

Pengembangan Media Robotika Intelligent Object Sorter (Elios) Untuk Pembelajaran Fisika Lingkungan Di Perguruan Tinggi: Kajian Literatur Komprehensif

Boris Agung Ramadhan^{1}, Firmanul Catur Wibowo², Andreas Handjoko Permana³.*

¹²³⁴Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

Corresponden e-mail: borisagungramadhan@outlook.com^{1}*

Abstrak: Kemajuan teknologi yang pesat serta kebutuhan untuk menyelaraskan pendidikan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs) 2030 menuntut hadirnya pendekatan pembelajaran yang inovatif dan interaktif dalam fisika lingkungan. Pembelajaran konvensional masih menghadapi tantangan dalam menghubungkan konsep-konsep fisika yang bersifat abstrak dengan permasalahan keberlanjutan yang ditemui dalam kehidupan nyata. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi tren penelitian mengenai integrasi robotika, kecerdasan buatan (artificial intelligence), dan teknologi Android dalam pendidikan sebagai landasan ilmiah bagi pengembangan Environment Learning Intelligent Object Sorter (ELIOS). Penelitian menggunakan metode bibliometrik dengan menganalisis data publikasi yang diperoleh dari basis data Scopus pada periode 2005–2025. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi tema-tema penelitian dominan, tren perkembangan publikasi, pola sitasi, serta kesenjangan penelitian yang masih terbuka. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan pada jumlah publikasi dan dampak sitasi sejak tahun 2020. Namun demikian, distribusi penelitian masih didominasi oleh Amerika Serikat dan Tiongkok sehingga menunjukkan adanya kesenjangan geografis dalam pengembangan keilmuan. Selain itu, sebagian besar penelitian yang ada masih berfokus pada aspek teknis dan rekayasa, sementara integrasi antara robotika pendidikan dan pembelajaran fisika lingkungan masih relatif terbatas. Temuan ini menegaskan adanya kebutuhan akan pengembangan media pembelajaran yang mengintegrasikan robotika, kecerdasan buatan, dan konteks keberlanjutan lingkungan secara lebih holistik. Penelitian ini memberikan justifikasi ilmiah bagi pengembangan prototipe ELIOS sekaligus memperkaya kajian pada persimpangan antara sistem siber-fisik dan pendidikan fisika. Hasil penelitian juga diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengembangan kebijakan pendidikan serta implementasi pembelajaran berbasis teknologi yang mendukung keberlanjutan lingkungan.

Kata kunci: Media Pembelajaran Robotika, Fisika Lingkungan; *Artificial Intelligence* (AI); *Internet of Things* (IoT); ELIOS

Abstract: Rapid technological advancement and the need to align education with the 2030 Sustainable Development Goals (SDGs) demand innovative and interactive learning approaches in environmental physics. Conventional instruction continues to face challenges in connecting abstract physics concepts with real-world sustainability issues. Therefore, this study aims to explore research trends concerning the integration of educational robotics, artificial intelligence (AI), and Android-based technologies in education as a scientific foundation for the development of the Environment Learning Intelligent Object Sorter (ELIOS). A bibliometric approach was employed by analyzing publication data retrieved from the Scopus database covering the period from 2005 to 2025. The analysis focused on identifying dominant research themes, publication trends, citation patterns, and existing research gaps. The findings reveal a significant increase in scientific publications and citation impact since 2020. However, research productivity remains largely concentrated in the United States and China, indicating a substantial geographical disparity in knowledge development. Furthermore, the existing body of literature primarily emphasizes technical and engineering aspects, while the integration of educational robotics with environmental physics learning remains relatively limited. These findings highlight the need for

the development of learning media that holistically integrate robotics, artificial intelligence, and environmental sustainability contexts. This study provides a scientific rationale for the development of the ELIOS prototype while contributing to the growing body of knowledge at the intersection of cyber-physical systems and physics education. The results are expected to serve as a reference for educational policy development and the implementation of technology-enhanced learning that supports environmental sustainability.

Keywords: Robotic Learning Media; Environmental Physics; Artificial Intelligence (AI); Internet of Things (IoT); ELIOS.

