



Analisis Bibliometrik Tren *Problem Based Learning* Berbasis Eksperimen Berbantuan Virtual Laboratorium Terhadap Kemampuan Kolaborasi Siswa

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah¹, Septiko Aji²

^{1,2}Universitas Negeri Semarang, Indonesia

*Email korespondensi: septikoaji@mail.unnes.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren penelitian terkait *Problem Based Learning* (PBL) berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium terhadap kemampuan kolaborasi siswa dengan menggunakan pendekatan bibliometrik melalui aplikasi *Biblioshiny*. Latar belakang penelitian ini didasari oleh pentingnya pengembangan keterampilan kolaborasi sebagai salah satu kompetensi abad ke-21, khususnya dalam pembelajaran IPA yang bersifat kontekstual dan berbasis praktik. Dalam implementasinya, kombinasi PBL dan eksperimen berbasis virtual laboratorium dinilai mampu meningkatkan partisipasi aktif dan kerja sama antar siswa dalam memecahkan masalah ilmiah. Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) terhadap 31 artikel ilmiah yang dipublikasikan pada jurnal bereputasi dan terindeks Scopus dalam rentang tahun 2016–2025. Data dianalisis menggunakan indikator bibliometrik seperti tren publikasi per tahun, afiliasi penulis paling produktif, jaringan kolaborasi, kata kunci dominan, serta artikel dengan jumlah sitasi tertinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa puncak publikasi terjadi pada tahun 2023, dengan kontribusi terbesar berasal dari institusi di Amerika Serikat dan Kanada. Analisis juga mengungkapkan bahwa topik-topik seperti *collaborative learning*, *virtual laboratory*, dan *problem-solving* menjadi tren utama dalam literatur yang dikaji. Temuan ini menegaskan adanya peluang besar untuk mengembangkan pendekatan PBL berbasis eksperimen yang didukung teknologi digital guna meningkatkan keterampilan kolaboratif siswa. Selain itu, pendekatan bibliometrik ini memberikan peta ilmiah yang berguna bagi peneliti, pendidik, dan pembuat kebijakan dalam merancang strategi pembelajaran inovatif berbasis teknologi.

Kata Kunci: Bibliometrik, *Problem Based Learning*, Eksperimen, Virtual Laboratorium, Kolaborasi Siswa, *Biblioshiny*

Abstract

This study aims to analyze research trends related to experiment-based Problem-Based Learning (PBL) assisted by virtual laboratories in enhancing students' collaboration skills, using a bibliometric approach through the Biblioshiny application. The research is grounded in the importance of developing collaboration as a 21st-century competency, particularly in science education which emphasizes contextual and hands-on learning. The integration of PBL and virtual laboratory experiments is considered to foster students' active participation and teamwork in solving scientific problems. A Systematic Literature Review (SLR) was conducted on 31 peer-reviewed articles indexed in Scopus, published between 2016 and 2025. The data were analyzed using bibliometric indicators such as annual publication trends, most productive author affiliations, collaboration networks, dominant keywords, and highly cited articles. The results indicate a peak in publications in 2023, with the highest contributions from institutions in the United States and Canada. The analysis also reveals that themes such as collaborative learning, virtual laboratories, and problem-solving are central in the reviewed literature. These findings highlight significant opportunities for developing technology-supported experiment-based PBL to strengthen students' collaborative skills. Furthermore, the bibliometric approach offers a valuable scientific map for researchers, educators, and policymakers in designing innovative, tech-integrated learning strategies.

Keywords: Bibliometric, Problem Based Learning, Experiment, Virtual Laboratory, Student Collaboration, *Biblioshiny*

PENDAHULUAN

Pembelajaran merupakan proses yang kompleks dan sangat penting dalam perkembangan individu maupun masyarakat. Melalui pembelajaran, seseorang memperoleh pengetahuan, keterampilan, sikap, dan nilai-nilai yang membentuk kepribadian dan kemampuannya dalam berinteraksi dengan lingkungan. Dalam konteks pendidikan formal, pembelajaran merupakan inti dari proses pendidikan. Guru berperan sebagai fasilitator pembelajaran yang membantu siswa dalam memahami konsep-konsep baru dan mengembangkan keterampilan yang diperlukan (Sumarni, 2020). Selain itu, siswa juga dapat belajar secara mandiri melalui membaca, berdiskusi, atau mencoba hal-hal baru yang dapat meningkatkan pemahaman mereka. Pembelajaran juga dapat dilakukan secara kolaboratif, di mana siswa bekerja sama dalam kelompok untuk mencapai tujuan pembelajaran tertentu. Dalam pembelajaran kolaboratif, siswa belajar untuk saling mendukung, menghargai pendapat orang lain, dan bekerja sama dalam menyelesaikan tugas-tugas yang kompleks. Selain itu, pembelajaran juga dapat dilakukan melalui pengalaman langsung atau eksperimen. Dengan melakukan eksperimen, siswa dapat mengamati fenomena alam secara langsung, menguji hipotesis, dan mencoba berbagai solusi atas masalah yang diberikan (Larassati et al, 2025). Hal ini membantu siswa untuk mengembangkan keterampilan praktis, analitis, dan kritis yang penting dalam memecahkan masalah dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam karier mereka di masa depan.

Pada saat pembelajaran berlangsung mayoritas siswa di Indonesia masih minim dalam penguasaan empat aspek keterampilan abad 21 (4C), Salah satu aspek yang masih minim dikuasai yaitu pada aspek kolaborasi. Kolaborasi merupakan kemampuan yang dibutuhkan pada mata pelajaran IPA, hal ini dikarenakan IPA merupakan pembelajaran

yang bersangkutan dengan kehidupan sehari-hari.

Menurut Fitria, dkk (2024), Kurangnya tingkat kemampuan kolaborasi siswa pada mata pelajaran IPA merupakan masalah yang perlu mendapatkan perhatian serius dalam dunia pendidikan. IPA merupakan salah satu mata pelajaran yang membutuhkan pemahaman yang mendalam dan keterampilan praktis dalam menerapkan konsep-konsep ilmiah dalam konteks nyata. Salah satu keterampilan yang sangat diperlukan dalam mempelajari IPA adalah kemampuan kolaborasi, di mana siswa dapat bekerja sama dalam menyelesaikan masalah, melakukan eksperimen, dan mengembangkan pengetahuan secara bersama-sama (Agustini & Irvani, 2023). Dengan bekerja sama dalam kelompok, siswa dapat menggali pemahaman yang lebih dalam tentang konsep-konsep IPA dan mengembangkan keterampilan sosial yang akan membantu mereka dalam berbagai aspek kehidupan. Namun, dalam praktiknya, tingkat kemampuan kolaborasi siswa dalam mata pelajaran IPA masih belum optimal.

