena menjadi sarana siswa untuk untuk menerapkan konsep, melakukan investigasi, serta mengembangkan keterampilan ilmiah dalam rangka membangun pemahaman konseptualnya. Praktikum IPA mendorong kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kolaborasi, dan komunikasi ilmiah. Oleh karena itu maka praktikum dalam pembelajaran IPA menempati posisi yang sangat penting dan signifikan. Dengan melihat pentingnya pengalaman langsung, keterampilan ilmiah, dan pendekatan berbasis penemuan, menjelaskan posisi praktikum sebagai komponen yang tidak dapat dipisahkan dari pembelajaran IPA. Praktikum menjadi jembatan antara teori dan kondisi nyata di lingkungan sekitar, serta memastikan bahwa siswa tidak hanya memahami sains secara konseptual tetapi juga mampu mengaplikasikannya. bahwa praktikum berperan penting dalam pengembangan keterampilan ilmiah dan pemahaman konseptual siswa, di mana siswa dapat menghubungkan objek teramatid dengan ide-ide yang lebih abstrak[5]. Praktikum adalah bagian esensial dan fundamental dalam pembelajaran IPA. Pondasi ini penting untuk memastikan sekolah, guru, dan siswa memprioritaskan pelaksanaan praktikum sebagai sarana terintegrasi dalam membangun literasi sains yang utuh [6].

Meskipun praktikum memiliki peran yang sangat penting dalam pembelajaran IPA, pelaksanaannya di sekolah dan perguruan tinggi masih menghadapi berbagai keterbatasan. Banyak satuan pendidikan yang tidak memiliki laboratorium memadai, kekurangan alat dan bahan, serta mengalami kendala keamanan, biaya operasional, maupun keterbatasan waktu pembelajaran. Fenomena munculnya laboratorium virtual dan simulasi digital dalam pembelajaran ilmu pengetahuan alam, merupakan respons terhadap keterbatasan dalam fasilitas pembelajaran praktikum. Penggunaan laboratorium virtual dapat mengatasi banyak masalah yang timbul dari laboratorium fisik tradisional, seperti keterbatasan sumber daya, keselamatan, dan biaya operasional yang tinggi [7][8]. Oleh karena itu, laboratorium virtual menawarkan alternatif yang lebih mudah diakses dan efisien untuk pendidikan di banyak lembaga pendidikan. Penggunaan simulasi laboratorium virtual tidak hanya meningkatkan motivasi siswa, tetapi juga menciptakan keadaan di mana siswa terus aktif terlibat melalui berbagai elemen seperti pertanyaan kuis dan teori latar belakang selama simulasi [9]. Simulasi pada laboratorium virtual memungkinkan siswa melakukan percobaan melalui lingkungan digital interaktif yang meniru prosedur, alat, dan fenomena ilmiah secara realistik. Salah satu contoh pemanfaatan simulasi virtual yaitu pada materi sistem tata surya [10] yang mampu memberikan gambaran informasi kondisi luar angkasa.

Saat ini simulasi dalam praktikum di pembelajaran sejalan dengan perkembangan teknologi pendidikan yang mendorong lahirnya berbagai bentuk praktikum digital, seperti simulasi interaktif (misalnya PhET)[11], laboratorium virtual, augmented reality (AR) [12] dan virtual reality (VR)[13], remote laboratory yang memungkinkan mengakses alat laboratorium melalui jaringan [14]. Kombinasi laboratorium virtual dan pembelajaran tradisional memberikan efek peningkatan pemahaman teoritis dan keterampilan praktis [15].

Penerapan teknologi AR dan VR memperkaya pengalaman pendidikan dengan menciptakan simulasi yang meniru skenario dunia nyata. Chen dkk. merinci dampak positif dari Laboratorium Virtual dan Jarak Jauh (VR-Lab) terhadap pendidikan teknologi teknik, menunjukkan bagaimana teknologi ini dapat menghasilkan pengalaman belajar yang lebih menarik dan efektif (Chen et al., n.d.). Berbeda dengan metode konvensional, laboratorium virtual memberikan kesempatan untuk praktik berulang kali dalam lingkungan terkendali, yang khususnya bermanfaat untuk mata pelajaran kompleks seperti elektronik dan teknik (Palmer et al., 2021).