1. Pendahuluan

Teknologi digital dalam dua dekade terakhir telah membawa perubahan yang signifikan dalam berbagai sektor kehidupan, termasuk sektor pendidikan. Munculnya kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI), Internet of Things (IoT), robotika, dan teknologi mobile telah mendorong transformasi paradigma pembelajaran dari yang semula berpusat pada dosen menjadi pembelajaran yang lebih interaktif, kolaboratif, dan berpusat pada mahasiswa. Transformasi ini semakin penting dalam menghadapi tantangan global abad ke-21 yang ditandai dengan meningkatnya kompleksitas permasalahan lingkungan, perubahan iklim, krisis energi, serta kebutuhan akan pembangunan berkelanjutan. Dalam konteks tersebut, pendidikan memiliki peran strategis dalam mempersiapkan sumber daya manusia yang tidak hanya memiliki kompetensi akademik, tetapi juga mampu berpikir kritis, memecahkan masalah, dan berkontribusi terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs) 2030.

Perkembangan teknologi yang pesat, khususnya kecerdasan buatan dan teknologi digital, telah mengubah lanskap pendidikan serta mendorong pembelajaran yang lebih interaktif dan berpusat pada mahasiswa (Fombona et al., 2025). Sejalan dengan tantangan global, pendidikan perlu mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan atau Sustainable Development Goals (SDGs) 2030 melalui pembelajaran yang menumbuhkan kesadaran dan ketahanan lingkungan (Wati et al., 2024). Fisika lingkungan sebagai disiplin terapan menyediakan dasar ilmiah untuk memahami dinamika ekologis dan mengembangkan teknologi berkelanjutan (Nuroso et al., 2019). Namun, pembelajaran fisika tradisional masih sering bersifat abstrak dan teoritis sehingga sulit menghubungkan konsep fisika dengan isu lingkungan nyata (Ajibudiarta et al., 2025). Oleh karena itu, integrasi teknologi dalam pendidikan fisika lingkungan penting untuk membentuk calon guru sebagai pemecah masalah dan agen perubahan berkelanjutan (Simanjuntak et al., 2025).

Literatur terbaru menunjukkan bahwa robotika pendidikan dan teknologi mobile memiliki potensi besar dalam pembelajaran STEM (Ouyang & Xu, 2024). Robotika pendidikan dapat memvisualisasikan konsep fisika abstrak melalui eksperimen langsung sehingga meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa (Ferrarelli & Iocchi, 2021). Selain itu, integrasi Internet of Things (IoT), multimedia interaktif berbasis Android, dan kecerdasan buatan dapat mendukung pembelajaran adaptif, meningkatkan berpikir kritis, keterampilan komputasional, literasi sains, motivasi, serta keterlibatan mahasiswa (Matsun et al., 2022; Sung et al., 2016). Kombinasi algoritma kecerdasan buatan dengan model robotika fisik juga memungkinkan terciptanya pengalaman belajar dinamis yang mendorong pemecahan masalah kolaboratif dan kepedulian lingkungan (Haidegger et al., 2023).

Meskipun teknologi pendidikan telah terbukti efektif, penerapannya secara holistik dalam pendidikan fisika masih memiliki kesenjangan (Wang et al., 2023). Sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada perakitan robotik umum atau keterampilan teknis terpisah, belum secara eksplisit mengaitkan robotika dengan isu keberlanjutan lingkungan

(Windrawan et al., 2024). Selain itu, kajian mengenai dampak kompetensi Education for Sustainable Development (ESD) terhadap empati lingkungan mahasiswa melalui teknologi terintegrasi masih terbatas, terutama di negara berkembang (Sari et al., 2025). Media interaktif yang ada juga belum banyak menyinergikan pemodelan fisik dengan evaluasi kognitif adaptif secara waktu nyata, sehingga masih dibutuhkan alat pedagogis yang mampu memberikan umpan balik kontekstual dalam pembelajaran fisika lingkungan (Zhu et al., 2020; Anwar et al., 2019).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi yang memadukan robotika, kecerdasan buatan, dan antarmuka Android menjadi solusi strategis untuk menjembatani teori dan praktik dalam fisika lingkungan (Nuroso et al., 2020; Marta et al., 2025). Sistem terintegrasi ini dapat memberikan pengalaman belajar yang imersif dan kontekstual serta memungkinkan mahasiswa berinteraksi langsung dengan variabel fisik yang berkaitan dengan tantangan lingkungan (Saputra et al., 2021). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi media pembelajaran robotika berbasis lingkungan yang terintegrasi dengan aplikasi Android untuk pendidikan fisika lingkungan. Secara khusus, penelitian ini diarahkan untuk menghasilkan media yang valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis, literasi sains, kemampuan pemecahan masalah, kesadaran lingkungan, serta penerapan konsep fisika pada tantangan keberlanjutan di dunia nyata

