

Unveiling trends in physics learning with robotics from 2014 to 2024: A bibliometric analysis

Sifa Rahmawati, Handjoko Permana, Firmanul Catur Wibowo

Artikel ini telah dipresentasikan pada kegiatan Seminar Nasional Fisika (Sinafi X) & International Physics Conference (IPC)
Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia
9 November 2024

Abstract

This study examines 682 articles on physics learning with robotics sourced from scopus, published from 2014 to 2024. The main objective of this study is to uncover the application of robotics in physics learning through bibliometric analysis using R software. This analysis aims to identify, analyze, and present recent trends relevant to the role of robotics in physics learning. The results show that the dominant topics in this field include robotics, deep learning, and reinforcement learning. The number of publications increases significantly, peaking in 2023 with 122 documents, before declining to 112 documents in 2024. The United States is the country with the most authors and contributors with 81 publications, making it a major research center in physics learning with robotics. In addition, the most affiliated institution is the University of California with 48 articles, and the journal "Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation" is the most relevant source with 44 publications. Increased international collaboration and cross-disciplinary research is expected to continue to spur innovation in this field. In the future, further research is needed to optimize the use of robotics, especially in improving students' computational ability in physics learning.

Keywords: Bibliometric Analysis · Physics Learning · Robotics · Scopus

PENDAHULUAN

Pendidikan merupakan sebuah upaya yang dilakukan secara sistematis dan sadar untuk mengembangkan potensi individu, dengan pendidikan dapat mempersiapkan diri setiap individu dalam kemampuannya untuk berperan dalam suatu lingkungan masyarakat (Pratomo & Herlambang, 2021; Ziervogel et al., 2022). Pendidikan telah lama dikenal sebagai landasan pembangunan masyarakat, memainkan peran penting dalam mempersiapkan individu untuk menavigasi kompleksitas kehidupan modern (González-salamanca et al., 2020). Di abad ke-21, pesatnya kemajuan teknologi dan semakin pentingnya literasi ilmiah telah meningkatkan kebutuhan akan pendekatan pembelajaran yang tidak hanya memberikan pengetahuan, tetapi juga menumbuhkan pemikiran kritis, kreativitas, dan keterampilan pemecahan masalah (Abulibdeh, Zaidan, Abulibdeh, 2024). Pendidikan tidak hanya bertujuan untuk memberikan informasi, tetapi juga untuk membentuk karakter dan meningkatkan kemampuan berpikir kritis serta kreativitas (Chazan, 2021).

✉ Sifa Rahmawati Agus Setyo Budi Firmanul C Wibowo
sifakhaliq@gmail.com Agussb1963@gmail.com fcwibowo@unj.ac.id

Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, Indonesia

How to Cite: Rahmawati, S., Permana, H., & Wibowo, F. C. (2024). Unveiling trends in physics learning with robotics from 2014 to 2024: A bibliometric analysis. *Prosiding Seminar Nasional Fisika & International Physics Conference*, 3(1), 136-148. <https://proceedings.upi.edu/index.php/sinafi/>

Penggunaan robotik dalam pembelajaran fisika telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir, mendapatkan daya tarik sebagai alat yang ampuh untuk meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep-konsep fisika inti (Trevissioi, 2024). Dengan menggabungkan robotik, siswa dapat secara langsung terlibat dengan fenomena seperti gerak, gaya, dan energi dalam eksperimen waktu nyata. Sifat interaktif dari robotik tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual, tetapi juga menumbuhkan keterlibatan dan motivasi dalam belajar fisika (Papadakis, 2020). Namun, meskipun kehadirannya yang terus berkembang dalam lingkungan pendidikan, pemeriksaan komprehensif tentang bagaimana robotik telah membentuk pembelajaran fisika masih terbatas.

Integrasi robotik dalam pembelajaran fisika telah menunjukkan perkembangan signifikan, menawarkan pengalaman praktis yang mendalam bagi peserta didik untuk memahami fenomena fisika yang kompleks dan efektif memperkuat pemahaman konsep-konsep fisika dalam waktu yang lebih singkat (Ferrarelli & Iocchi, 2021). Robotik berfungsi sebagai alat dinamis yang mendorong praktik inovatif dan mengembangkan ekosistem pendidikan baru, mendorong siswa dan pendidik untuk terlibat dalam pengalaman belajar interaktif dan langsung dengan konsep-konsep abstrak seperti gerak, energi, dan gaya melalui aplikasi praktis (Ouyang & Xu, 2024). Pendekatan interaktif ini menciptakan lingkungan pembelajaran berbasis pengalaman, di mana siswa dapat memanipulasi variabel dan mengamati efeknya secara real-time, yang mendukung pemahaman lebih mendalam terhadap konsep-konsep dasar fisika (Tsivitanidou, Georgiou, & Ioannou, 2021). Meningkatnya aksesibilitas kit robotik di seluruh dunia semakin memperluas potensi penggunaan alat ini untuk meningkatkan pembelajaran fisika (Darmawansah et al., 2023).