Saat ini banyak penelitian yang meneliti efektivitas virtual lab atau dampaknya terhadap hasil belajar, tetapi sedikit yang melihat tren publikasinya dalam jangka panjang. Analisis yang penting untuk dilakukan adalah dengan melihat tren pemanfaatan laboratorium virtual dan simulasi digital yang terpublikasi di jurnal internasional bereputasi, analisis tren tema dan keterhubungan antar tema, serta keterkaitan antar kata kunci artikel terpublikasi. Sejak berakhirnya masa pandemi, penggunaan laboratorium virtual dan simulasi digital dalam pembelajaran IPA masih tetap berlanjut sebagai bagian dari adaptasi pembelajaran di era pascapandemi. Pada periode ini, banyak institusi pendidikan, termasuk sekolah dasar, mempertahankan praktik penggunaan media simulasi karena dinilai mampu menjembatani keterbatasan fasilitas laboratorium fisik, meningkatkan akses pembelajaran, serta memastikan keberlanjutan kegiatan praktikum dengan cara yang lebih fleksibel. Selain itu, kebijakan pendidikan pascapandemi yang mendorong integrasi teknologi dalam pembelajaran semakin memperkuat posisi laboratorium virtual dan simulasi digital sebagai alternatif sekaligus pelengkap praktikum tradisional. Berdasarkan uraian di atas maka perlu adanya kajian terhadap masih relevankah pemanfaatan laboratorium virtual dan simulasi digital dalam pembelajaran praktikum IPA.

2. Metode Penelitian

Metode analisis bibliometrik ini merupakan metode analisis yang dapat dimanfaatkan untuk memetakan karakteristik tertentu dari hasil-hasil penelitian dan juga melihat perkembangan publikasi tentang sebuah topik dari rentang tahun tertentu [16], melihat produktivitas akademik dalam publikasi ilmiah [17], serta kolaborasi antar tema [18]. Pada penelitian ini digunakan metode analisis bibliometrik dengan tujuan untuk mengetahui tren penelitian yang membahas tentang media pembelajaran yang digunakan oleh guru sekolah dasar dalam melaksanakan pembelajaran praktikum mata pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam atau Ilmu Pengetahuan Alam dan Sosial (IPAS). Adapun data publikasi dan artikel diambil dari database Scopus dari kurun waktu 2015 hingga oktober 2025 dengan menggunakan aplikasi Publish or Parish. Adapun kata kunci yang digunakan adalah "virtual lab" OR "virtual laboratory" OR "simulation" OR "interactive simulation" OR "PhET" OR "AR" OR "augmented reality" OR "VR" OR "virtual reality" OR "virtual laboratory" OR "virtual laboratorium" AND "science practicum" OR "science experiment". Dari hasil penarikan data ini diperoleh data sebanyak 210 publikasi. Selanjutnya dilakukan proses filter yaitu hanya diambil publikasi yang berupa artikel jurnal dan prosiding. Dari proses ini diperoleh data final untuk dilakukan analisis bibliometrik yaitu sebanyak 198 publikasi. Selanjutnya proses analisis bibliometrik dilakukan dengan biblioshiny. Adapun analisis yang dilakukan yaitu dalam hal produktivitas publikasi tiap tahunnya, analisis cluster dan hubungan antar tema, dan analisis kata kunci (co-occurrence).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data jumlah publikasi artikel

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini memanfaatkan database scopus untuk melihat tren pemanfaatan laboratorium virtual dan simulasi digital dalam praktikum ilmu pengetahuan alam (sains). Dalam pengambilan data dilakukan beberapa pembatasan diantaranya rentang publikasi yang dipakai adalah dari tahun 2015 hingga 2024 untuk melihat tren 10 tahun terakhir dan tahun 2025 untuk melihat dan memperkirakan pola yang terbentuk. Selain itu pembatasan juga dilakukan pada jenis publikasi berupa artikel jurnal dan prosiding, sedangkan data publikasi berupa book chapter, book, dan review tidak digunakan. Dengan diberikan pembatasan ini diharapkan data yang diperoleh benar-benar menggambarkan pemanfaatan laboratorium virtual dan simulasi digital dalam praktikum ilmu