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik untuk mengeksplorasi secara sistematis perkembangan dan tren penelitian yang berkaitan dengan integrasi robotika, kecerdasan buatan, dan teknologi berbasis Android dalam pembelajaran fisika lingkungan. Fokus utama penelitian ini diarahkan pada identifikasi tema-tema dominan, pola penelitian, serta kesenjangan pengetahuan dalam literatur yang telah dipublikasikan. Analisis ini bertujuan untuk memberikan landasan ilmiah yang komprehensif bagi pengembangan media pembelajaran inovatif yang relevan dengan kebutuhan pendidikan dan perkembangan teknologi saat ini.

Sumber data dalam penelitian ini diperoleh dari basis data Scopus, yang dikenal sebagai salah satu sumber publikasi ilmiah bereputasi dan terindeks secara global. Penggunaan basis data Scopus bertujuan untuk memastikan bahwa artikel yang dianalisis memiliki kualitas akademik yang baik dan relevan dengan bidang teknologi pendidikan serta pembelajaran fisika. Rentang publikasi yang digunakan adalah tahun 2005 hingga 2025 agar penelitian dapat menggambarkan perkembangan tren jangka panjang sekaligus mencakup temuan-temuan terbaru dalam bidang kajian.

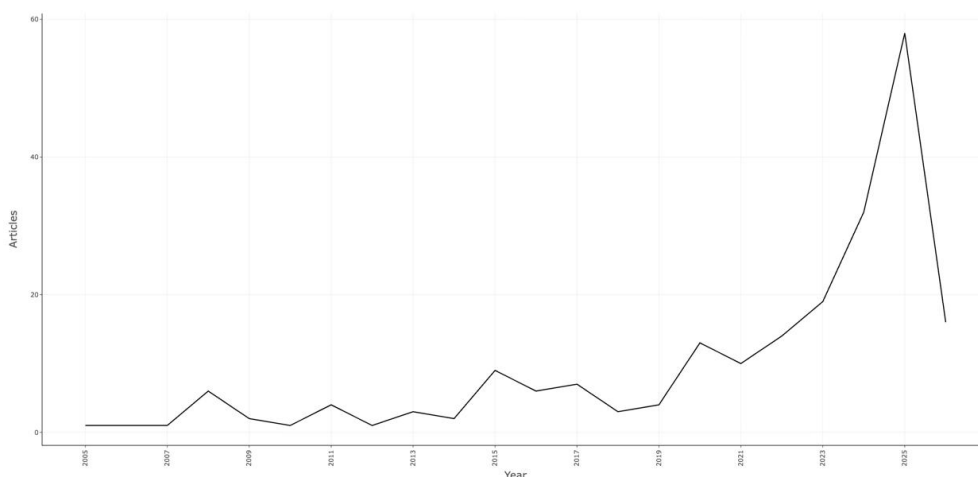
Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pencarian dokumen ilmiah menggunakan kata kunci yang telah disesuaikan dengan fokus penelitian. Kata kunci yang digunakan meliputi robotic, yang merepresentasikan aspek teknologi terkait penggunaan sistem robotika sebagai media pembelajaran; environmental learning, yang menekankan konteks pembelajaran berbasis lingkungan, fisika lingkungan, dan isu keberlanjutan; serta education, yang menunjukkan kerangka pedagogis tempat teknologi tersebut diterapkan. Kombinasi kata kunci tersebut digunakan untuk memperoleh literatur yang relevan, baik yang membahas penerapan teknologi robotika maupun perannya dalam mendukung kesadaran lingkungan dan peningkatan proses pembelajaran.

Data bibliografis yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi pola publikasi, tema penelitian dominan, keterkaitan antarkonsep, serta celah penelitian yang masih terbuka. Karena penelitian ini merupakan kajian bibliometrik berbasis dokumen, konteks

penelitian berfokus pada publikasi ilmiah yang relevan, bukan pada peserta manusia secara langsung. Hasil analisis digunakan sebagai dasar untuk merumuskan arah pengembangan media robotika *Environmental Learning Intelligent Object Sorter* (ELIOS) dalam pembelajaran fisika lingkungan di perguruan tinggi.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian mengenai pengembangan media pembelajaran robotika berbasis lingkungan, khususnya Intelligent Object Sorter (ELIO) yang bertujuan untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa pada pembelajaran fisika lingkungan terhadap isu-isu lingkungan serta memperkuat keterampilan teknologi dan pemecahan masalah mereka, menunjukkan tren yang terus meningkat selama periode 2005–2025. Salah satu cara untuk memahami perkembangan bidang ini adalah dengan menganalisis tahapan pengembangan dan implementasi sistem. Hasil yang diperoleh dari setiap tahap memberikan wawasan penting mengenai efektivitas dan fungsionalitas sistem yang dikembangkan. Pola tersebut dapat diamati pada Gambar 1.