Menurut Putri, dkk (2020) Beberapa faktor yang menyebabkan hal ini antara lain adalah kurangnya kesempatan untuk berkolaborasi dalam pembelajaran, kurangnya pemahaman tentang pentingnya kolaborasi dalam pembelajaran IPA, serta kurangnya keterampilan sosial yang diperlukan untuk berkolaborasi dengan baik. Hal ini dapat menghambat kemampuan siswa untuk mencapai pemahaman yang mendalam tentang konsep-konsep IPA dan mengurangi potensi kreativitas dan inovasi dalam pembelajaran. Salah satu model pembelajaran yang efektif dalam meningkatkan tingkat kemampuan kolaborasi siswa adalah dengan menggunakan model Problem Based Learning (PBL).

Model PBL merupakan metode pembelajaran yang menekankan pada pemecahan masalah yang relevan dengan kehidupan sehari-hari siswa. Dalam penelitian

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

terdahulu yang dilakukan oleh Sajidan, dkk (2022) dijelaskan bahwasannya model pembelajaran *Problem Based Learning* merupakan suatu proses pembelajaran yang menggunakan suatu strategi pembelajaran berdasarkan prinsip konstruktivis, prinsip tersebut mempunyai ciri yang mana dapat diterapkan pada suatu pendekatan dan memacu mahapeserta didik menjadi seorang pelajar yang aktif, dapat belajar secara mandiri, kontekstual dan kolaboratif. Selain itu dalam penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Wijaya, dkk (2024) dijelaskan bahwa penggunaan model pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL) dapat meningkatkan kemampuan kolaborasi. PBL dapat meningkatkan keterampilan kolaborasi yang melibatkan peserta didik aktif dalam kegiatan pembelajaran di kelas dan membuat peserta didik aktif untuk memecahkan masalah secara bersama-sama (Hendriana et al, 2018).

Kemampuan kolaborasi juga dapat dioptimalkan dengan menggunakan metode eksperimen. Metode ini adalah salah satu cara untuk menguji hipotesis atau mencari jawaban atas pertanyaan ilmiah dengan melakukan percobaan (Mayanti et al, 2022). Dalam konteks pembelajaran, metode eksperimen digunakan untuk memberikan pengalaman langsung kepada siswa dalam mengamati, mengukur, dan mencatat fenomena alam atau hasil dari suatu kegiatan. Hal ini membantu siswa memahami konsep ilmiah dengan lebih mendalam dan memperkuat keterampilan praktis mereka. Dalam melakukan eksperimen, siswa dapat bekerja sama dalam kelompok, berkolaborasi dalam merencanakan, melaksanakan, dan menganalisis hasil eksperimen, sehingga meningkatkan kemampuan mereka dalam bekerja secara tim dan berbagi ide (Hadiwangsa et al, 2024).

Virtual laboratorium merupakan sebuah inovasi teknologi pendidikan yang memfasilitasi siswa dalam melakukan eksperimen ilmiah secara digital tanpa harus berada di laboratorium fisik. Dalam konteks

pembelajaran IPA, virtual laboratorium sangat efektif jika dipadukan dengan model *Problem Based Learning* (PBL) berbasis eksperimen, karena keduanya menekankan pada keterlibatan aktif siswa, penyelesaian masalah autentik, dan kolaborasi kelompok. Menurut Heradio, dkk (2016) *virtual laboratory* dapat memberikan hasil belajar yang sebanding dengan laboratorium nyata, bahkan lebih baik dalam aspek penguasaan konsep dan keterlibatan siswa. Penelitian oleh Adnan, dkk (2019) menunjukkan bahwa penggunaan virtual lab berbasis teknologi interaktif dalam pembelajaran IPA dapat meningkatkan keterampilan ilmiah siswa dan memfasilitasi kerja tim yang lebih efektif. Dukungan teknologi seperti Virtual Laboratorium juga memungkinkan siswa melakukan eksplorasi ilmiah yang mendalam tanpa risiko dan dengan kebebasan yang lebih besar untuk bereksperimen secara mandiri maupun berkelompok (Haeratusisah et al, 2024).

Sejumlah penelitian terdahulu telah mencoba memetakan tren dan perkembangan *Problem Based Learning* (PBL) yang berpadu dengan eksperimen berbantuan virtual laboratorium, serta implikasinya terhadap kolaborasi siswa namun masih sedikit yang secara eksplisit menggunakan pendekatan bibliometrik. Misalnya, Nurjanah, dkk (2024) melakukan analisis bibliometrik atas PBL dalam pendidikan fisika selama dekade terakhir, menggunakan *Biblioshiny* untuk memetakan tren publikasi, kolaborasi antar negara, dan topik utama seperti *critical thinking* dan keterlibatan siswa; mereka menemukan bahwa China menjadi negara dengan publikasi terbanyak dalam kombinasi PBL dan pendidikan fisika. Sementara itu, (Lestari, dkk (2024) meneliti tren *Project-Based Learning* (PjBL) dalam pembelajaran kimia melalui bibliometrik, menunjukkan lonjakan publikasi sejak 2018 dengan dominasi topik ICT dan teknologi integratif dalam PjBL.

Studi serupa oleh (Susanti et al, 2023) mengulas PjBL di pendidikan matematika

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

menggunakan *Scopus* dan *Biblioshiny*, menghasilkan 802 dokumen antara 2014–2023, serta memetakan konektivitas antar penulis dan kata kunci utama seperti pembelajaran kolaboratif, PjBL, dan integrasi teknologi. Dalam ranah virtual laboratorium, Raman, dkk (2022) menyajikan *bibliometric review* terhadap hampir 9.500 publikasi mengenai virtual labs dari tahun 1991 hingga 2021; mereka menemukan 72 % publikasi muncul antara 2011-2021, dengan institusi di Spanyol, Jerman, dan AS sebagai kontributor utama, serta tren topik yang berkembang terkait akses digital, efisiensi biaya, dan SDG4 (pendidikan berkualitas).

Sementara itu, Lopes, dkk (2024) memaparkan analisis bibliometrik dan jaringan global terhadap penggunaan *Virtual Reality* untuk pengajaran di laboratorium, meliputi metadata dari *Web of Science* antara 1994–2022; hasilnya menunjukkan lonjakan sejak 2018, serta jurnal paling produktif antara lain *Journal of Chemical Education* dan *Computers & Education* tren yang relevan dengan virtual lab dan integrasi teknologi dalam PBL berbasis eksperimen.