Robotik telah menjadi alat penting dalam pendidikan karena kemampuannya untuk memfasilitasi pembelajaran secara efektif dan menarik (Anwar, et al., 2019). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa robotik memupuk keterlibatan aktif dan otonomi pada siswa, memungkinkan mereka mengambil peran yang lebih partisipatif dalam proses pembelajaran (Donnermann, et al., 2021). Meskipun integrasi robotik dalam pembelajaran fisika terus berkembang, analisis komprehensif mengenai tren penelitian di bidang ini masih sangat terbatas, terutama dalam konteks pembelajaran fisika (Collins, et al., 2021). Hal ini menunjukkan perlunya penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan robotik dalam mengajarkan konsep-konsep fisika, seperti gerak, serta bagaimana robotik dapat dioptimalkan untuk meningkatkan keterampilan berpikir komputasional siswa (Ouyang & Xu, 2024). Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas robotik, tetapi belum banyak publikasi ilmiah yang berfokus pada pembelajaran fisika berbantuan robotik. Bagaimanapun, penelitian-penelitian tersebut tidak menjelaskan apakah publikasi ilmiah yang relevan menghasilkan pengetahuan baru pada pembelajaran fisika, khususnya yang berkontribusi pada pembelajaran fisika dengan berbantuan robotik.

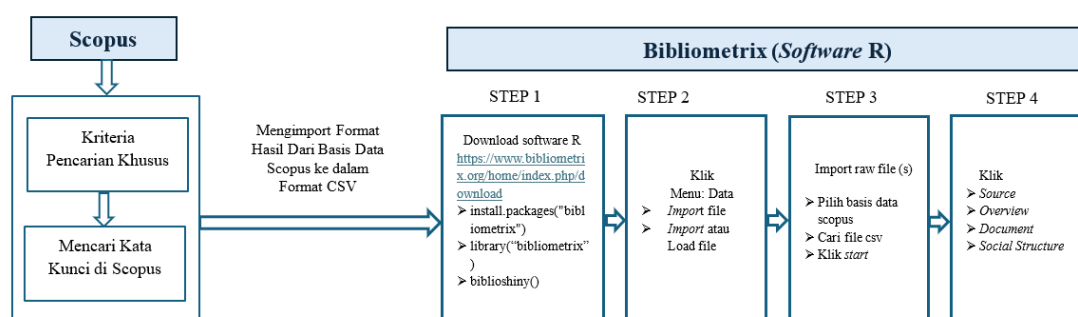
Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka dipandang penting dan perlu untuk melakukan analisis bibliometrik untuk mempelajari publikasi pembelajaran fisika berbantuan robotik yang ada, sebagai alat untuk mengembangkan dan meningkatkan pembelajaran fisika. Analisis bibliometrik menyediakan metode yang kuat untuk secara sistematis meneliti tren dalam penelitian akademis, menawarkan wawasan tentang publikasi penting, penulis yang berpengaruh, dan area studi yang sedang berkembang (Passas, 2024). Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis penelitian yang ada dalam literatur ilmiah tentang

pembelajaran fisika dengan berbantuan robotik sebagai perangkat pembelajaran. Hal ini akan berfungsi untuk memandu penelitian di masa depan seputar robotik, hubungannya dengan pembelajaran fisika, dan peran penting pada pembelajaran fisika.

Penelitian tentang pembelajaran fisika dengan robotik merupakan topik yang relatif baru dan belum banyak dikaji dalam tinjauan bibliometrik. Cakupan penelitian ini sangat luas dan bertujuan untuk mengidentifikasi negara, institusi, jurnal, dan penulis, dengan mempertimbangkan berbagai indikator bibliometrik sebagai berikut: 1) Tren publikasi dan referensi antara tahun 2014 dan 2024. 2) Perspektif global yang menganalisis negara-negara dengan jumlah artikel dan kutipan. 3) Institusi pendidikan tinggi dengan afiliasi terbanyak. 4) Sumber jurnal yang relevan. 5) Penulis paling produktif yang diakui berdasarkan jumlah publikasi yang terkait dengan pembelajaran fisika berbantuan robotik. 6) Kata kunci yang paling sering muncul dalam pembelajaran fisika berbantuan robotik.

METODE

Metode penelitian ini menggunakan basis data Scopus yang dianalisis menggunakan perangkat lunak bibliometrik R. Perangkat lunak R adalah alat statistik yang digunakan untuk analisis bibliometrik dan sitasi dalam penelitian (Dervis, 2019). Penelitian ini menerapkan metode kuantitatif yang memungkinkan analisis data dalam jumlah besar (Broman et al., 2019) dengan pendekatan meta-analisis (Carney et al., 2011). Meta-analisis dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis bukti empiris untuk menyusun indikator serta menggunakan pemetaan sains guna merepresentasikan hubungan antar topik dalam studi yang dianalisis (Prieto-Jiménez et al., 2021). Pemetaan sains memberikan visualisasi grafis untuk memahami keterkaitan dokumen dan area pengetahuan (Li et al., 2021). Dalam penelitian ini, subjek artikel yang dianalisis mencakup publikasi ilmiah yang relevan dengan “tren pembelajaran fisika berbantuan robotik” selama periode 2014–2024. Jenis artikel yang diseleksi meliputi penelitian eksperimental, studi literatur, dan tinjauan sistematis, dengan fokus pada kontribusi terhadap inovasi pembelajaran fisika. Artikel yang dipilih diidentifikasi menggunakan kata kunci “*Physics Learning Robotic*” dengan kriteria inklusi mencakup artikel yang dipublikasikan dalam jurnal bereputasi dan terindeks di Scopus.