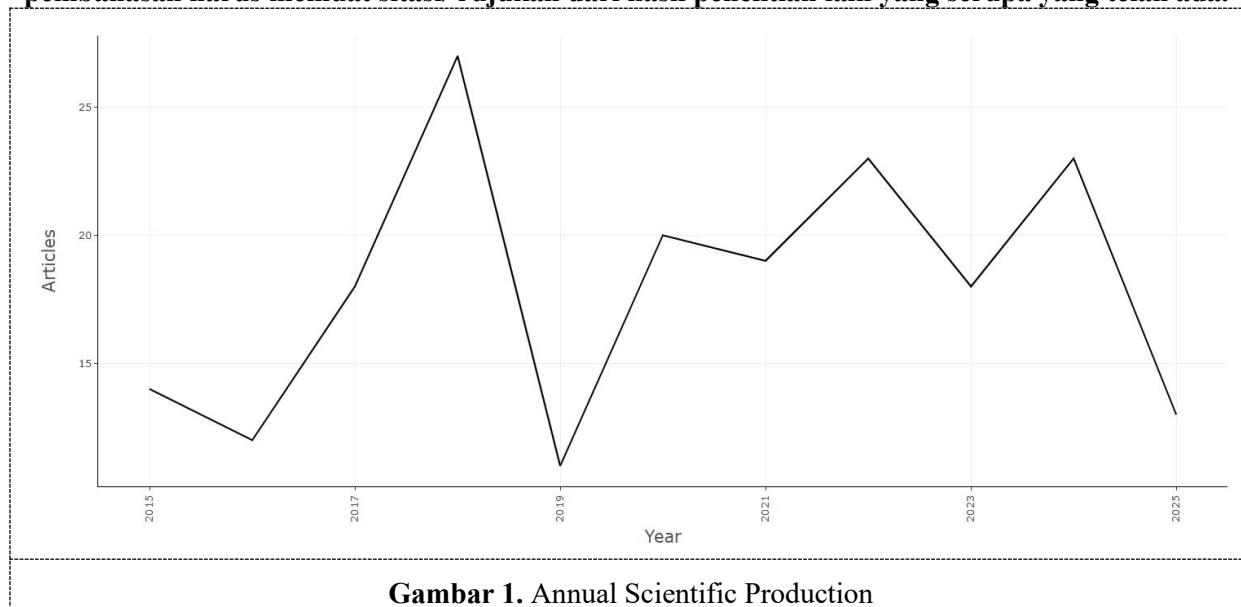
pengetahuan alam (sains) secara teknis pada pembelajaran. Berikut adalah sebaran data yang disajikan dalam tabel 1

Table 1. Perkembangan jumlah publikasi

Tahun	Jumlah Publikasi
2015	14
2016	12
2017	18
2018	27
2019	11
2020	20
2021	19
2022	23
2023	18
2024	23
2025	13

Tabel 1 menunjukkan perubahan jumlah artikel terkait kata kunci yang dipilih dalam data base scopus.

Gambar 1 memperlihatkan hasil data pada pengukuran. Nomor gambar harus mengacu pada isi paragraf, begitu juga dengan tabel. Tambahkan diskusi yang pasti terkait gambar atau tabel. Jangan asal tulis. Kalimat yang ditunjukkan adalah kalimat hasil pemikiran ilmiah. **Satu paragraf harus terdiri dari beberapa kalimat.** Usahakan panjang antar setiap paragraf seimbang. **Pada pembahasan harus memuat sitasi/ rujukan dari hasil penelitian lain yang serupa yang telah ada.**