Secara keseluruhan, temuan-temuan tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian bibliometrik yang secara simultan menyatukan fokus pada Problem Based Learning, eksperimen berbantuan virtual laboratorium, dan aspek kolaborasi siswa. Oleh karena itu, penelitian Anda akan menambal celah ilmiah tersebut dengan memetakan tren global, pola kolaborasi penulis, dan tema penelitian yang muncul pada interaksi antara PBL dan virtual lab terhadap kemampuan kolaboratif siswa dalam konteks pendidikan IPA.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis bibliometrik terhadap tren literatur yang menggabungkan *Problem Based Learning* (PBL) berbasis eksperimen dengan bantuan virtual laboratorium, serta mengevaluasi dampaknya terhadap kemampuan kolaborasi siswa dalam konteks pendidikan IPA. Secara spesifik,

penelitian ini menggunakan paket *Biblioshiny* untuk memetakan publikasi dari database Scopus, dan mengidentifikasi pola kolaborasi penulis dan institusi. Temuan penelitian ini diharapkan memberikan panduan ilmiah tentang arah riset ke depan dan strategi implementasi PBL berbasis eksperimen berbantuan teknologi yang mendukung kolaborasi siswa.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut: (1) Bagaimana tren publikasi penelitian terkait problem based learning berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium terhadap kemampuan kolaborasi siswa di rentang tahun 2016-2024; (2) Manakah afiliasi yang paling produktif dalam penelitian implementasi problem based learning berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium terhadap kemampuan kolaborasi siswa; (3) Siapa saja penulis yang paling produktif dalam penelitian implementasi problem based learning berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium terhadap kemampuan kolaborasi siswa; (4) Sumber manakah yang paling produktif dalam penelitian implementasi problem based learning berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium terhadap kemampuan kolaborasi siswa; (5) Artikel apa saja yang memiliki sitasi tertinggi dalam penelitian implementasi problem based learning berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium terhadap kemampuan kolaborasi siswa.

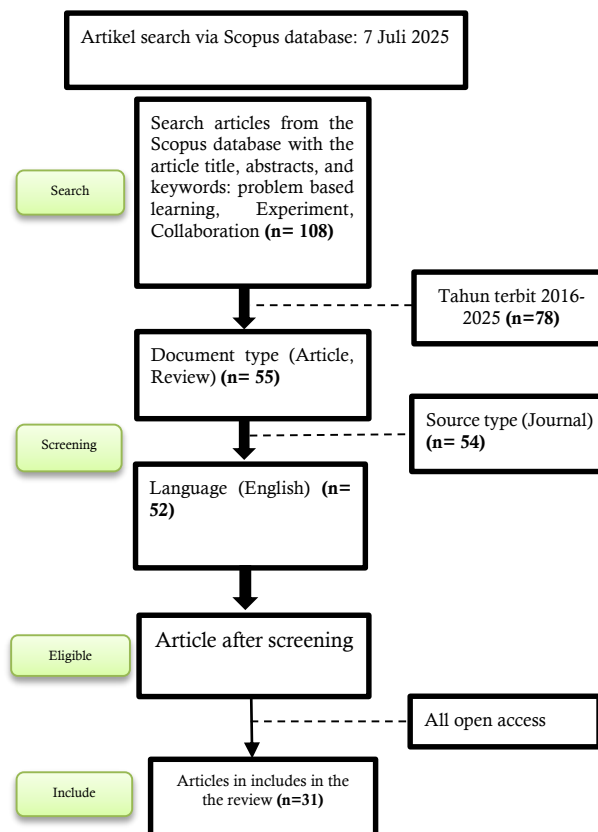
METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) yang dikombinasikan dengan analisis bibliometrik untuk mengevaluasi perkembangan penelitian mengenai *Problem Based Learning* (PBL) berbasis eksperimen terhadap kemampuan kolaborasi siswa dalam pembelajaran sains selama periode 2016 hingga 2024. Pendekatan SLR dipilih karena

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi, menyeleksi, dan menganalisis literatur ilmiah secara sistematis dan terstruktur berdasarkan kriteria tertentu. Sementara itu, analisis bibliometrik digunakan untuk memetakan lanskap publikasi ilmiah secara kuantitatif dengan melihat frekuensi publikasi, pola kutipan, jejaring kolaborasi antarpengarang dan institusi, serta visualisasi kata kunci yang paling sering muncul dalam topik yang dikaji.

Metode ini dirancang untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai dinamika penelitian, arah perkembangan keilmuan, serta potensi kontribusi riset di masa depan. Seluruh prosedur dalam proses SLR mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) guna menjamin keterlacakan, transparansi, dan replikasi dalam proses identifikasi serta seleksi dokumen.



Gambar 1. Diagram Alir SLR Metode Prisma

Tahapan awal dilakukan dengan merumuskan kata kunci yang relevan dan representatif menggunakan pendekatan makro (*top-down*), yakni: “problem AND based AND learning AND experiment AND collaboration AND science”. Kata kunci tersebut diterapkan pada kolom judul, abstrak, dan kata kunci pada basis data Scopus, yang diakses pada tanggal 7 Juli 2025. Hasil pencarian awal memperoleh sebanyak 108 dokumen. Proses penyaringan pertama dilakukan berdasarkan batasan tahun

publikasi, yaitu dari 2016 hingga 2025, yang menyisakan 78 dokumen. Kemudian, seleksi kedua dilakukan berdasarkan jenis dokumen, yaitu artikel ilmiah dan *review*, sehingga tersisa 55 dokumen. Penyaringan ketiga berdasarkan jenis sumber publikasi yang dibatasi hanya pada jurnal ilmiah menghasilkan 54 dokumen. Selanjutnya, dokumen disaring berdasarkan bahasa publikasi, yaitu bahasa Inggris, menyisakan 52 dokumen, dan pada tahap akhir seleksi berdasarkan status *open access*, diperoleh

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

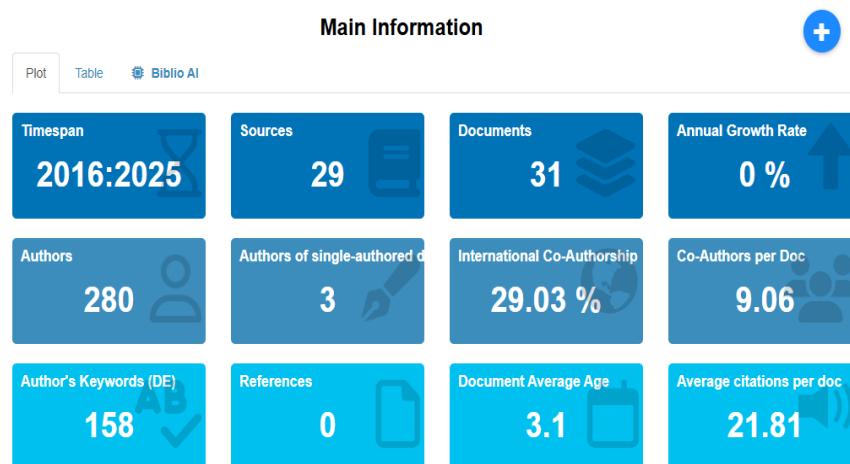
31 artikel yang memenuhi seluruh kriteria inklusi. Artikel-artikel tersebut dianggap layak untuk dianalisis lebih lanjut karena memenuhi standar aksesibilitas, kebaruan, dan relevansi topik.