Gambar 1. Desain Studi Bibliometrik dengan perangkat lunak R

Desain penelitian ini berbasis kuantitatif dengan pendekatan bibliometrik yang didukung oleh meta-analisis. Desain ini memungkinkan analisis pola publikasi, kolaborasi ilmiah, dan tema penelitian. Dalam meta-analisis, artikel yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis untuk mengidentifikasi indikator utama seperti jumlah publikasi, tren tahunan, dan kontribusi geografis. Proses seleksi artikel dilakukan secara sistematis untuk memastikan relevansi dengan

fokus penelitian. Perangkat lunak R dipilih sebagai instrumen peng analisis utama karena kemampuannya dalam memproses data bibliometrik secara komprehensif. Pustaka “bibliometrix” yang diinstal pada perangkat lunak R digunakan untuk analisis seperti tren publikasi tahunan, sumber jurnal relevan, kolaborasi antar negara, afiliasi institusi, dan analisis kata kunci. Perangkat lunak ini juga mampu menghasilkan visualisasi grafis, seperti peta tematik, *wordcloud*, dan jaringan kolaborasi, yang membantu memahami hubungan antar elemen penelitian. Teknik analisis yang digunakan meliputi:

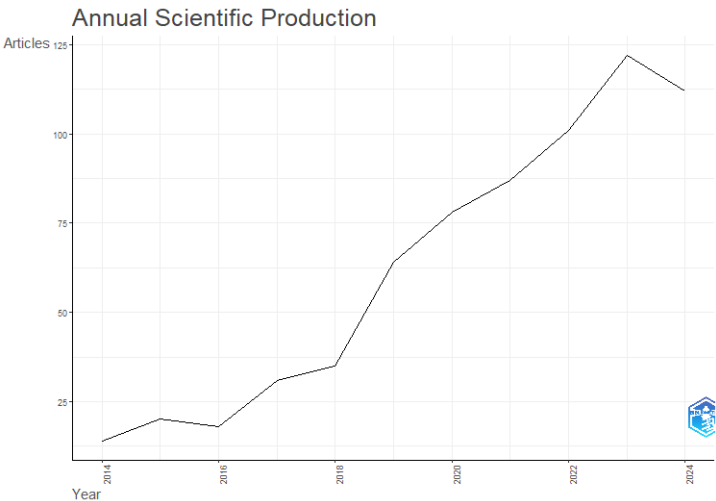
1. Analisis Tren Publikasi untuk mengidentifikasi pola jumlah publikasi dari tahun ke tahun.
2. Analisis Artikel Paling Banyak Dikutip untuk mengetahui penelitian yang memiliki pengaruh terbesar dalam bidang ini.
3. Negara Penulis Berkorespondensi untuk memetakan distribusi geografis penulis utama.
4. Kolaborasi Antar Negara untuk menggambarkan hubungan dan kerja sama penelitian antar negara.
5. Institusi dengan Afiliasi Terbanyak untuk mengidentifikasi institusi yang paling produktif dalam topik ini.
6. Sumber Jurnal Relevan untuk mengetahui jurnal yang paling sering memuat artikel terkait.
7. Kata Kunci yang Sering Muncul untuk mengidentifikasi tema dominan melalui visualisasi *wordcloud*.

Proses analisis dilakukan dalam dua tahap utama, yaitu pengumpulan data dan pengolahan data. Pada tahap pertama, data dikumpulkan dari basis data Scopus dengan menggunakan kata kunci “*Physics Learning Robotic*” yang menghasilkan 682 dokumen. Data tersebut diunduh dalam format .csv dan kemudian diproses menggunakan perangkat lunak R (Ruhana et al., 2023; Wibowo et al., 2024). Tahap kedua melibatkan instalasi pustaka bibliometrik, *import* file data, dan penerapan langkah-langkah analisis untuk menghasilkan visualisasi grafis dan interpretasi data. Validasi hasil dilakukan dengan memverifikasi data menggunakan basis data mentah dari Scopus untuk memastikan akurasi dan konsistensi. Validasi ini mencakup pemeriksaan ulang kata kunci, distribusi artikel, dan pengelompokan tema utama. Metode ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang sistematis tentang tren pembelajaran fisika berbantuan robotik dalam 10 tahun terakhir, mencakup distribusi geografis, kontribusi institusi, dan evolusi topik penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tren Publikasi

Dalam studi ini, data produktivitas penelitian, seperti jumlah publikasi dan kutipan per tahun, dikumpulkan dan dianalisis. Gambar 2 menunjukkan data jumlah artikel per tahun dalam kategori pembelajaran fisika dengan robotik. Data statistik pada grafik Gambar 2 menunjukkan 682 dokumen yang dipublikasikan. Sumbu x menunjukkan tahun, sedangkan sumbu y menunjukkan jumlah artikel kumulatif dari tahun 2014 hingga 2024.



Gambar 2. Jumlah Artikel yang membahas Pembelajaran Fisika dengan Robotik.