Gambar 1 Produksi Artikel Ilmiah Tahunan

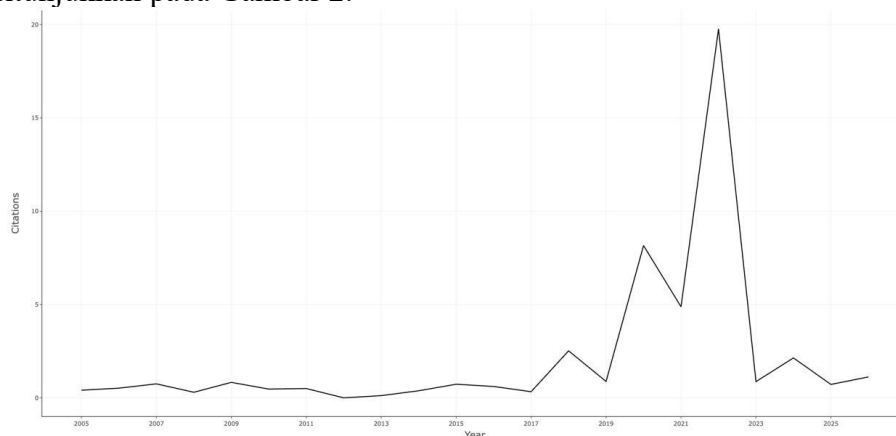
Sumber: Hasil analisis bibliometrik penulis berdasarkan data Scopus menggunakan R Biblioshiny, 2005–2025.

Sebagaimana ditunjukkan pada grafik, fase awal penelitian dalam bidang ini ditandai oleh jumlah luaran yang sangat rendah dan cenderung stagnan. Antara tahun 2005 dan 2014, tingkat publikasi tahunan hanya mengalami sedikit fluktuasi dan secara konsisten berada pada kisaran nol hingga lima artikel per tahun. Hal ini menunjukkan bahwa irisan antara tema teknologi dan pedagogi yang spesifik ini masih berada pada tahap awal perkembangan serta belum memperoleh perhatian yang luas. Setelah fase stagnasi awal tersebut, fase transisi menuju pertumbuhan bertahap mulai terlihat sekitar tahun 2015. Pada periode 2015 hingga 2019, produksi ilmiah tahunan mengalami sedikit peningkatan, yang menunjukkan adanya pengakuan yang mulai tumbuh, meskipun masih lambat, terhadap relevansi topik ini.

Berdasarkan pertumbuhan awal yang bertahap tersebut, karakteristik paling menonjol dari data produksi tahunan adalah fase pertumbuhan eksponensial yang mulai terlihat kuat sejak tahun 2020. Volume publikasi melampaui sepuluh artikel pada tahun 2020 dan terus mengalami peningkatan tajam, mencapai hampir tiga puluh artikel pada tahun 2024 serta mencapai puncaknya secara drastis pada hampir enam puluh artikel dalam rentang 2024–2025. Lonjakan eksponensial ini menunjukkan adanya perkembangan akademik yang sangat besar dan baru terjadi dalam beberapa tahun terakhir, sehingga menandai topik ini sebagai bidang

kajian yang sangat tren dalam penelitian ilmiah saat ini. Selain itu, tren penurunan tajam yang tampak pada bagian akhir grafik hanya merepresentasikan data indeksasi yang belum lengkap untuk tahun berjalan, bukan menunjukkan penurunan minat penelitian yang sebenarnya.