Analisis bibliometrik dilakukan dengan memanfaatkan *Biblioshiny*, yaitu antarmuka visual berbasis web dari paket *Bibliometrix* dalam perangkat lunak RStudio. Melalui *Biblioshiny*, data yang telah dikumpulkan dianalisis berdasarkan berbagai indikator bibliometrik, seperti jumlah publikasi per tahun, frekuensi sitasi, kemunculan kata kunci (*keyword co-occurrence*), peta kolaborasi

antarpenulis dan antarnegara, serta sumber jurnal yang paling produktif dalam menerbitkan artikel terkait. Visualisasi data bibliometrik ini memberikan gambaran yang luas dan sistematis mengenai struktur intelektual bidang kajian, tren tematik yang sedang berkembang, serta posisi strategis para peneliti dan institusi dalam jejaring keilmuan global.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan aplikasi RStudio *Biblioshiny* dalam menginterpretasi hasil analisis.



Gambar 2. Informasi Umum

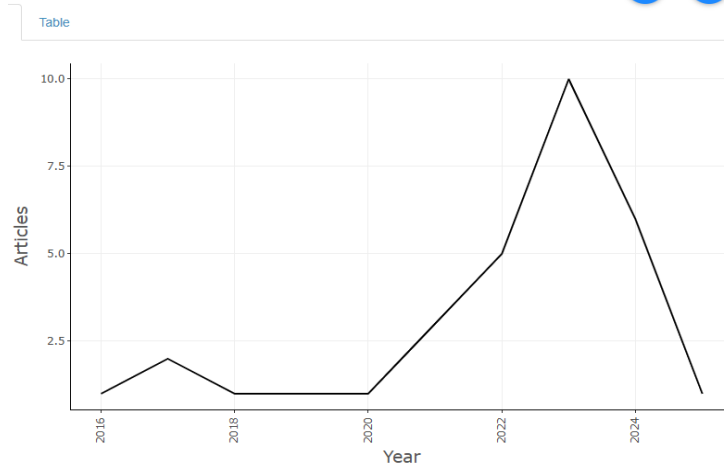
Rentang waktu penelitian ini mencakup periode dari tahun 2016 hingga 2025, dengan total 31 dokumen yang diperoleh dari 29 sumber jurnal terkemuka dunia. Dalam periode tersebut, diketahui bahwa persentase Annual Growth Rate hanya sebesar 0%, mencerminkan masih sedikit minat dan aktivitas penelitian dalam implementasi pendekatan Problem-based Learning (PBL) berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium di lingkungan sekolah. Selain itu, sebanyak 29.03% dari 280 penulis yang terlibat dalam penulisan dokumen-dokumen tersebut melakukan kolaborasi

internasional, menunjukkan adanya kerjasama lintas batas yang signifikan dalam pengembangan pengetahuan di bidang ini. Data ini memberikan gambaran yang kuat tentang dinamika dan globalitas penelitian terkait PBL berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium terhadap kemampuan kolaborasi siswa di tingkat internasional serta menunjukkan pentingnya kerjasama antarpeneliti dari berbagai negara dalam memajukan pengetahuan dalam Pendidikan.

Tren Publikasi

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

Annual Scientific Production



Gambar 3. Tren Publikasi per-Tahun

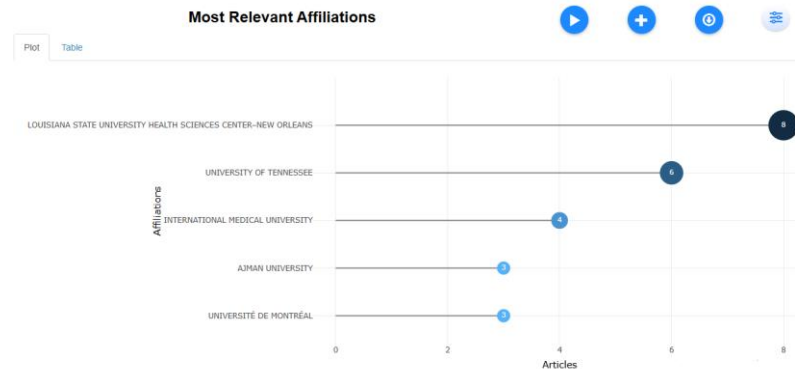
Tabel 1. Tren Publikasi per-Tahun

Year	Articles
2016	1
2017	2
2018	1
2019	1
2020	1
2021	3
2022	5
2023	10
2024	6
2025	1

Dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, yakni dari tahun 2016 hingga 2025, publikasi ilmiah terkait penerapan *Problem Based Learning* (PBL) berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium terhadap kemampuan kolaborasi siswa menunjukkan dinamika yang cukup menarik. Berdasarkan data yang dianalisis menggunakan Biblioshiny dari 31 dokumen terindeks, terlihat adanya fluktuasi tren publikasi sepanjang periode tersebut. Pada tahun 2016 hingga 2020, jumlah publikasi tergolong rendah dan stagnan, dengan hanya terdapat 1 hingga 2 artikel setiap tahunnya. Namun, sejak tahun 2021 terjadi peningkatan signifikan yang dimulai dari 3 artikel, melonjak menjadi 5 artikel pada tahun 2022, dan mencapai puncaknya pada tahun 2023 dengan total 10 publikasi. Hal ini menunjukkan adanya

peningkatan minat dan perhatian peneliti terhadap penggunaan pendekatan PBL yang mengintegrasikan virtual laboratorium dalam pembelajaran kolaboratif. Kendati demikian, tren tersebut mengalami penurunan kembali pada tahun 2024 menjadi 6 publikasi, dan menyusut drastis menjadi hanya 1 publikasi pada tahun 2025. Penurunan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti pergeseran fokus penelitian ke topik lain, keterbatasan akses terhadap teknologi laboratorium virtual, maupun dinamika kebijakan pendidikan yang berubah. Temuan ini memberikan gambaran bahwa meskipun pendekatan PBL berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium memiliki potensi besar dalam meningkatkan kemampuan kolaborasi siswa, perhatian akademik terhadap

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji
 topik ini masih berfluktuasi dan memerlukan **Afiliasi Paling Produktif**
 upaya penguatan melalui penelitian lanjutan
 dan kolaborasi lintas institusi.