Hasil gambar 2 menunjukkan bahwa jumlah publikasi mulai mengalami penurunan pada tahun 2016 (18 dokumen), kemudian penurunan publikasi terbesar selama rentang 10 tahun terjadi pada tahun 2024 (112 dokumen). Bukti ini menunjukkan bahwa tahun 2023 merupakan tahun yang paling produktif dengan jumlah publikasi sebanyak 122 dokumen dan mengalami penurunan pada tahun 2024. Menurut Atman, Yavuz, dan Koçak (2023), yang menganalisis tren penelitian dalam bidang robotik pendidikan (ERR), banyak artikel yang dipublikasikan antara tahun 2014 hingga 2020, namun pada tahun 2021 dan seterusnya, penurunan jumlah publikasi mulai terlihat. Mereka menyatakan bahwa tren penurunan ini mungkin terkait dengan kurangnya penerapan teori pembelajaran yang kuat dalam banyak studi dan kesenjangan dalam penelitian yang lebih sistematis, yang berpotensi mempengaruhi minat akademik pada bidang ini. Temuan ini selaras dengan penurunan yang tercatat pada tahun 2024 dalam studi kami. Berdasarkan temuan ini, meskipun 2023 adalah tahun paling produktif dalam publikasi terkait pembelajaran fisika dengan robotik, penurunan pada 2024 mencerminkan tantangan dalam mempertahankan minat terhadap robotik dalam fisika berkontribusi pada dinamika ini.

Artikel Paling Banyak Dikutip

Tabel 1 menampilkan 10 artikel teratas yang paling banyak dikutip dalam hasil eksplorasi basis data Scopus dari tahun 2014 hingga 2024 mengenai pembelajaran fisika dengan robotik. Investigasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi kontribusi utama dari artikel yang paling banyak dikutip terhadap pembelajaran fisika berbantuan robotik, seperti meningkatkan keterampilan praktis dan algoritma pembelajaran, serta menciptakan lingkungan simulasi yang interaktif.

Tabel 1. Sepuluh Artikel Teratas yang Paling Banyak Dikutip

No.	Nama Penulis, Tahun	Hasil	Jumlah Kutipan
1.	Zhu, et al., 2017	Memberikan kontribusi pada pengembangan robot yang mampu beradaptasi dan bernavigasi di lingkungan nyata dengan efisien.	1105

No.	Nama Penulis, Tahun	Hasil	Jumlah Kutipan
2.	Castelvecchi, 2016	Memberikan kontribusi pada pemahaman kita tentang tantangan dan potensi jaringan saraf tiruan dalam pengembangan kendaraan otonom.	1019
3.	Potkonjak, et al., 2016	Memberikan kontribusi pada pemahaman kita tentang peran laboratorium virtual dan dunia virtual dalam meningkatkan pembelajaran sains, teknologi, dan rekayasa.	603
4.	Mahler, et al., 2019	Memberikan kontribusi pada pemahaman kita tentang optimalisasi robot dalam meningkatkan efektivitas dan keandalan proses penanganan objek di berbagai bidang, seperti e-commerce, manufaktur, dan layanan rumah.	392
5.	Wright, et al., 2022	Memberikan kontribusi pada pemahaman kita tentang penerapan algoritma hybrid untuk melatih sistem fisik yang dapat meningkatkan efisiensi energi dan kinerja dalam pembelajaran mesin di berbagai bidang, seperti robotik, material, dan sensor cerdas.	313
6.	Tan, et al., 2018	Memberikan kontribusi pada pemahaman pengembangan locomotion yang gesit pada robot berkaki empat melalui otomatisasi proses pembelajaran menggunakan teknik deep reinforcement learning.	302
7.	Brunke, et al., 2022	Memberikan kontribusi pada pemahaman metode pembelajaran aman dalam robotik dunia nyata dengan meninjau kemajuan dalam pengambilan keputusan yang aman di bawah ketidakpastian.	283
8.	Nakajima, 2020	Memberikan kontribusi pada pemahaman pemanfaatan komputasi reservoir fisik dalam robotik lunak sebagai perangkat pemrosesan informasi diberbagai bidang termasuk ilmu fisika.	222
9.	Melnikov, et al., 2018	Memberikan kontribusi pada pemahaman potensi pembelajaran mesin dalam laboratorium kuantum untuk merancang eksperimen fotonik yang menghasilkan keadaan entangled multi-foton.	212
10.	Xiang, et al., 2020	Memberikan kontribusi pada pengembangan robot asisten rumah tangga melalui lingkungan simulasi SAPIEN yang realistis, mendukung pelatihan algoritma pembelajaran robot untuk tugas interaksi.	208

Pada Tabel 1, artikel yang paling banyak dikutip adalah Zhu et al., 2017, dengan 1.105 kutipan. Artikel ini berfokus pada pengembangan robot adaptif yang mampu bernavigasi di lingkungan nyata, memberikan kontribusi besar pada penerapan robotik dalam pembelajaran fisika. Artikel oleh Castelvecchi, 2016 (1.019 sitasi), dan Potkonjak et al., 2016 (603 sitasi), juga berpengaruh karena meneliti tantangan jaringan saraf tiruan dan peran laboratorium virtual dalam pendidikan. Artikel lain, seperti Mahler et al., 2019, dan Wright et al., 2022, mengeksplorasi optimasi robot hibrida dan algoritma, sehingga memperluas potensi pembelajaran fisika dengan robotik.