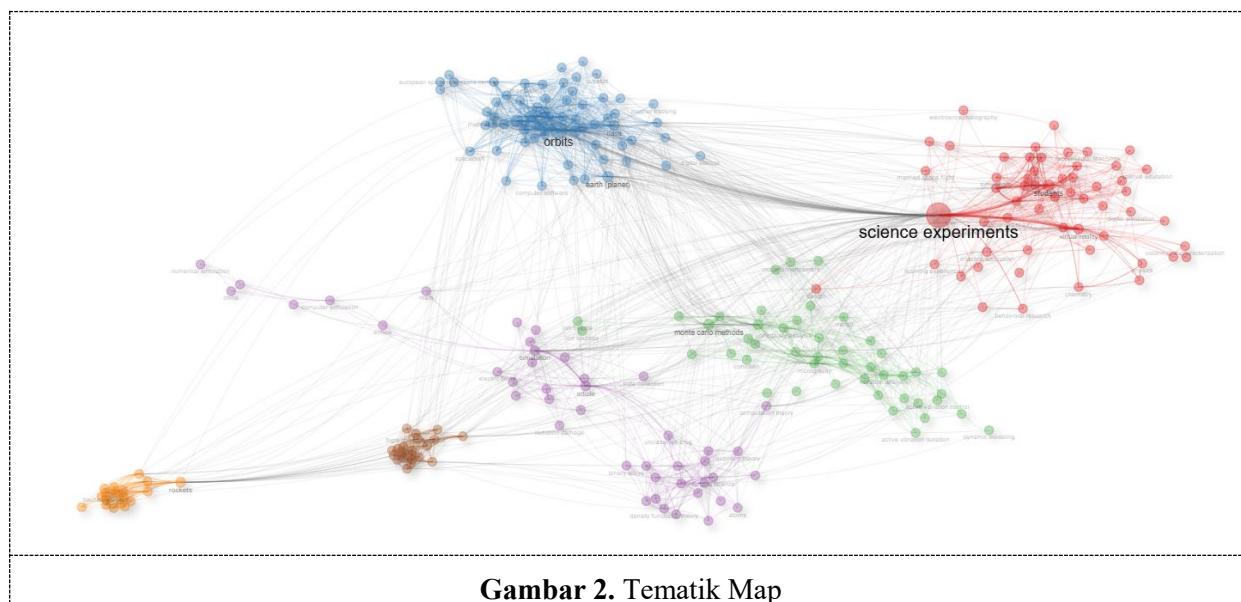


Grafik menunjukkan jumlah artikel yang terbit setiap tahun selama 11 tahun. Secara umum, pola yang terlihat adalah fluktuatif, bukan tren naik atau turun yang konsisten. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa pada tahun 2018 merupakan puncak banyaknya artikel publikasi yang

membahas tema praktikum virtual yang kemudian menjadi turun cukup drastis di tahun 2019 yang merupakan awal kondisi pandemi Covid-19. Pada awal pandemi ini fokus penelitian banyak menyoroti percepatan pembelajaran darurat [19] dan moda pembelajaran yang mampu memfasilitasi siswa belajar [20]. Beberapa memilih menggunakan media video dan sebagian yang lain memilih untuk menggunakan lembar aktivitas pengamatan di sekitar, misalnya pada materi ekosistem [21]. Dalam pelaksanaan praktikum IPA, guru memilih untuk menggunakan barang-barang di sekitar siswa sebagai pengganti alat praktikum IPA di sekolah[22]. Selanjutnya pada tahun 2020–2024 mulai menunjukkan kestabilan penelitian tentang media pembelajaran virtual untuk praktikum.