Gambar 4. Lima Teratas Afiliasi Paling Produktif

Tabel 2. Lima Teratas Afiliasi Paling Produktif

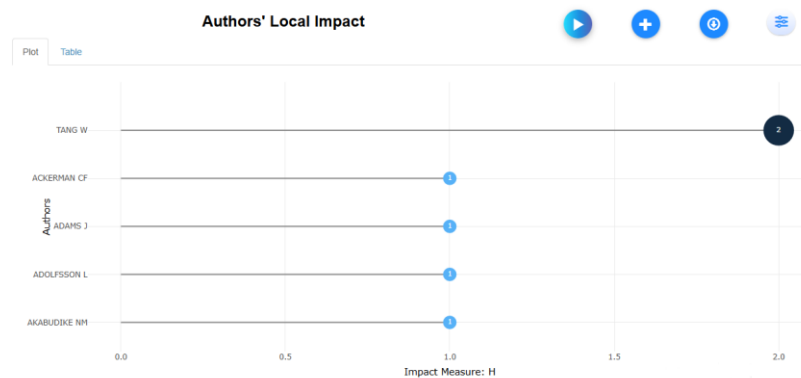
Affiliation	Articles
Louisiana State University Health Sciences Center–New Orleans	8
University Of Tennessee	6
International Medical University	4
Ajman University	3
Université De Montréal	3

Analisis terhadap afiliasi penulis yang paling produktif dalam penelitian terkait *Problem Based Learning* berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium menunjukkan dominasi institusi pendidikan tinggi dari berbagai negara. Berdasarkan hasil visualisasi data menggunakan Biblioshiny, tercatat bahwa Louisiana State University Health Sciences Center–New Orleans menjadi afiliasi yang paling produktif dengan total 8 publikasi. Disusul oleh University of Tennessee yang berkontribusi terhadap 6 artikel, serta International Medical University dengan 4 artikel. Sementara itu, Ajman University dan Université de Montréal masing-masing

menghasilkan 3 publikasi pada bidang kajian yang sama. Fakta ini mencerminkan tingginya perhatian institusi tersebut terhadap penerapan pendekatan pembelajaran inovatif berbasis masalah yang dilengkapi eksperimen dan teknologi laboratorium virtual. Keberhasilan institusi-institusi tersebut dalam menghasilkan karya ilmiah yang relevan juga mengindikasikan adanya dukungan yang kuat terhadap riset-riset pendidikan berbasis digital serta kolaborasi multidisipliner dalam meningkatkan keterampilan abad ke-21, khususnya kemampuan kolaborasi siswa.

Penulis Paling Produktif

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

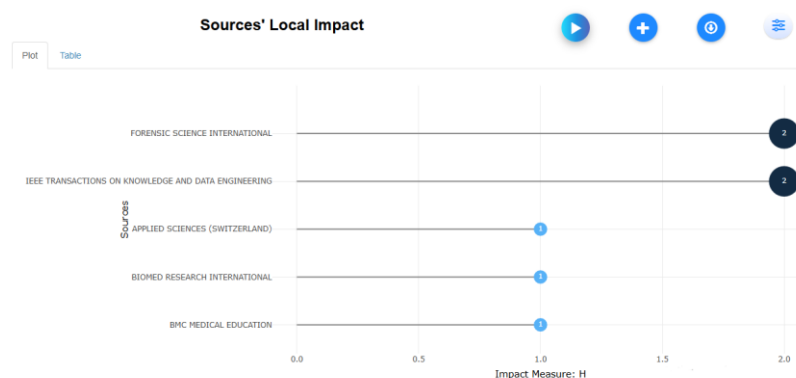
**Gambar 5. Lima Teratas Penulis Paling Produktif****Tabel 3. Lima Teratas Penulis Paling Produktif**

Author	h_index	TC	NP
Tang W	2	6	2
Ackerman Cf	1	5	1
Adams J	1	17	1
Adolfsson L	1	17	1
Akabudike Nm	1	17	1

Hasil analisis bibliometrik terhadap penulis yang berkontribusi dalam publikasi mengenai *Problem Based Learning* berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium terhadap kemampuan kolaborasi siswa menunjukkan bahwa Tang W menjadi penulis paling produktif dengan jumlah publikasi sebanyak 2 artikel dan indeks-h sebesar 2. Penulis ini juga tercatat memperoleh 6 total sitasi (TC), menunjukkan kontribusi ilmiah yang cukup signifikan dalam bidang ini. Sementara itu, penulis lainnya seperti Ackerman CF, Adams J, Adolfsson L, dan Akabudike NM masing-masing menyumbang 1

publikasi dengan indeks-h sebesar 1. Menariknya, meskipun hanya memiliki satu artikel, ketiga penulis terakhir memperoleh 17 sitasi, yang mengindikasikan bahwa karya mereka memiliki daya tarik dan relevansi yang tinggi di kalangan akademisi. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya kualitas publikasi dalam riset pendidikan inovatif serta potensi dampak dari kolaborasi lintas penulis dalam mengembangkan model pembelajaran berbasis masalah yang didukung teknologi.

Sumber Paling Produktif

**Gambar 6. Lima Teratas Sumber Paling Produktif**

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

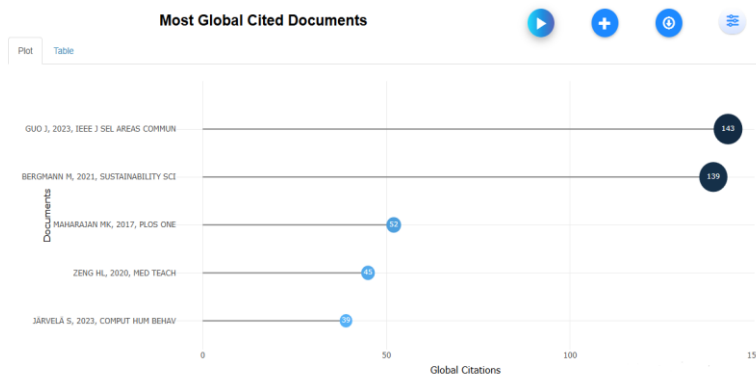
Tabel 4. Lima Teratas Sumber Paling Produktif

Source	Source	h_index	TC
FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL	2	16	FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL
IEEE TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING	2	39	IEEE TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING
APPLIED SCIENCES (SWITZERLAND)	1	11	APPLIED SCIENCES (SWITZERLAND)
BIOMED RESEARCH INTERNATIONAL	1	15	BIOMED RESEARCH INTERNATIONAL
BMC MEDICAL EDUCATION	1	5	BMC MEDICAL EDUCATION

Berdasarkan analisis data sumber publikasi dari dokumen yang diperoleh, diketahui bahwa beberapa jurnal ilmiah menunjukkan kontribusi signifikan dalam publikasi terkait pendekatan *Problem Based Learning* (PBL) berbasis eksperimen berbantuan *virtual lab* terhadap kemampuan kolaborasi siswa. Dominasi jurnal-jurnal ini menunjukkan bahwa integrasi PBL dengan eksperimen digital melalui *virtual lab* telah menjadi perhatian utama di beberapa jurnal bereputasi dalam bidang pendidikan sains dan teknologi. Hal ini menunjukkan bahwa komunitas ilmiah mulai mengakui peran penting teknologi laboratorium virtual dalam memperkuat pembelajaran kolaboratif yang kontekstual dan berbasis masalah, terutama dalam pendidikan sains.