Sejalan dengan lonjakan besar dalam volume publikasi tersebut, dampak akademik dari literatur ini juga mengalami tren yang sangat bervariasi. Gambaran mengenai rata-rata sitasi per tahun disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan data, dampak sitasi selama dekade pertama dalam rentang waktu yang diamati masih sangat rendah, selaras dengan tren awal volume publikasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Dari tahun 2005 hingga 2017, rata-rata tingkat sitasi relatif datar, berada sedikit di atas nol dan tidak pernah melebihi dua sitasi per tahun. Periode panjang dengan sitasi minimal ini menunjukkan bahwa literatur awal kemungkinan memiliki jangkauan pembaca yang terbatas atau belum membangun paradigma dasar yang cukup kuat untuk memengaruhi penelitian berikutnya secara komprehensif, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



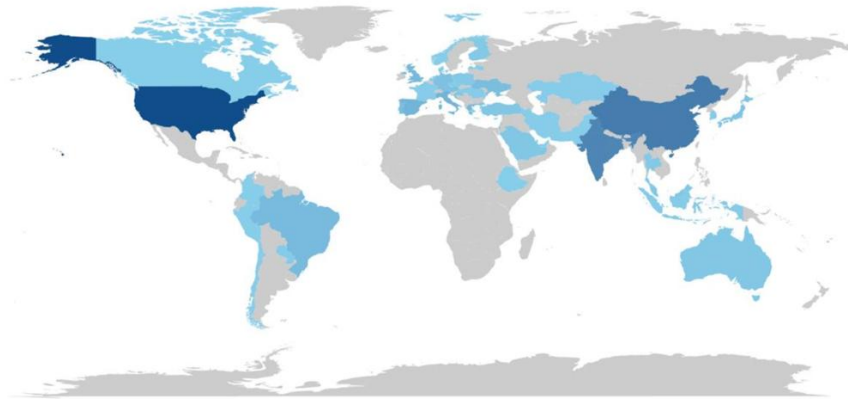
Gambar 2 Rata-rata Sitasi per Tahun

Sumber: Hasil analisis bibliometrik penulis berdasarkan data Scopus menggunakan R Biblioshiny, 2005–2025.

Perubahan signifikan dalam penerimaan akademik ini mulai terjadi ketika rentang waktu mendekati tahun 2020, yang kemudian memasuki periode dengan volatilitas tinggi dan dampak puncak. Pada tahun 2020, rata-rata tingkat sitasi mengalami lonjakan besar pertama, mencapai sekitar delapan sitasi per tahun, sebelum mencapai puncak yang belum pernah terjadi sebelumnya, yaitu tepat dua puluh rata-rata sitasi per tahun pada tahun 2022. Lonjakan yang luar biasa ini menunjukkan bahwa penelitian yang beredar pada periode 2020–2022 memuat temuan-temuan yang sangat berpengaruh dan mendapatkan perhatian kuat dari komunitas akademik. Setelah puncak besar tersebut, rata-rata tingkat sitasi mengalami penurunan tajam hingga di bawah lima sitasi per tahun antara tahun 2023 dan 2025. Namun, penurunan tajam ini merupakan pola umum yang berkaitan dengan jeda kronologis dalam proses sitasi akademik terhadap artikel yang baru diterbitkan, bukan menunjukkan penurunan kualitas penelitian.

Pemahaman mengenai asal geografis dari penelitian yang berdampak ini memberikan konteks lebih lanjut terhadap tren akademik tersebut. Gambaran mengenai produksi ilmiah berdasarkan negara disajikan pada Gambar 3. Berdasarkan data, distribusi geografis global menunjukkan adanya duopoli yang jelas dalam kepemimpinan penelitian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Amerika Serikat dan Tiongkok tampak jelas ditandai dengan warna biru paling gelap, yang menunjukkan bahwa kedua negara tersebut merupakan negara paling dominan dan produktif dalam menghasilkan publikasi terindeks. Konsentrasi penelitian yang tinggi di kedua negara ini sejalan dengan posisi global mereka sebagai pusat utama

inovasi teknologi, penelitian kecerdasan buatan, dan infrastruktur pendidikan maju, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

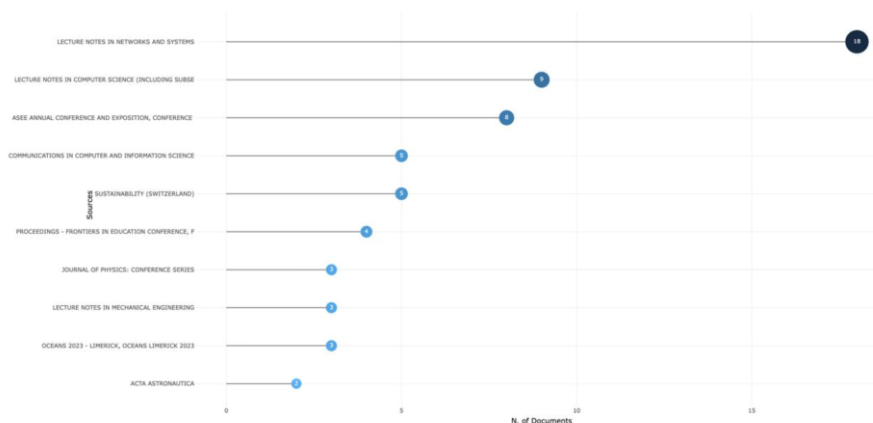


Gambar 3 Produksi Ilmiah Berdasarkan Negara

Sumber: Hasil analisis bibliometrik penulis berdasarkan data Scopus menggunakan R Biblioshiny, 2005–2025.