Negara Penulis Berkorespodensi

Beberapa negara telah menerbitkan publikasi mengenai pembelajaran fisika dengan robotik. Pada bagian ini, negara-negara yang paling menonjol dari tahun 2014 hingga 2024 ditampilkan. Tabel 2 menunjukkan hasil publikasi dari 10 negara teratas dalam pembelajaran fisika dengan

robotik. Negara-negara dengan jumlah artikel terbanyak menduduki peringkat tertinggi dalam tabel tersebut.

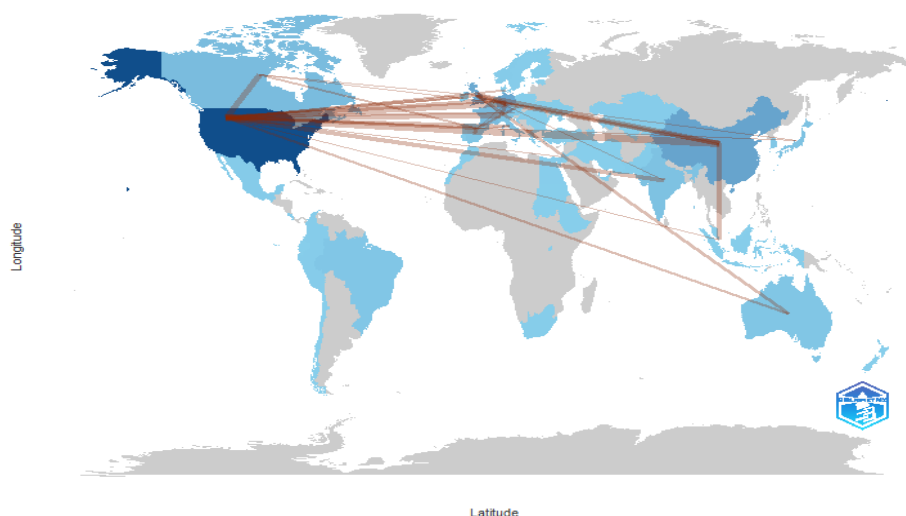
Tabel 2. 10 Negara Penulis Teratas yang Berkorespondensi dalam 10 Tahun Terakhir

No	Negara	Jumlah Artikel
1	USA	81
2	China	45
3	Germany	26
4	United Kingdom	22
5	Italy	14
6	Canada	13
7	France	13
8	Spain	13
9	Japan	11
10	Korea	8

Tabel 2 menunjukkan bahwa Amerika Serikat memimpin sebagai negara dengan jumlah penulis korespondensi tertinggi (81), yang mencerminkan peran dominannya dalam mengelola dan mengoordinasikan penelitian di bidang robotik dan pembelajaran fisika. Cina menyusul dengan 45 penulis, mencerminkan ekosistem penelitiannya yang berkembang pesat serta kontribusi yang semakin meningkat terhadap teknologi pendidikan. Jerman, Inggris, dan Italia berada di peringkat berikutnya dengan masing-masing 26, 22, dan 14 penulis, menunjukkan keberadaan pusat penelitian aktif di seluruh Eropa. Kanada, Prancis, dan Spanyol, masing-masing dengan 13 penulis, semakin menegaskan peran Amerika Utara dan Eropa dalam memajukan bidang ini. Selain itu, Jepang (11) dan Korea (8) juga berkontribusi secara signifikan, mencerminkan keterlibatan Asia dalam penelitian robotik dan penerapannya di dunia pendidikan. Distribusi ini menyoroti tren global, di mana lembaga-lembaga di berbagai benua secara aktif terlibat dalam penelitian dan penerbitan terkemuka. Hal ini menggarisbawahi sifat multidisiplin dan kolaboratif dari pembelajaran berbantuan robotik dalam fisika.

Kolaborasi Antar Negara

Gambar 3 menunjukkan bahwa Amerika Serikat merupakan pusat utama penelitian tentang pembelajaran fisika dengan robotik, dengan banyak koneksi ke negara-negara lain. Kolaborasi yang kuat juga terlihat di Eropa (Jerman, Inggris, Italia, dan Prancis) serta Asia (Cina dan Korea). Australia, Brasil, dan beberapa negara Afrika turut berpartisipasi, menyoroti sifat global dari penelitian ini dan kolaborasi lintas benua. Secara keseluruhan, peta ini mengilustrasikan bahwa penelitian tentang pembelajaran fisika dengan robotik menarik perhatian luas di berbagai belahan dunia, dengan kolaborasi lintas negara dan lintas benua menjadi kunci pengembangannya.