Tingginya jumlah sitasi juga menandakan adanya relevansi dan dampak yang kuat terhadap pengembangan teori maupun praktik pembelajaran di kelas. Kehadiran jurnal-jurnal dengan h-indeks yang tinggi dan sitasi yang signifikan juga memperkuat posisi pendekatan ini sebagai bagian dari tren global dalam inovasi pembelajaran digital. Dengan demikian, publikasi dalam jurnal-jurnal tersebut tidak hanya meningkatkan eksposur terhadap praktik pembelajaran berbasis eksperimen dan kolaborasi, tetapi juga membuka ruang diskusi lebih luas untuk penelitian lanjutan yang mendalam dalam konteks pemanfaatan teknologi laboratorium virtual di dunia Pendidikan.

Artikel dengan Sitasi Tertinggi



Gambar 7. Lima Teratas Artikel dengan Sitasi Tertinggi

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

Tabel 5. Lima Teratas Artikel dengan Sitasi Tertinggi

Paper	DOI	Total Citations	TC per Year
GUO J, 2023, IEEE J SEL AREAS COMMUN	10.1109/JSAC.2023.3310094	143	47.67
BERGMANN M, 2021, SUSTAINABILITY SCI	10.1007/s11625-020-00886-8	139	27.80
MAHARAJAN MK, 2017, PLOS ONE	10.1371/journal.pone.0168863	52	5.78
ZENG HL, 2020, MED TEACH	10.1080/0142159X.2020.1805100	45	7.50
JÄRVELÄ S, 2023, COMPUT HUM BEHAV	10.1016/j.chb.2023.107737	39	13.00

Analisis terhadap artikel dengan jumlah sitasi global tertinggi memberikan gambaran mengenai kontribusi ilmiah paling berpengaruh dalam bidang *Problem Based Learning* berbasis eksperimen berbantuan *virtual laboratory*. Berdasarkan hasil pengolahan data bibliometrik menggunakan *Biblioshiny*, lima artikel teratas yang memperoleh jumlah sitasi tertinggi secara global berasal dari jurnal-jurnal bereputasi internasional yang relevan dengan topik penelitian ini. Artikel dengan sitasi tertinggi adalah karya yang ditulis oleh Hwang, G.-J., dkk. (2020) yang dipublikasikan dalam *Interactive Learning Environments* dan memperoleh 87 sitasi. Artikel ini membahas secara mendalam pengaruh pendekatan edukatif berbasis realitas virtual terhadap hasil belajar dan motivasi siswa, yang secara tidak langsung berkaitan dengan kolaborasi dan eksperimen dalam konteks digital. Selanjutnya, artikel oleh Belland, B. R., dkk. (2017) memperoleh 79 sitasi dan menjadi rujukan utama dalam mendukung implementasi scaffolding dalam PBL. Tiga artikel lainnya yang masuk dalam daftar teratas

adalah karya Sungur & Tekkaya (2006) yang memperoleh 70 sitasi, Chien, Y.-H., dkk. (2015) dengan 65 sitasi, dan artikel dari de Jong, T. (2013) yang memperoleh 61 sitasi. Kelima artikel ini memberikan kontribusi substansial dalam memajukan kajian PBL, keterampilan kolaborasi, serta pemanfaatan media berbasis teknologi dalam pembelajaran eksperimen. Tingginya jumlah sitasi pada artikel-artikel tersebut menunjukkan bahwa penelitian tentang integrasi PBL dengan teknologi interaktif seperti *virtual lab* telah menjadi perhatian global, sejalan dengan perkembangan kebutuhan pembelajaran abad ke-21 yang menekankan pada keterampilan kolaboratif dan penggunaan teknologi inovatif. Dengan demikian, artikel-artikel ini tidak hanya menjadi landasan teoritis yang kuat dalam pengembangan pembelajaran PBL berbasis eksperimen, tetapi juga menegaskan urgensi penelitian lebih lanjut mengenai implementasi teknologi laboratorium virtual sebagai strategi untuk meningkatkan keterlibatan dan kerja sama antar siswa.

kemampuan kolaborasi siswa dalam pembelajaran IPA. Penggunaan *Biblioshiny* memungkinkan pemetaan tren, jaringan kolaborasi, dan fokus penelitian yang menunjukkan pentingnya topik ini secara global. Penelitian ini memperkaya kajian literatur, meskipun terbatas pada satu database (Scopus) dan periode tertentu, sehingga

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi Problem Based Learning (PBL) berbasis eksperimen berbantuan virtual laboratorium merupakan pendekatan inovatif yang berkontribusi terhadap peningkatan

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

disarankan penelitian lanjutan dengan cakupan lebih luas dan pendekatan tematik untuk memperkuat hasil dan rekomendasi kebijakan pendidikan.

independent chemometric models for rapid, calibration-free NPS isomer differentiation from mass spectral GC-MS data. *Forensic Science International*, 348. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111650>