Jika kita amati perubahan pada grafik produktivitas publikasi terdapat 3 fase utama yaitu fase pertumbuhan, dimulai dari tahun 2015 hingga 2018 dimana dalam fase ini penelitian tentang media pembelajaran simulasi praktikum mulai banyak bermunculan. Selanjutnya masuk di fase guncangan yaitu pada tahun 2019, dimana publikasi tentang simulasi atau lab virtual dalam pembelajaran praktikum IPA mengalami penurunan. Hal ini dapat dijelaskan dengan kondisi perubahan fokus penelitian pendidikan yang di giatkan untuk memaksimalkan pembelajaran daring baik itu dengan penugasan maupun pembelajaran virtual [23]. Sehingga penelitian tentang media digital untuk praktikum IPA bukan menjadi prioritas. Kondisi publikasi kembali stabil dan membentuk fase normal dimulai dari tahun 2020 hingga tahun 2025 dimana grafik jumlah produktivitas publikasinya naik turun tetapi tidak ekstrim dan cenderung membentuk pola normal. Sementara itu pada tahun 2025 terjadi penurunan namun belum merupakan data final karena data ini dikumpulkan pada bulan Oktober 2025 dan masih memungkinkan untuk titik akhirnya masih merupakan rangkaian pola normal dari tahun sebelumnya. Beberapa temuan dari artikel yang menjadi data dalam penelitian ini yaitu hasil penelitian Muttaqiin [24] yang menunjukkan bahwa pemanfaatan praktikum digital berbantuan AR sangat dibutuhkan oleh mahasiswa tetapi praktikum langsung secara fisik lebih disukai. Sementara itu dalam penelitian Jhuang [24] menunjukkan tidak ada kesenjangan yang signifikan dalam prestasi belajar antar kelompok dengan penggunaan sistem AR dan yang tidak, tetapi mampu secara efektif mengurangi waktu tunggu eksperimen dan mengurangi risiko kegagalan eksperimen. Selanjutnya hasil penelitian dari Sukamoto [25] menunjukkan VR mampu menambah nilai pengalaman praktikum karena memberikan efek imersif dan meningkatkan kesenangan belajar.

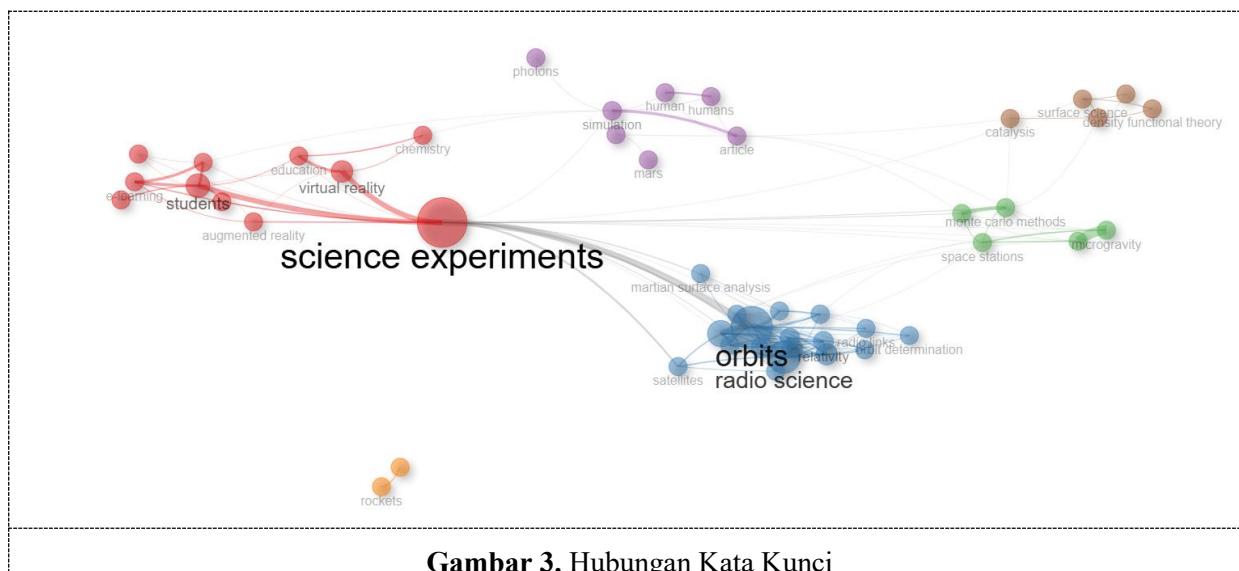
3.2. Analisis Tematik Map



Selanjutnya jika dilihat dari tematik map, muncul 6 pola warna dengan kerapatan yang berbeda dan menunjukkan keterhubungan sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2. Cluster pertama berwarna biru menunjukkan cluster yang besar, padat, dan banyak terhubung dengan tema lain