Di luar dua negara terdepan tersebut, peta menunjukkan kontras yang tajam antara kelompok negara lapis kedua yang cukup aktif dan wilayah-wilayah yang masih sangat kurang terwakili. Kelompok kedua dengan produksi ilmiah sedang tersebar di beberapa wilayah penting secara global, termasuk India dan Australia di kawasan Asia-Pasifik, Kanada di Amerika Utara, Brasil di Amerika Selatan, serta beberapa negara di benua Eropa. Sebaliknya, wilayah luas pada peta global, khususnya sebagian besar benua Afrika, Asia Tengah, serta beberapa bagian Amerika Selatan dan Eropa Timur, ditampilkan dalam warna abu-abu, yang menunjukkan produksi ilmiah terindeks yang sangat minimal hingga tidak ada. Kesenjangan yang signifikan ini mengungkap adanya jurang digital dan akademik yang nyata, yang menunjukkan bahwa implementasi robotika tingkat lanjut dalam pendidikan lingkungan masih sangat terkonsentrasi di negara-negara maju atau negara dengan ekonomi yang berkembang pesat.

Terakhir, pengamatan terhadap tempat penelitian yang beragam secara geografis ini dipublikasikan dapat menyoroti disiplin inti yang mendorong perkembangan bidang tersebut. Gambaran mengenai sumber publikasi yang paling relevan disajikan pada Gambar 4. Berdasarkan data, literatur dalam bidang ini sangat berakar pada sumber publikasi bidang teknik dan ilmu komputer, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Kontributor teratas dengan selisih yang cukup besar adalah *Lecture Notes in Networks and Systems*, yang mencatat volume tertinggi dengan delapan belas dokumen terbit, diikuti oleh *Lecture Notes in Computer Science* dengan sembilan dokumen. Dominasi prosiding teknis ini menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian dasar terutama didorong oleh pengembangan teknologi dan rekayasa sistem, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Sumber Publikasi Paling Relevan

Sumber: Hasil analisis bibliometrik penulis berdasarkan data Scopus menggunakan R Biblioshiny, 2005–2025.

Meskipun sumber publikasi teknis mendominasi, kelompok sumber relevan berikutnya menunjukkan adanya irisan penting antara teknologi dengan platform yang berfokus pada pedagogi dan keberlanjutan. ASEE Annual Conference and Exposition menyumbang delapan dokumen, yang secara kuat menghubungkan penelitian teknologi dengan pendidikan teknik, sedangkan Communications in Computer and Information Science dan jurnal Sustainability (Switzerland) masing-masing menyumbang lima dokumen. Kehadiran kuat jurnal keberlanjutan menegaskan bahwa sebagian besar literatur ini secara khusus dibingkai dalam konteks tujuan lingkungan global. Selain itu, sumber khusus seperti Proceedings Frontiers in Education Conference dan Journal of Physics: Conference Series semakin menekankan penerapan multidisipliner teknologi ini dalam pendidikan sains formal dan pendidikan fisika.

Peningkatan jumlah publikasi sejak tahun 2020 menunjukkan bahwa integrasi robotika, kecerdasan buatan, dan pembelajaran lingkungan telah berkembang menjadi tema riset yang semakin penting. Dalam kajian bibliometrik, pola pertumbuhan publikasi dan sitasi dapat digunakan untuk membaca arah evolusi pengetahuan, mengidentifikasi tema yang sedang menguat, serta menemukan celah penelitian yang masih terbuka (Donthu et al., 2021; Zupic & Čater, 2015). Oleh karena itu, lonjakan publikasi pada bidang ini memberi dasar bahwa pengembangan ELIOS tidak hanya relevan secara teknologis, tetapi juga memiliki urgensi pedagogis untuk menjawab kebutuhan pembelajaran fisika lingkungan yang lebih kontekstual.