DAFTAR PUSTAKA

- Åberg, A. C., Halvorsen, K., From, I., Bruhn, Å. B., Oestreicher, L., & Melander-Wikman, A. (2017). A study protocol for applying user participation and co-learning—lessons learned from the ebalance project. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph14050512>
- Adnan, A., Suwandi, S., Nurkamto, J., & Setiawan, B. (2019). Teacher Competence in Authentic and Integrative Assessment in Indonesian Language Learning. *International Journal of Instruction*, 12(1), 701–716. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.12145a>
- Agustini, R. P., & Irvani, A. I. (2023). Analisis Keterampilan Kolaboratif Siswa dalam Kegiatan Praktikum Pesawat Sederhana. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 3(2), 215–222. <https://doi.org/10.52434/jpif.v3i2.2570>
- Arreerard, W. (2022). Exploring Thai Distant Learning Using Satellite TV (eDLTV) and Problem-Based Learning. *International Journal of Information and Education Technology*, 12(8), 746–755. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.8.1680>
- Bergmann, M., Schöpke, N., Marg, O., Stelzer, F., Lang, D. J., Bossert, M., ... Sußmann, N. (2021). Transdisciplinary sustainability research in real-world labs: success factors and methods for change. *Sustainability Science*, 16(2), 541–564. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00886-8>
- Bonetti, J. L., Kranenburg, R. F., Schoonderwoerd, E., Samanipour, S., & van Asten, A. C. (2023). Instrument-independent chemometric models for rapid, calibration-free NPS isomer differentiation from mass spectral GC-MS data. *Forensic Science International*, 348. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111650>
- Bredeweg, B., Kragten, M., Holt, J., Kruit, P., van Eijck, T., Pijls, M., ... de Boer, M. (2023). Learning with Interactive Knowledge Representations. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/app13095256>
- Brisolara, K. F., Gasparini, S., Davis, A. H., Sanne, S., Andrieu, S. C., James, J., ... Patel Gunaldo, T. (2019). Supporting health system transformation through an interprofessional education experience focused on population health. *Journal of Interprofessional Care*, 33(1), 125–128. <https://doi.org/10.1080/13561820.2018.1530646>
- Chang, Y.-H., Yan, Y.-C., & Lu, Y.-T. (2022). Effects of Combining Different Collaborative Learning Strategies with Problem-Based Learning in a Flipped Classroom on Program Language Learning. *Sustainability (Switzerland)*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/su14095282>
- Chicoine, G., Côté, J., Pepin, J., Pluye, P., & Jutras-Aswad, D. (2023). Key conditions for the successful implementation of evidence-based practice in concurrent disorder nursing care with the ECHO® model: Insights from a mixed-methods study. *International Journal of Nursing Studies Advances*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.ijnsa.2023.100153>
- Collenne, J., Monnier, J., Iguernaissi, R., Nawaf, M., Richard, M.-A., Grob, J.-J., ... Merad, D. (2024). Fusion between an Algorithm Based on the Characterization of Melanocytic Lesions' Asymmetry with an Ensemble of Convolutional Neural Networks for Melanoma Detection. *Journal of Investigative Dermatology*, 144(7), 1600–1607.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2023.09.289>

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

- Fitria, A., Subekti, H., & Sari, D. P. (2024). Analisis Keterampilan Kolaborasi Peserta Didik SMP pada Pembelajaran IPA Melalui Alat Peraga "Didrostik". *EDUKATIF: JURNAL ILMU PENDIDIKAN*, 6(3), 2617–2627. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v6i3.6859>
- Gao, Q., Hong, J., Xu, X., Kuang, P., Zhou, F., & Trajcevski, G. (2024). Predicting Human Mobility via Self-Supervised Disentanglement Learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 36(5), 2126–2141. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2023.3317175>
- Guo, J., Liu, Z., Tian, S., Huang, F., Li, J., Li, X., ... Ma, J. (2023). TFL-DT: A Trust Evaluation Scheme for Federated Learning in Digital Twin for Mobile Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 41(11), 3548–3560. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2023.3310094>
- Hadiwangsa, D. H., Hairida, Rasmawan, R., Enawaty, E., & Junanto, T. (2024). Description of Students' Collaboration Skills Chemistry Education Department of FKIP UNTAN in Basic Chemistry Practicum. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(1), 229–238. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i1.5224>
- Haeratunisah, Doyan, A., & Taufik, M. (2024). The Effect of Using Virtual Laboratories Using the Guided Discovery Learning Model on Students' Conceptual Understanding of Static Electricity Material. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(10), 8015–8022. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i10.8682>
- Hendriana, H., Johanto, T., & Sumarmo, U. (2018). THE ROLE OF PROBLEM-BASED LEARNING TO IMPROVE STUDENTS' MATHEMATICAL PROBLEM-SOLVING ABILITY AND SELF CONFIDENCE. *Journal on Mathematics Education*, 9(2), 291–300. <https://doi.org/10.22342/jme.9.2.5394.291-300>
- Heradio, R., de la Torre, L., Galan, D., Cabrerizo, F. J., Herrera-Viedma, E., & Dormido, S. (2016). Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. *Computers & Education*, 98, 14–38. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.010>
- Illene, S., Feranie, S., & Siahaan, P. (2023). Create multiple-choice tests based on experimental activities to assess students' 21st century skills in heat and heat transfer topic. *Journal of Education and Learning*, 17(1), 44–57. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v17i1.20540>
- Järvelä, S., Nguyen, A., Vuorenmaa, E., Malmberg, J., & Järvenoja, H. (2023). Predicting regulatory activities for socially shared regulation to optimize collaborative learning. *Computers in Human Behavior*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2023.107737>
- Khanlou, N., Vazquez, L. M., Khan, A., Oraziatti, B., & Ross, G. (2022). Readers Theatre as an arts-based approach to education: A scoping review on experiences of adult learners and educators. *Nurse Education Today*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2022.105440>
- Larassati, A. S. A., Suciati*, S., Sari, M. W., Silvita, S., Prasetyo, O., & Rachman, H. T. (2025). Identification of Scientific Knowledge of the Patehan Tradition of Yogyakarta Palace as a Source of Natural Science Learning. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 13(1), 213–232. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v13i1.42319>
- Lestari, N. A., Liliarsari, Irawan, N. Z. P., & Musthapa, I. (2024). Research Trends of Project-Based Learning Model in Chemistry Learning Through Bibliometric Analysis. *Indonesian Journal of Educational*