sehingga hal ini menjelaskan bahwa cluster ini merupakan salah satu tema sentral yaitu tema yang berkaitan dengan virtual laboratory, digital simulations, PhET, augmented reality, dan modul interaktif. Cluster berikutnya yaitu cluster berwarna merah yang menunjukkan tema Science Experiments / Science Practicum. Cluster ini memiliki keterhubungan yang kuat dengan cluster biru, yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara kegiatan praktikum baik itu yang dilakukan secara langsung atau diistilahkan dengan praktikum sains tradisional maupun dengan simulasi virtual atau menggunakan simulasi. Cluster ketiga, yaitu cluster berwarna hijau yang memiliki keterhubungan dengan cluster merah dan biru cukup kuat yang ditunjukkan dengan rapatnya garis hubung ke kedua cluster tersebut. Pada cluster ini mewakili tema-tema tentang metode pelaksanaan praktikum, kondisi yang digunakan dalam praktikum, serta keterlibatan siswa (*Student engagement*) meliputi tingkat perhatian, minat, dan investasi emosional serta perilaku siswa terhadap kegiatan pembelajaran. Selanjutnya ada 2 cluster kecil lainnya yaitu cluster cokelat dan oranye yang merupakan tema spesifik materi dalam praktikum seperti materi roket, simulasi robotik, dan lapisan batas atau *Boundary layer* dalam fluida.

3.3. Analisis hubungan kata kunci



Berdasarkan hubungan antar kata kunci pada artikel terpublikasi dihasilkan 4 cluster yang saling terhubung. Cluster pertama yaitu cluster berwarna merah terdiri dari kata kunci science experiments, virtual reality, augmented reality, education, students, e-learning yang merupakan cluster dari Pendidikan & Teknologi Simulasi. Cluster ini menunjukkan tema penelitian terbesar yang ditunjukkan oleh ukuran lingkaran yang besar dan terdiri dari banyak bulatan. Cluster ini mencakup publikasi tentang pemanfaatan virtual lab, VR/AR, simulasi interaktif untuk pembelajaran IPA, terutama terkait science experiments. Cluster ini merupakan cluster paling dominan dan menjadi pusat jaringan karena banyak artikel membahas virtual lab untuk menunjang eksperimen IPA. Kata kunci "students", "science experiment", dan "e-learning" kuat terhubung ditandai dengan ketebalan penghubungnya. Kemudian kata "science experiments" menjadi node terbesar karena paling sering muncul. Cluster besar kedua yaitu cluster biru yang merupakan cluster sains antariksa dan analisis orbit, meliputi kata kunci orbits, radio science, satellites, relativity, martian surface analysis. Cluster ini terbentuk dari kata kunci artikel yang bersifat teknis terkait materi antariksa, astrodinamika, dan satelit. Sementara 2 cluster yang lain yaitu hijau, ungu, dan cokelat merupakan hasil dari pembentukan kata kunci terkait simulasi penggunaan katalis dalam reaksi dan spesifik simulasi luar angkasa. Beberapa materi pengembangan praktikum atau simulasi virtual dalam ekosistem alam liar [26], Pengembangan Virtual reality untuk materi penerbangan [27], dan Pemanfaatan mobile game berbentuk simulasi untuk pembelajaran [28].

