



Bibliometric Analysis: Research Trends in the Utilization of Artificial Intelligence (AI) in Biology Learning

Saskia Fadilla Nur Rachman

Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Siliwangi

Corresponding Author: Saskia Fadilla Nur Rachman,
saskiafadillanurrachman@gmail.com

ARTICLE INFO

Keywords: Biology Learning, Artificial Intelligence, Educational Technology, Industrial Revolution 4.0, Bibliometric Analysis

Received : 3, January

Revised : 17, January

Accepted: 31, January

©2025 Rachman: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRACT

The rapid development of technology in the era of the Industrial Revolution 4.0 has affected various fields, including the field of education. One of the innovations that has emerged is the use of Artificial Intelligence (AI) in biology learning. This study aims to analyze research trends related to the use of AI in biology learning with a bibliometric analysis method on 68 articles from the Scopus database. This study identifies publication patterns, research contributions, and methods used. The results of the study show that the use of AI can improve students' understanding of complex biological concepts and improve students' learning experience. In addition, AI plays an important role in assisting teachers in evaluating and assessing learning outcomes. This research provides up-to-date insights into the potential of AI in biology learning and emphasizes the importance of following technology trends to improve the quality of education.

Analisis Bibliometrik: Tren Penelitian Pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) dalam Pembelajaran Biologi

Saskia Fadilla Nur Rachman

Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Siliwangi

Corresponding Author: Saskia Fadilla Nur Rachman,
saskiafadillanurrachman@gmail.com

ARTICLE INFO

Kata Kunci: Pembelajaran Biologi, *Artificial Intelligence*, Teknologi Pendidikan, Revolusi Industri 4.0, Analisis Bibliometrik

Received : 3, January
Revised : 17, January
Accepted: 31, January

©2025 Rachman: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRAK

Perkembangan teknologi yang semakin pesat di era Revolusi Industri 4.0 telah memengaruhi berbagai bidang, termasuk bidang pendidikan. Salah satu inovasi yang muncul adalah pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) dalam pembelajaran biologi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren penelitian terkait pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi dengan metode analisis bibliometrik terhadap 68 artikel dari *data base* Scopus. Penelitian ini mengidentifikasi pola publikasi, kontribusi penelitian, serta metode yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan AI dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep biologi yang kompleks dan memperbaiki pengalaman belajar siswa. Selain itu, AI berperan penting dalam membantu guru dalam mengevaluasi dan menilai hasil belajar. Penelitian ini memberikan wawasan terkini tentang potensi AI dalam pembelajaran biologi dan menekankan pentingnya mengikuti tren teknologi untuk meningkatkan kualitas pendidikan.

PENDAHULUAN

Di era Revolusi Industri 4.0, perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan yang signifikan dalam berbagai bidang, termasuk di bidang pendidikan. Revolusi Industri 4.0 ditandai dengan adanya integrasi teknologi yang semakin canggih sehingga menciptakan sistem yang lebih otomatis dan cerdas. Terdapat sembilan macam teknologi yang menjadi pilar utama dalam perkembangan Revolusi Industri 4.0 antara lain *Internet of Things (IoT)*, *Big Data*, *Augmented Reality (AR)*, *Cyber Security*, *Addictive Manufacturing*, *Simulation*, *System Integeration*, *Cloud Computing*, dan *Artificial Intelligence (AI)*. Teknologi-teknologi tersebut tidak hanya mengubah cara manusia bekerja dan berinteraksi, tetapi juga membuka potensi besar dalam meningkatkan kualitas pendidikan (Yunus & Mitrohardjono, 2020).

Salah satu penerapan teknologi yang sedang berkembang di dunia pendidikan yaitu penggunaan *Artificial Intelligence (AI)*. AI merupakan teknologi yang berfungsi untuk memberikan solusi otomatis terhadap berbagai masalah melalui interaksi berbasis percakapan. Penggunaan AI dalam pembelajaran memungkinkan siswa untuk dapat mencari informasi dengan mudah dan instan (Haidir, Muhamad, Roviati, Evi, & Deka, 2024). Selain itu, AI berperan besar dalam proses transformasi pendidikan. Dengan adanya AI, pembelajaran yang semula dilakukan di dalam gedung kini bertransformasi ke dunia maya sehingga memungkinkan proses pembelajaran daring yang bisa diakses kapanpun dan dimanapun oleh siswa. Tidak hanya bermanfaat bagi siswa, AI juga dapat memberikan kemudahan bagi guru dalam memproses serta menganalisis data dalam jumlah besar dengan cepat dan akurat (Lukman, Riska Agustina, & Rihadatul Aisy, 2024).