Temuan mengenai dominasi Amerika Serikat dan Tiongkok dalam produksi ilmiah memperlihatkan bahwa pengembangan robotika pendidikan masih terkonsentrasi pada negara dengan infrastruktur riset dan teknologi yang kuat. Kondisi tersebut menegaskan adanya kesenjangan geografis dalam pengembangan pengetahuan, terutama bagi negara berkembang yang menghadapi tantangan akses terhadap teknologi pembelajaran mutakhir. Dalam konteks pendidikan fisika di Indonesia, temuan ini memperkuat kebutuhan untuk mengembangkan media robotika yang sesuai dengan kebutuhan lokal, terjangkau, dan berorientasi pada isu lingkungan nyata yang dekat dengan pengalaman mahasiswa (Wati et al., 2024; Sari et al., 2025; Velepini, 2025).

Dominasi sumber publikasi dari bidang teknik dan ilmu komputer menunjukkan bahwa penelitian robotika pendidikan masih banyak diarahkan pada pengembangan sistem, perangkat keras, sensor, algoritma, dan otomasi. Akan tetapi, orientasi teknis tersebut belum sepenuhnya menjawab persoalan pedagogis dalam pembelajaran fisika lingkungan. Kajian robotika pendidikan menekankan bahwa efektivitas robot tidak hanya bergantung pada kecanggihan perangkat, tetapi juga pada desain aktivitas belajar, keterlibatan peserta didik, dan kejelasan

tujuan pembelajaran (Anwar et al., 2019; Ouyang & Xu, 2024; Wang et al., 2023). Dengan demikian, ELIOS perlu dikembangkan sebagai media pembelajaran yang mengintegrasikan fungsi teknis robotika dengan strategi pembelajaran yang mendorong eksplorasi konsep fisika, pemecahan masalah, dan refleksi lingkungan.

Dari sudut pandang pembelajaran fisika lingkungan, robotika cerdas seperti ELIOS berpotensi menjembatani konsep abstrak dengan fenomena nyata. Aktivitas pemilahan objek, pembacaan sensor, kerja aktuator, proses klasifikasi, dan analisis data dapat digunakan untuk mengaitkan konsep energi, gaya, gerak, efisiensi, serta sistem kontrol dengan masalah pengelolaan lingkungan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa eksperimen robotik dapat membantu peserta didik memahami konsep fisika melalui pengalaman langsung, sedangkan integrasi IoT, perangkat mobile, dan umpan balik otomatis dapat mendukung kemampuan berpikir kritis serta proses belajar yang lebih adaptif (Ferrarelli & Iocchi, 2021; Matsun et al., 2022; Sung et al., 2016; Zhu et al., 2020).

Secara metodologis, penggunaan analisis bibliometrik dalam penelitian ini memberi pijakan yang kuat untuk merumuskan arah pengembangan ELIOS. Analisis menggunakan perangkat seperti bibliometrix dan Biblioshiny membantu peneliti memetakan struktur konseptual, tren publikasi, sumber utama, dan ruang kosong penelitian secara sistematis (Aria & Cuccurullo, 2017; Donthu et al., 2021). Berdasarkan hasil tersebut, tahap lanjutan penelitian sebaiknya diarahkan pada pengembangan prototipe, validasi ahli, uji kepraktisan, serta pengujian efektivitas ELIOS terhadap kemampuan berpikir kritis, literasi sains, pemecahan masalah, dan empati lingkungan mahasiswa.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis bibliometrik terhadap publikasi Scopus periode 2005–2025, penelitian mengenai integrasi robotika, kecerdasan buatan, teknologi mobile, dan pembelajaran lingkungan menunjukkan perkembangan yang semakin kuat, terutama sejak tahun 2020. Temuan ini terlihat dari peningkatan produksi artikel ilmiah, variasi dampak sitasi, dominasi kontribusi negara tertentu, serta kuatnya posisi sumber publikasi dari bidang teknik dan ilmu komputer. Secara keseluruhan, hasil tersebut menunjukkan bahwa pengembangan Environment Learning Intelligent Object Sorter (ELIOS) memiliki dasar ilmiah yang relevan karena berada pada irisan antara robotika pendidikan, sistem cerdas, fisika lingkungan, dan isu keberlanjutan.