4. Kesimpulan

Hasil analisis dalam artikel ini memberikan informasi tentang tren penggunaan laboratorium virtual dan simulasi digital dalam praktikum IPA. Tren yang terjadi dimulai dari tahun 2015-2018 yang merupakan fase pertumbuhan penggunaan laboratorium virtual dan simulasi digital dengan puncaknya di tahun 2018 sebanyak 27 artikel publikasi. Fase berikutnya yaitu fase guncangan di tahun 2019 dimana terjadi penurunan drastis yaitu menjadi 11 artikel yang merupakan imbas dari terjadinya pergeseran fokus penelitian ke moda pembelajaran masa Covid-19. Fase selanjutnya adalah fase normal dimana mulai tahun 2020 hingga 2024 kenaikan dan penurunan jumlah publikasinya relatif stabil dan membentuk pola normal. Sementara di masa akhir tahun 2025 bulan oktober terdapat sebanyak 13 artikel yang masih memungkinkan untuk mengikuti pola sebelumnya yaitu normal. Rekomendasi penelitian selanjutnya yaitu analisis terhadap tren pemanfaatan laboratorium virtual dan simulasi digital di Indonesia khususnya pada pembelajaran IPAS di sekolah dasar.

5. Referensi

- [1] R. S. M. Meilanie and Y. Faradiba, “Development of Activity-Based Science Learning Models with Inquiry Approaches,” vol. 13, pp. 86–99, 2019.
- [2] Z. Shana and E. S. Abulibdeh, “Science Practical Work And it’s Impact on Student’s Science Achievement,” *J. Technol. Sci. Educ.*, vol. 10, no. 2, pp. 199–215, 2020.
- [3] C. Gormally, “Signing Undergraduates ’ Attitudes toward Science in Inquiry-Based Biology Laboratory Classes,” pp. 1–13, 2017, doi: 10.1187/cbe.16-06-0194.
- [4] N. Nyoman, S. Putu, S. Ayub, and S. Prayogi, “The Effect of Scientific Creativity in Inquiry Learning to Promote Critical Thinking Ability of Prospective Teachers,” *Int. J. Emerg. Technol. Learn.*, pp. 122–131, 2019.
- [5] F. N. Susanto, S. Anggraeni, and B. Supriatno, “Analisis dan Rekonstruksi Komponen Lembar Kerja Peserta Didik Pada Praktikum Tulang (Analysis and Reconstruction of the Components of Student Worksheets on Bone Practicum),” vol. 6, no. 0, pp. 372–383, 2020.
- [6] T. C. Skills, “BIOSFER : JURNAL TADRIS BIOLOGI Science Process Skills : Exploring Students ’ Interpretation Skills,” vol. 14, no. 1, pp. 123–130, 2023, doi: 10.24042/biosfer.v14i1.17860.
- [7] E. Salmer and F. Manzano-agugliaro, “The Higher Education Sustainability through Virtual Laboratories : The Spanish University as Case of Study,” 2018, doi: 10.3390/su10114040.
- [8] J. Li and W. Liang, “Effectiveness of virtual laboratory in engineering education : A meta-analysis,” *PLoS One*, vol. 19, no. 12, pp. 1–23, 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0316269.
- [9] D. Vries and L. Elvira, “Intensity Virtual laboratory simulation in the education of laboratory technicians – motivation and study intensity,” *Biochem. Mol. Biol. Educ.*, vol. 47, no. 3, 2019, doi: 10.1002/bmb.21221.
- [10] N. R. Azura, A. R. Sugma, and M. Habib, “Pengaruh media pembelajaran vidio animasi terhadap hasil belajar IPA siswa di kelas VI SD,” *Didaktika Dwija Indria*, vol. 14, no. 5, pp. 142–150, 2025, doi: <https://doi.org/10.20961/ddi.v13i2.101153>.
- [11] A. Lia, M. Pujiningsih, A. Gunawan, Y. K. Adi, and U. Kuningan, “Pengaruh Penggunaan Model Discovery Learning Berbantuan PhET Simulations Terhadap Hasil Belajar Siswa,” *JMIE J. Madrasah Ibtidaiyah Educ.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–16, 2022.
- [12] P. Awignamatu and P. Ritayanti, “Penggunaan aplikasi Assemblr Edu untuk meningkatkan motivasi belajar IPAS peserta didik kelas IV sekolah dasar,” *Didaktika Dwija Indria*, vol. 12, no. 4, pp. 256–261, 2024.
- [13] Y. Al Balushi, B. Al-kharusi, and M. J. Yousif, “VR / AR Environment for Training Students on Engineering Applications and Concepts,” vol. 2, no. 2, pp. 173–186, 2022.
- [14] U. Hernández-jayo, J. Bosco, and D. A. Mota, “Extended Remote Laboratories : A Systematic Review of the Literature From 2000 to 2022,” vol. 11, no. September, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3271524.
- [15] R. Raman, K. Achuthan, and V. Kumar, *Virtual Laboratories - A historical review and*