AI memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas pendidikan, salah satunya dalam pembelajaran biologi. Biologi seringkali dianggap sebagai mata pelajaran yang sulit karena memiliki berbagai konsep yang abstrak dan kompleks. Melalui pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi, maka memungkinkan penciptaan visualisasi interaktif dan simulasi yang dapat mempermudah siswa dalam memahami proses-proses biologis yang rumit. AI juga dapat menyesuaikan materi pelajaran dengan kebutuhan individu siswa sehingga memberikan pengalaman belajar yang lebih personal dan adaptif (Puspitawati, Afnan, Abrizal, Anjani, & Adistria, 2024).

Namun, seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi dan pemanfaatan AI dalam pembelajaran, termasuk pembelajaran biologi, yang semakin masif, sangat penting untuk memahami tren penelitian terkait pemanfaatan AI dalam pendidikan. Hal ini karena melalui pemahaman yang baik terkait tren tersebut, maka para pendidik, peneliti, dan pembuat kebijakan dapat mengetahui teknologi-teknologi terkini yang telah terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa, khususnya terhadap materi biologi yang kompleks. Selain itu, pemahaman terhadap tren ini memungkinkan untuk dapat mengidentifikasi inovasi dan metode baru yang mampu meningkatkan efektivitas pengajaran dan pembelajaran, termasuk pembelajaran biologi. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi

dengan bijak dan efektif sehingga mampu mempersiapkan masa depan pendidikan yang lebih adaptif terhadap kebutuhan dan perkembangan teknologi. Mengkaji dan mengikuti tren ini juga tidak hanya dapat memperbarui metode pembelajaran yang ada, tetapi juga memastikan bahwa pembelajaran biologi dapat terus relevan dengan perkembangan zaman dan mampu mempersiapkan siswa dalam menghadapi tantangan global.

TINJAUAN PUSTAKA

Artificial Intelligence

Artificial Intelligence (AI) atau kecerdasan buatan merupakan teknologi yang memungkinkan suatu sistem komputer untuk mampu melakukan tugas-tugas yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia. Proses yang terjadi dalam AI mencakup tiga aspek utama yaitu: *learning*, yang memungkinkan sistem untuk belajar dari data; *reasoning*, yang memberikan AI kemampuan untuk menarik kesimpulan; dan *self-correction*, di mana sistem dapat memperbaiki kesalahan berdasarkan umpan balik yang diterima AI dari pengguna (Sobron & Lubis, 2021).

Di era Revolusi Industri 4.0, penerapan AI dalam berbagai bidang semakin meluas. Dengan kemampuan untuk melakukan analisis cepat dan menghasilkan hasil yang optimal, AI telah menjadi alat yang revolusioner yang tidak hanya memengaruhi dunia industri, tetapi juga memiliki dampak signifikan dalam bidang pendidikan. Penggunaan AI dalam bidang pendidikan dapat mendukung pengajaran yang adaptif dengan menyesuaikan kurikulum berdasarkan kemampuan siswa. Selain itu, AI dapat membantu guru dalam menyediakan rekomendasi konten, memantau perkembangan siswa, dan mengotomatisasi tugas administratif. Secara keseluruhan, integrasi AI dalam pendidikan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembelajaran, serta mempersiapkan siswa untuk menghadapi tantangan di era teknologi (Rochmawati, Arya, & Zakariyya, 2023).

Pembelajaran Biologi

Biologi merupakan ilmu yang mempelajari kehidupan dan segala aspek yang berkaitan dengan makhluk hidup. Dalam konteks pendidikan, pembelajaran biologi tidak hanya berfokus pada penguasaan fakta dan konsep, tetapi juga berfokus pada pengembangan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah yang relevan dengan kehidupan sehari-hari. Pembelajaran biologi bertujuan untuk memberikan pengalaman yang menyenangkan dan bermakna bagi siswa, sehingga siswa dapat memahami dan mengaplikasikan pengetahuan biologi dalam konteks nyata (Halawa, 2016).

Biologi memiliki berbagai konsep yang abstrak dan sulit dipahami sehingga partisipasi aktif siswa dalam kegiatan pembelajaran kurang, terutama jika pembelajaran berpusat pada guru. Selain itu, keterbatasan dalam penggunaan metode yang bervariasi dan kurangnya kemampuan siswa untuk terlibat secara aktif dalam proses belajar dapat menyebabkan pemahaman yang dangkal terhadap konsep-konsep biologi (Angraini, Fitri, & Darussyamsu, 2022). Oleh karena itu, pembelajaran biologi perlu inovasi, salah satunya dengan adanya pemanfaatan AI dalam proses pembelajaran.