Gambar 3. Peta kolaborasi antar Negara

Institusi Dengan Afiliasi Terbanyak

Berdasarkan temuan dalam analisis bibliometrik, penting untuk mengidentifikasi institusi yang paling produktif atau memiliki afiliasi terbanyak. Data menunjukkan bahwa University of California menempati peringkat pertama dengan 48 afiliasi, diikuti oleh Carnegie Mellon University dengan 31 afiliasi. Department of Computer Science dan ShanghaiTech University berbagi posisi ketiga dengan 22 afiliasi. Georgia Institute of Technology berada di posisi keempat dengan 19 afiliasi, sementara Johns Hopkins University mencatat 18 afiliasi. Selain itu, Huazhong University of Science and Technology, Massachusetts Institute of Technology, dan University of Toronto masing-masing memiliki 16 afiliasi, sementara Cornell University melengkapi daftar dengan 15 afiliasi. Temuan ini menunjukkan konsistensi dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa institusi terkemuka dalam bidang robotik dan pendidikan teknologi seperti University of California dan Carnegie Mellon University sering kali berada di garis depan dalam publikasi ilmiah.

Tabel 3. 10 Institusi Teratas dengan Berafiliasi Terbanyak

No	Institusi	Publikasi
1.	University of California	48
2.	Carnegie Mellon University	31
3.	Department of Computer Science	22
4.	Shanghaitech University	22
5.	Georgia Institute of Technology	19
6.	Johns Hopkins University	18
7.	Huazhong University of Science And Technology	16
8.	Massachusetts Institute of Technology	16
9.	University of Toronto	16
10.	Cornell University	15

Sumber Jurnal Relevan

Bagian penting dalam tinjauan bibliometrik adalah mengidentifikasi sumber-sumber yang paling relevan dalam pembelajaran fisika berbasis robotik, karena mereka memberikan kontribusi terbesar terhadap publikasi di bidang ini. Sepuluh sumber teratas yang mempublikasikan penelitian dalam bidang ini adalah sebagai berikut: Proceedings - IEEE

International Conference on Robotics And Automation di posisi pertama dengan 44 publikasi, diikuti oleh IEEE Robotics and Automation Letters dengan 33 publikasi, dan IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems dengan 31 publikasi. Selanjutnya, Proceedings of Machine Learning Research berada di posisi keempat dengan 27 publikasi, sementara Journal of Physics: Conference Series mencatat 13 publikasi di tempat kelima. Sumber lainnya, seperti CEUR Workshop Proceedings dan Lecture Notes in Networks and Systems, masing-masing dengan 11 publikasi, serta ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, dan IEEE Access yang berbagi peringkat berikutnya dengan 10 publikasi, melengkapi daftar. Terakhir, ACM International Conference Proceeding Series menutup daftar dengan 9 publikasi. Distribusi ini menunjukkan bahwa penelitian tentang pembelajaran fisika berbasis robotik sebagian besar dipublikasikan di konferensi dan jurnal terkemuka di bidang robotik, otomasi, dan teknologi pendidikan. Namun, meskipun beberapa data sudah dianalisis dengan kajian eksternal dari tiga penelitian terdahulu, masih ada bagian yang belum dikaji secara mendalam, terutama yang terkait dengan sumber-sumber publikasi di jurnal pendidikan fisika dan integrasi robotik dalam kurikulum STEM.

Tabel 4. 10 Sumber Jurnal Relevan Teratas

No	Sumber	Publikasi
1	Proceedings - IEEE International Conference On Robotics And Automation	44
2	IEEE Robotics And Automation Letters	33
3	IEEE International Conference On Intelligent Robots And Systems	31
4	Proceedings Of Machine Learning Research	27
5	Journal Of Physics: Conference Series	13
6	Ceur Workshop Proceedings	11
7	Lecture Notes In Networks And Systems	11
8	Asee Annual Conference And Exposition, Conference Proceedings	10
9	IEEE Access	10
10	Acm International Conference Proceeding Series	9

Kata Kunci yang Sering Muncul

Kemunculan dengan kata kunci plus untuk Pembelajaran Fisika dengan Robotik mencakup 336 artikel dari berbagai sumber (jurnal, buku, dll). Lima kata kunci yang paling dominan adalah robotika, pembelajaran mendalam, pembelajaran penguatan, sistem pembelajaran, robot, dan pembelajaran mesin. Tren pembelajaran fisika berbantuan robot menunjukkan dominasi teknologi robotik dan kecerdasan buatan, terutama melalui pembelajaran penguatan, pembelajaran mendalam, dan sistem pembelajaran. Penggunaan robot sebagai alat pendidikan dan pemrograman telah memperkaya kurikulum fisika, menjadikannya lebih interaktif dan praktis. Robotik memungkinkan siswa untuk memahami konsep fisika melalui simulasi dan eksperimen langsung. Selain itu, interaksi manusia-robot membuka peluang baru dalam pengajaran, memperdalam pemahaman siswa. Analisis ini mengungkapkan bahwa inovasi di bidang robotik dan AI akan terus mendorong perkembangan pembelajaran fisika di masa depan. Gambar 4 dapat dilihat untuk mengetahui keseluruhan kata yang dapat digunakan mengenai kontribusi besar pembelajaran fisika dengan robotik.