Penelitian ini memberikan kontribusi sebagai kajian awal untuk memetakan peluang pengembangan media pembelajaran robotika yang lebih kontekstual dalam pendidikan fisika lingkungan. Namun, hasil penelitian masih terbatas pada pemetaan bibliometrik sehingga perlu dilanjutkan pada tahap pengembangan prototipe, validasi ahli, uji kepraktisan, dan pengujian efektivitas di kelas. Penelitian berikutnya disarankan untuk mengkaji pengaruh ELIOS terhadap kemampuan berpikir kritis, literasi sains, pemecahan masalah, dan empati lingkungan mahasiswa agar manfaat pedagogisnya dapat dibuktikan secara lebih kuat.

Daftar Pustaka

- Ajibudiarta, R., Khoiri, N., Patonah, S., & Hayat, M. S. (2025). Potential of STEAM-SDGs Integration in Physics Learning. *Unnes Science Education Journal*, 14(1), 88-98.
- 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*, 9(2), 19–42.
- Ferrarelli, P., & Iocchi, L. (2021). Learning newtonian physics through programming robot experiments. *Technology, Knowledge and Learning*, 26(4), 789–824.

- Fombona, J., Sáez, J.-M., & Sánchez, S. (2025). Artificial intelligence and robotics in education: Advances, challenges, and future perspectives. *Social Sciences & Humanities Open*, 11, 101533.
- Haidegger, T., Mörch, C. M., et al. (2023). Robotics - Enabler and inhibitor of the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption*, 43, 422–434.
- Marta, A., Zen, Z., Hidayati, A., & Rahmi, U. (2025). Development of android-based interactive learning media to improve student learning outcomes in class XII MIPA SMA. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(5), 514–524.
- Matsun, M., Hadiati, S., & Saputri, D. F. (2022). Development of IoT-Based Physics Learning Media and Its Effect on Students' Critical Thinking Ability. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(5), 2241–2246.
- Nuroso, H., & Supriyadi. (2019). Environmental Physics Program: An Evaluation and Reconstruction. *International Journal of Science and Society*, 1(3), 45-56.
- Nuroso, H., Sudarmin, Sarwi, & Supriyadi. (2020). Reconstruction of Environmental Physics Learning by Integrating Ethno-technology to Actualize Superior Teacher Candidates. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 574, 257-261.
- Ouyang, F., & Xu, W. (2024). The effects of educational robotics in STEM education: a multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 11(7).
- Saputra, R., et al. (2021). Integration of environmental literacy in physics learning. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 10(4), 532–540.
- Sari, W. A., Artika, W., Oktari, R. S., Safrida, Rahmatan, H., & Sasaki, D. (2025). Assessing Education for Sustainable Development (ESD) Competencies and Environmental Empathy in Disaster and Environment Knowledge to Support SDGs 2030. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 14(1), 42-58.
- Simanjuntak, Y. L. P., Rangkuti, M. A., & Hardianti, T. (2025). Perceptions of Physics Education Students at Universitas Negeri Medan on the Role of Physics Education in Sustainable Development Goals. *Jurnal Eduscience*, 12(6), 1881-1893.
- Sung, Y.-T., Chang, K.-E., & Liu, T.-C. (2016). The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: A meta-analysis and research synthesis. *Computers & Education*, 94, 252-275.
- Valderrama, D. A., Garzón-Velasco, M. D., & Alfonso Chaparro, L. P. (2024). Physics, Environment and Environmental Education; Perceptions from trainee Natural Science teachers. *Revista Perspectivas*, 9(2), 89-100.
- Velempini, K. (2025). Assessing the Role of Environmental Education Practices Towards the Attainment of the 2030 Sustainable Development Goals. *Sustainability*, 17, 2043.
- Wang, K., Sang, G. Y., Huang, L. Z., Li, S. H., & Guo, J. W. (2023). The effectiveness of educational robots in improving learning outcomes: A meta-analysis. *Sustainability*, 15(5), 4637.
- Wati, A. W., Sari, D. P., Sulaeman, N. F., Syam, M., & Saparini. (2024). Integrating SDGs in Climate Change Education: Insights from Pre-Service Physics Teachers. *Jurnal Eksakta Pendidikan (JEP)*, 8(2), 86-98.
- Windrawan, I. G., Wibowo, F. C., & Sugihartono, I. (2024). Bibliometric Analysis of STEM Robotics in Physics Education: Global Trends (2008-2024) Based on Scopus Data. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 8(3), 462-476.
- Zhu, M., Liu, O., & Lee, H. (2020). The effect of automated feedback on revision behavior and learning gains in formative assessment of scientific argument writing. *Computers & Education*, 143.
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.

<https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>