Pemanfaatan AI dalam proses pembelajaran biologi memungkinkan dalam membantu pemahaman siswa menjadi lebih baik. Selain itu, guru juga dapat meningkatkan efektivitas pengajaran mereka (Lukman et al., 2024). Meskipun pemanfaatan AI sering menuai pro dan kontra karena potensi penyalahgunaan, tetapi pemahaman yang tepat mengenai tren pemanfaatan AI, baik bagi guru maupun siswa dapat mengoptimalkan penggunaan teknologi ini. Dengan demikian, tujuan pembelajaran biologi dapat tercapai dengan lebih baik sehingga menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan bermakna bagi siswa.

METODOLOGI

Dalam penelitian ini, analisis bibliometrik digunakan untuk menyelidiki artikel ilmiah tentang pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi. Analisis bibliometrik merupakan metode ilmiah yang digunakan untuk mengevaluasi dan menganalisis publikasi ilmiah berdasarkan data bibliografi seperti jumlah publikasi, kutipan, dan kolaborasi antarpengarang. Metode ini bertujuan untuk memahami perkembangan suatu bidang ilmu dan mengidentifikasi pola-pola dalam penelitian, seperti tren publikasi, kata kunci yang sering digunakan, serta kontribusi penulis atau institusi tertentu (Herawati, Utami, & Karlina, 2022).

Metode bibliometrik dibagi menjadi empat tahap utama yaitu tahap pemetaan penelitian, tahap peta publikasi, tahap analisis tematik, dan kesimpulan. Langkah pertama yaitu pemetaan data. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah *database* Scopus. Scopus dipilih karena merupakan *database* terbesar yang mencakup publikasi ilmiah dari berbagai disiplin ilmu dan berisi metadata dari jurnal bereputasi sehingga mendukung analisis bibliometrik. Pencarian dokumen dilakukan menggunakan kata kunci "artificial intelligence" dan "biology education" sedangkan untuk penulisan *query search term* berikut: (TITLE-ABS-KEY ("artificial intelligence" OR "AI") AND TITLE-ABS-KEY ("biology education" OR "biology learn*" OR "biology teach*" OR "science education" OR "science learn*" OR "science teach*")) sehingga diperoleh sebanyak 939 dokumen. Selain itu, digunakan kriteria inklusi dan eksklusi untuk memilih dokumen yang sesuai. Kriteria inklusi adalah sebagai berikut:

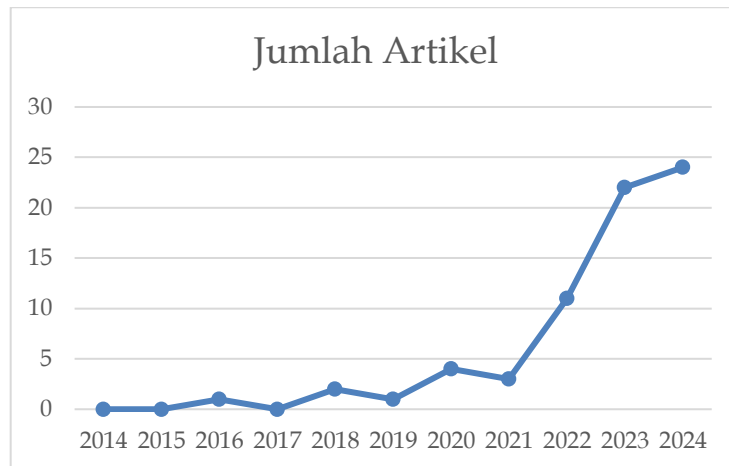
- Tahun Publikasi: 2014 – 2024
- Jenis Dokumen: artikel
- Tahap Publikasi: final
- Bahasa: hanya bahasa Inggris
- Jenis Sumber: Jurnal

Dengan demikian, jumlah dokumen yang digunakan dalam penelitian setelah kriteria inklusi dan eksklusi diterapkan adalah 131 artikel. Setelah itu, metadata dari 131 artikel Scopus diunduh dalam format *comma-separated value* (CSV) dan dilakukan kembali reduksi artikel dengan hanya memilih artikel yang termasuk ke dalam penelitian primer dan pembahasan artikel relevan dengan penelitian yang sedang dilakukan, sehingga diperoleh sebanyak 68 artikel yang akan dianalisis.

Langkah kedua dalam analisis bibliometrik yaitu menentukan lanskap penelitian menggunakan *software* VOSviewer dan Microsoft Excel dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang meliputi tren publikasi tahunan, jumlah sitasi, produktivitas penulis, produktivitas negara, dan jurnal yang menerbitkan artikel tentang pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi. Selain itu, dilakukan analisis terkait jenis dan kontribusi penelitian. Selanjutnya, langkah ketiga yaitu melakukan identifikasi kata kunci dari basis data untuk melakukan analisis penyederhanaan penelitian pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi. Identifikasi dilakukan dengan mengevaluasi frekuensi penggunaan kata kunci serta hubungan antara satu kata kunci dengan yang lainnya. Hasil dari analisis ini dapat membantu dalam memahami evolusi tematik dan tren terbaru dalam penelitian pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi. Berdasarkan analisis data yang dilakukan, langkah terakhir adalah merumuskan kesimpulan penelitian dan rencana untuk studi di masa depan.