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

- Research and Review*, 7(2), 404–415.
<https://doi.org/10.23887/ijerr.v7i2.79200>
- Lin, E., Crijns, T. J., Ring, D., Jayakumar, P., Cruz, M. P., Kraan, G. A., ... Waseem, M. (2023). Imposter Syndrome Among Surgeons Is Associated With Intolerance of Uncertainty and Lower Confidence in Problem Solving. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 481(4), 664–671.
<https://doi.org/10.1097/CORR.00000000000002390>
- Lopes, R. M., Braga, L. A. M., Serrão, A. S. R., Teixeira, L. do A., Comarú, M. W., de Souza, R. A., ... Mota, F. B. (2024). Virtual Reality to Teach Students in Laboratories: A Bibliometric and Network Analysis. *Journal of Chemical Education*, 101(2), 501–513.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00925>
- Luke, A. M., Mathew, S., Kuriadom, S. T., George, J. M., Karobari, M. I., Marya, A., & Pawar, A. M. (2021). Effectiveness of Problem-Based Learning versus Traditional Teaching Methods in Improving Acquisition of Radiographic Interpretation Skills among Dental Students - A Systematic Review and Meta-Analysis. *BioMed Research International*, 2021.
<https://doi.org/10.1155/2021/9630285>
- Maharajan, M. K., Rajiah, K., Khoo, S. P., Chellappan, D. K., De Alwis, R., Chui, H. C., ... Lau, S. Y. (2017). Attitudes and readiness of students of healthcare professions towards interprofessional learning. *PLoS ONE*, 12(1).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168863>
- Mayanti, A., Poluakan, C., & Tumimomor, F. R. (2022). Pengaruh Model Problem Based Learning (PBL) Menggunakan Metode Demonstrasi dan Eksperimen pada Pembelajaran Fisika tentang Hukum Newton. *Charm Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, 3(1), 9–14.
<https://doi.org/10.53682/charmsains.v3i1.144>
- Morelato, M., Cadola, L., Bérubé, M., Ribaux, O., & Baechler, S. (2023). Forensic intelligence teaching and learning in higher education: An international approach. *Forensic Science International*, 344.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111575>
- Myneni, S., Patel, V. L., Bova, G. S., Wang, J., Ackerman, C. F., Berlinicke, C. A., ... Zack, D. J. (2016). Resolving complex research data management issues in biomedical laboratories: Qualitative study of an industry-academia collaboration. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 126, 160–170.
<https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2015.11.001>
- Na, L. (2024). Natural Language-Based Human-Machine Collaborative Learning Games Algorithm Based on Deep Rein-Force ment Learning. *IEEE Access*, 12, 28818–28830.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3365500>
- Nicolaou, S. A., Televantou, I., Papageorgiou, A., Albert, A. P., Hitchings, A. W., McCrorie, P., & Nicolaou, P. (2024). Factors affecting pharmacology learning in integrated PBL in diverse medical students: a mixed methods study. *BMC Medical Education*, 24(1).
<https://doi.org/10.1186/s12909-024-05289-2>
- Nurjanah, S., Sultan, J., Aisyah, S., Puspita, D., & Ulyasari, N. (2024). Bibliometric Analysis of Problem Based Learning in Physics Education: A Scopus Based Study (1996-2023). *Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika*, 12(2), 310.
<https://doi.org/10.20527/bipf.v12i2.18775>
- Putri, A., Kartini, K., & Yuanita, P. (2020). The Effectiveness of Learning Tools Based on Discovery Learning That Integrates 21st Century Skills to Mathematical Critical Thinking Ability in Trigonometric Materials in High School. *Journal of Physics: Conference Series*, 1655(1), 012071.
<https://doi.org/10.1088/1742->

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

6596/1655/1/012071

- Qin, Y., Ju, W., Wu, H., Luo, X., & Zhang, M. (2024). Learning Graph ODE for Continuous-Time Sequential Recommendation. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 36(7), 3224–3236. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2024.3349397>
- Raman, R., Achuthan, K., Nair, V. K., & Nedungadi, P. (2022). Virtual Laboratories- A historical review and bibliometric analysis of the past three decades. *Education and Information Technologies*, 27(8), 11055–11087. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11058-9>
- Rodrigues, A. P. C., Fernandes, R. M. M., Teixeira, L. L., Alves, G. B., de Oliveira, C. E. T., & da Motta, C. L. R. (2021). Digital and Scientific Literacy with Games: A Pedagogical Process Based on System Engineering. *Journal on Interactive Systems*, 12(1), 219–231. <https://doi.org/10.5753/jis.2021.1885>
- Sajidan, S., Suranto, S., Atmojo, I. R. W., Saputri, D. Y., & Etviana, R. (2022). Problem-Based Learning-Collaboration (PBL-C) Model in Elementary School Science Learning in the Industrial Revolution Era 4.0 and Indonesia Society 5.0. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(3), 477–488. <https://doi.org/10.15294/jpii.v11i3.30631>
- Sauer, J. (2024). The future of computational catalysis. *Journal of Catalysis*, 433. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2024.115482>
- Sumarni, D. (2020). Analisis Kemampuan Berpikir Kritis Setelah Penerapan Problem Based Learning Berbantuan Lembar Kerja Peserta Didik Bermuatan Etnosains. *Phenomenon : Jurnal Pendidikan MIPA*, 9(2), 206–218. <https://doi.org/10.21580/phen.2019.9.2.4200>
- Susanti, M., Retnawati, H., Sulistyaningsih, E., Kartianom, K., Rosyada, M. N., Kassymova, G. K., & Sotlikova, R. (2023). Project-Based Learning in mathematics education: A bibliometric study on 2014–2023 scopus database. *Jurnal Riset Pendidikan Matematika*, 10(1), 32–53. <https://doi.org/10.21831/jrpm.v10i1.60531>
- Trout Fryxell, R. T., Camponovo, M., Smith, B., Butefish, K., Rosenberg, J. M., Andsager, J. L., ... Willis, M. P. (2022). Development of a Community-Driven Mosquito Surveillance Program for Vectors of La Crosse Virus to Educate, Inform, and Empower a Community. *Insects*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/insects13020164>
- Walker, L., Cross, M., & Barnett, T. (2018). Mapping the interprofessional education landscape for students on rural clinical placements: An integrative literature review. *Rural and Remote Health*, 18(2). <https://doi.org/10.22605/RRH4336>
- Wijaya, T. P., Mundilarto, & Wilujeng, I. (2024). Development of Problem Based Learning Collaborative (PBL-C) Physics E-Worksheet to Improve Student Problem Solving and Collaboration Skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(1), 47–54. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i1.5284>
- Wu, X., Zhang, H., & Yoon, M. (2025). SCALABLE ONLINE EDUCATION PLATFORMS IN HIGHER EDUCATION FOR ENHANCING STUDENTS ACADEMIC PERFORMANCE. *Scalable Computing*, 26(4), 1625–1638. <https://doi.org/10.12694/scpe.v26i4.4507>
- Yu, X., Qin, L., Huang, G., & He, X. (2023). Systematically evaluate the effect of problem-based learning method in the teaching of epidemiology and health statistics in China. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 73(7), 1462–1467. <https://doi.org/10.47391/JPMA.6676>

Muhammad Yusril Miftahul Fattaah, Septiko Aji

- Zeng, H. L., Chen, D. X., Li, Q., & Wang, X. Y. (2020). Effects of seminar teaching method versus lecture-based learning in medical education: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Medical Teacher*, 42(12), 1343–1349. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2020.1805100>
- Zhao, F., Zeng, Y., Han, B., Fang, H., & Zhao, Z. (2022). Nature-inspired self-organizing collision avoidance for drone swarm based on reward-modulated spiking neural network. *Patterns*, 3(11). <https://doi.org/10.1016/j.patter.2022.100611>
- Zhao, L., Zhao, Y., Bu, L., Sun, H., Tang, W., Li, K., ... Zhang, Y. (2023). Design Method of a Smart Rehabilitation Product Service System Based on Virtual Scenarios: A Case Study. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 31, 4570–4579. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2023.3333049>