topik penelitian pada tahun 2023 adalah robotika, pembelajaran mendalam, pembelajaran penguatan, sistem pembelajaran, robot, pembelajaran mesin. Secara keseluruhan, terdapat 10 negara dengan Produksi Ilmiah untuk pembelajaran fisika berbantuan robot. Tiga negara dengan kontribusi Scientific Production terbanyak adalah Amerika Serikat dengan 81 artikel, diikuti oleh Cina dengan 45 artikel, dan Jerman dengan 26 artikel. Robotik telah menjadi alat penting dalam meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep fisika yang kompleks melalui pengalaman belajar yang interaktif dan langsung. Robotik terbukti menjadi alat yang efektif untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep fisika yang kompleks melalui pengalaman belajar interaktif. Penerapan robotik tidak hanya meningkatkan keterlibatan siswa tetapi juga mendorong pengembangan keterampilan penting seperti pemikiran kritis, pemecahan masalah, dan pemikiran komputasi, yang relevan dalam lanskap pendidikan modern yang terus berkembang. Penelitian ini menunjukkan peningkatan publikasi yang signifikan tentang subjek ini, dengan kontribusi tertinggi pada tahun 2023, meskipun ada penurunan kecil pada tahun 2024. Di bidang ini, kolaborasi internasional terus menunjukkan kemajuan yang menjanjikan. Diharapkan bahwa penggunaan robotik dalam pendidikan fisika akan membantu siswa memahami konsep fisika abstrak menjadi menarik untuk dipelajari dan mendorong inovasi dalam cara mengajarkan konsep ilmiah yang kompleks. Hal ini berarti bahwa robotik akan menjadi bagian penting dari pembelajaran fisika dalam penelitian di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abulibdeh, A., Zaidan, E., & Abulibdeh, R. (2024). Navigating the confluence of artificial intelligence and education for sustainable development in the era of industry 4.0: Challenges, opportunities, and ethical dimensions. *Journal of Cleaner Production*, 140527.
- Anwar, S., Bascou, N. A., Menekse, M., & Kardgar, A. (2019). A systematic review of studies on educational robotics. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 9(2), 2.
- Arifin, Z., Sukarmin, & Sarwanto. (2021). Research and Trend on STEM Education in Indonesia : A Systematic Review Based on Bibliometric Mapping (2000-2020). 58(5), 3235–3243.
- Atman Uslu, N., Yavuz, G. Ö., & Koçak Usluel, Y. (2023). A systematic review study on educational robotics and robots. *Interactive Learning Environments*, 31(9), 5874-5898.
- Baharin, N., Kamarudin, N., & Manaf, U. K. A. (2018). Integrating STEM Education Approach in Enhancing Higher Order Thinking Skills. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 8(7), 810–821. <https://doi.org/10.6007/ija-rbss/v8-i7/4421>
- Belpaeme, T., Kennedy, J., Ramachandran, A., Scassellati, B., & Tanaka, F. (2018). Social robots for education: A review. *Science Robotics*, 3(21), eaat5954. doi:10.1126/scirobotics.aat5954
- Broman, K. W., Gatti, D. M., Simecek, P., Furlotte, N. A., Prins, P., Sen, S., Yandell, B. S., & Churchill, G. A. (2019). R/qtl2: Software for mapping quantitative trait loci with high-dimensional data and multiparent populations. *Genetics*, 211(2), 495–502. <https://doi.org/10.1534/genetics.118.301595>
- Brunke, L., Greeff, M., Hall, A. W., Yuan, Z., Zhou, S., Panerati, J., & Schoellig, A. P. (2024). Safe Learning in Robotics: From Learning-Based Control to Safe Reinforcement Learning. *Robotics, and Autonomous Systems Downloaded from Www.Annualreviews.Org*. Guest. <https://doi.org/10.1146/annurev-control-042920>
- Carney, M. (2011). Afiliasi, kinerja, konteks, dan strategi kelompok bisnis: Sebuah meta-analisis. *Acad. Manag. J.* 54, 437-460.
- Castelvecchi, D. (2016). Can we open the black box of AI? *Nature*, 538(7623), 20–23. doi:10.1038/538020a
- Chazan, B. (2021). Principles and pedagogies in Jewish education. In *Principles and Pedagogies in Jewish Education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-83925-3>