- bibliometric analysis of the past three decades.* Springer US, 2022. doi: 10.1007/s10639-022-11058-9.
- [16] A. Wulandari, “A bibliometric analysis of inquiry learning in primary education,” vol. 19, no. 1, pp. 340–349, 2025, doi: 10.11591/edulearn.v19i1.21245.
 - [17] A. Saregar, S. Sunyono, I. W. Distrik, N. Nurhanurawati, and S. Sharov, “Journal of Studies in Science and Engineering Teaching and Learning Optics : A Bibliometric Analysis with a Detailed Future Insight Overview,” *J. Stud. Sci. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 142–158, 2024.
 - [18] A. D. Puspita, I. Maryani, and H. H. Sukma, “Problem-based science learning in elementary schools : A bibliometric analysis,” vol. 17, no. 2, pp. 285–293, 2023, doi: 10.11591/edulearn.v17i2.20856.
 - [19] M. Bond, “Schools and emergency remote education during the COVID-19 pandemic : A living rapid systematic review,” vol. 15, no. 2, pp. 191–247, 2020.
 - [20] N. Putu, L. Resti, M. S. Yuliariatiningsih, and D. T. Kurniawan, “Analisis Bibliometrik Trend Penelitian Pembelajaran Berbasis Teknologi Digital di Sekolah Dasar,” vol. 2, no. 12, pp. 1127–1133, 2022, doi: 10.17977/um065v2i122022p1127-1133.
 - [21] A. Masruroh, Sukarno, and M. I. Sriyanto, “Studi tentang jenis tugas belajar IPA materi ekosistem selama pandemi Covid-19 pada peserta didik kelas V Sekolah Dasar,” *Didaktika Dwija Indria*, vol. 11, no. 1, 2023, doi: <https://doi.org/10.20961/ddi.v11i1.71974>.
 - [22] D. K. Azis and M. Febriana, “Identifikasi Tren Media Pembelajaran IPA di SD / MI Pasca Pandemi,” vol. 7, no. 2, pp. 343–349, 2023.
 - [23] M. Fathurrahman, A. K. Husain, H. Tahang, and A. S. Ba’diah, “Pembelajaran Daring Selama Covid-19 : Evaluasi Pengalaman dan Tantangan Siswa,” vol. 1, no. 1, pp. 11–21, 2023.
 - [24] A. Muttaqin, R. Oktavia, Z. F. Luthfi, and Yulkifli, “Developing an Augmented Reality-Assisted Worksheet to Support the Digital Science Practicum,” *Eur. J. Educ. Res.*, vol. 13, no. 2, pp. 605–617, 2020.
 - [25] M. Sakamoto, M. Hori, and T. Shinoda, “A Study on Applications for Scientific Experiments Using the VR Technology,” *2018 Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Robot.*, pp. 1–4.
 - [26] D. Shangguan, “Design of rare wildlife virtual simulation system based on AR technology,” *Exp. Technol. Manag.*, vol. 38, no. 8, 2021, doi: 10.16791/j.cnki.sjg.2021.08.029.
 - [27] R. Hite, “Virtual Reality: Flight of Fancy or Feasible? Ways to Use Virtual Reality Technologies to Enhance Students’ Science Learning,” *Am. Biol. Teach.*, vol. 84, no. 2, 2022, doi: 10.1525/abt.2022.84.2.106.
 - [28] D. JAIMEETHAM and N. SRISAWASDI, “Using Mobile Game-like Simulation to Promote Inquiry-based Laboratory Learning in Elementary School Science,” *Proc. 26th Int. Conf. Comput. Educ. Philipp. Asia-Pacific Soc. Comput. Educ.*, 2018.