- Collins, J., Chand, S., Vanderkop, A., & Howard, D. (2021). A review of physics simulators for robotic applications. *IEEE Access*, 9, 51416-51431.
- Darmawansah, D., Hwang, G. J., Chen, M. R. A., & Liang, J. C. (2023). Trends and research foci of robotics-based STEM education: a systematic review from diverse angles based on the technology-based learning model. In *International Journal of STEM Education* (Vol. 10, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00400-3>
- Dervis, H. (2019). Bibliometric analysis using bibliometrix an R package. *Journal of Scientometric Research*, 8(3), 156–160. <https://doi.org/10.5530/JSCIRES.8.3.32>
- Donnermann, M., Lein, M., Messingschlager, T., Riedmann, A., Schaper, P., Steinhäusser, S., & Lugin, B. (2021). Social robots and gamification for technology supported learning: An empirical study on engagement and motivation. *Computers in Human Behavior*, 121, 106792.
- Farwati, R., Metafisika, K., Sari, I., Sitinjak, D. S., Solikha, D. F., & Solfarina, S. (2021). STEM Education Implementation in Indonesia: A Scoping Review. *International Journal of STEM Education for Sustainability*, 1(1), 11–32. <https://doi.org/10.53889/ijses.v1i1.2>
- Ferrarelli, P., & Iocchi, L. (2021). Learning Newtonian Physics through Programming Robot Experiments. *Technology, Knowledge and Learning*, 26(4), 789–824. <https://doi.org/10.1007/s10758-021-09508-3>
- González-salamanca, J. C., Agudelo, O. L., & Salinas, J. (2020). Key competences, education for sustainable development and strategies for the development of 21st century skills. A systematic literature review. *Sustainability* (Switzerland), 12(24), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su122410366>
- Kucuk, S., & Sisman, B. (2017). Behavioral patterns of elementary students and their reflections on inquirybased robotics programming. *Computers & Education*, 144, 103693.
- Li, J., Antonenko, P. D., & Wang, J. (2019). Trends and issues in multimedia learning research in 1996–2016: A bibliometric analysis. *Educational Research Review*, 28, 100282.
- Li, J., Goerlandt, F., & Reniers, G. (2021). An overview of scientometric mapping for the safety science community: Methods, tools, and framework. *Safety Science*, 134, 105093. doi:10.1016/j.ssci.2020.105093
- Mahler, J., Matl, M., Satish, V., Danielczuk, M., DeRose, B., McKinley, S., & Goldberg, K. (2019). Learning ambidextrous robot grasping policies. *Science Robotics*, 4(26), eaau4984. doi:10.1126/scirobotics.aau4984
- Melnikov, A. A., Nautrup, H. P., Krenn, M., Dunjko, V., Tiersch, M., Zeilinger, A., & Briegel, H. J. (2018). Active learning machine learns to create new quantum experiments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(6), 1221–1226. <https://doi.org/10.1073/pnas.1714936115>
- Nakajima, K. (2020). Physical reservoir computing—An introductory perspective. *Japanese Journal of Applied Physics*. <https://doi.org/10.35848/1347-4065/ab8d4f>
- Ouyang, F., & Xu, W. (2024). The effects of educational robotics in STEM education: a multilevel meta-analysis. In *International Journal of STEM Education* (Vol. 11, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00469-4>
- Papadakis, S. (2020). *Robots and Robotics Kits for Early Childhood and First School Age*. International Association of Online Engineering. Retrieved October 14, 2024 from <https://www.learntechlib.org/p/218338/>.
- Passas, I. (2024). Bibliometric analysis: the main steps. *Encyclopedia*, 4(2).
- Peters-burton, E. E., & Stehle, S. M. (2019). Developing student 21 st Century skills in selected exemplary inclusive STEM high schools. *International Journal of STEM Education*, 1, 1–15.
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., & Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95, 309–327. doi:10.1016/j.compedu.2016.02.002

- Pratomo, I. C., & Herlambang, Y. T. (2021). Pentingnya Peran Keluarga dalam Pendidikan Karakter. *JPPD: Jurnal Pedagogik Pendidikan Dasar*, 8 (1), 7–15.
- Prieto-Jiménez, E., *et al.* (2021). Sustainable development goals and education: A bibliometric mapping analysis. *Sustainability*, 13(4), 2126.
- Ruhyana, I. F., Nasbey, H., & Wibowo, F. C. (2023, December). Bibliometric analysis of STEAM in physics education: exploring scopus database on the last decades (2013-2023). In *Prosiding Seminar Nasional Fisika* (Vol. 2, No. 1, pp. 145-154).
- Tan, J., Zhang, T., Coumans, E., Iscen, A., Bai, Y., Hafner, D., Bohez, S., Vanhoucke, V., Brain, G., & Deepmind, G. (n.d.). *Sim-to-Real: Learning Agile Locomotion For Quadruped Robots*.
- Trevissoi, M. C. (2024). Development of an innovative” Hands on Physics” methodology for teaching Physics at high school level.
- Tsivitanidou, O. E., Georgiou, Y., & Ioannou, A. (2021). A Learning experience in inquiry-based physics with immersive virtual reality: Student perceptions and an interaction effect between conceptual gains and attitudinal profiles. *Journal of Science Education and Technology*, 30(6), 841-861.
- Wibowo, F. C., Darman, D. R., Guntara, Y., Nulhakim, L., Prahani, B. K., Kurniawan, B. R., ... & Karlin, K. (2024, May). Unveil creative thinking in the physics education: Bibliometric analysis and literature review. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3116, No. 1). AIP Publishing.
- Wright, L. G., Onodera, T., Stein, M. M., & et al. (2022). Deep physical neural networks trained with backpropagation. *Nature*, 601(7893), 549–555. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04223-6>
- Xiang, F., Qin, Y., Mo, K., Xia, Y., Zhu, H., Liu, F., ... Su, H. (2020). SAPIEN: A SimulAted Part-Based Interactive ENvironment. *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. doi:10.1109/cvpr42600.2020.01111
- Zhu, Y., Mottaghi, R., Kolve, E., Lim, J. J., Gupta, A., Fei-Fei, L., & Farhadi, A. (2017). Target-driven visual navigation in indoor scenes using deep reinforcement learning. *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. doi:10.1109/icra.2017.7989381
- Ziervogel, G., Enqvist, J., Metelerkamp, L., & van Breda, J. (2022). Supporting transformative climate adaptation: community-level capacity building and knowledge co-creation in South Africa. *Climate Policy*, 22(5), 607-622.