HASIL PENELITIAN

Pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi telah berkembang dari tahun ke tahun. Berdasarkan pencarian kata kunci di *data base* Scopus dan menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi, diperoleh sebanyak 68 artikel yang relevan. Gambar 1. Menunjukkan jumlah artikel yang diterbitkan per tahun sejak tahun 2014 – 2024.



Gambar 1. Tahun Distribusi Artikel

Artikel tersebut kemudian diklasifikasikan berdasarkan jenis penelitian yang digunakannya. Adapun jenis penelitian yang digunakan dari artikel yang dikaji antara lain jenis penelitian kualitatif, kuantitatif, dan *mix-method*.

Tabel 1. Jenis Penelitian Pemanfaatan AI dalam Pembelajaran Biologi

Jenis Penelitian	Jumlah
Kualitatif	16
Kuantitatif	35
Mix-Method	17

Selain diklasifikasikan berdasarkan jenis penelitiannya, artikel kemudian dikaji kemudian diklasifikasikan berdasarkan kontribusi penelitiannya. Dari 68

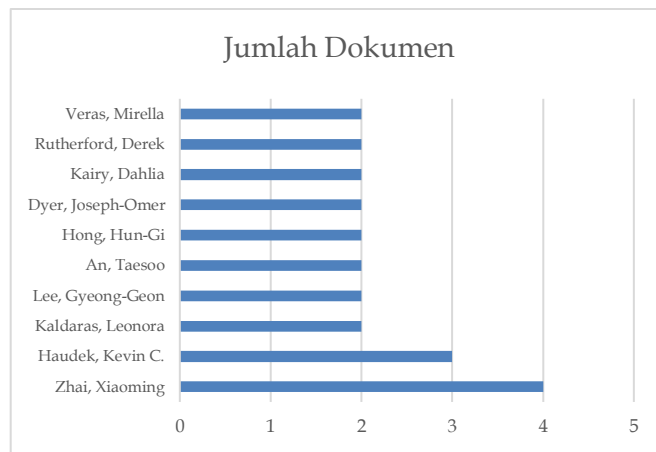
artikel, diperoleh 11 kontribusi penelitian yang terkait dengan pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi.

Tabel 2. Kontribusi Penelitian Pemanfaatan AI dalam Pembelajaran Biologi

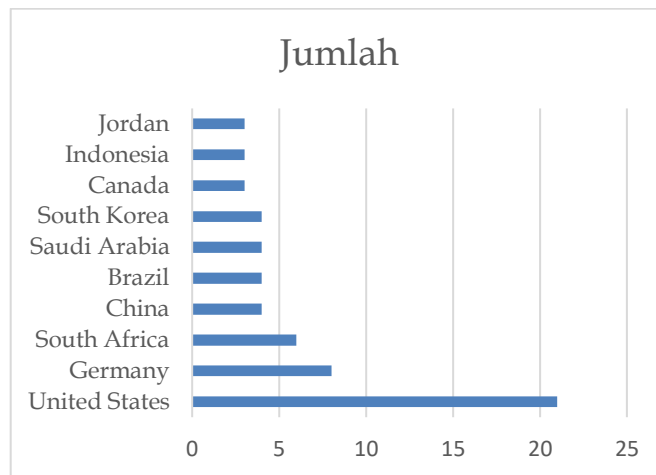
Kontribusi Penelitian	Jumlah	Referensi
AI dapat membantu dalam eksperimen siswa.	7	(L. Wang et al., 2023); (G.-G. Lee, Choi, An, Mun, & Hong, 2023); (Bewersdorff et al., 2023); (Piccolo et al., 2023); (Dos Anjos et al., 2024); (Jiang et al., 2024); (Dengel et al., 2023).
AI dapat membantu dalam mengevaluasi penulisan ilmiah.	3	(J. T. H. Wang, 2023); (Cooper, 2023); (Veras et al., 2023).
AI dapat menjadi media pembelajaran yang meningkatkan keterlibatan siswa.	4	(Ferro et al., 2021); (Xu et al., 2022); (Andersen et al., 2022); (Li et al., 2023).
AI dapat menjadi media pembelajaran yang dapat meningkatkan pemahaman konsep-konsep kompleks.	15	(Friese & Rother, 2016); (Shen et al., 2018); (Aparicio et al., 2018); (Krtalić & Bajić, 2019); (Koć-Januchta, 2020); (Karaca et al., 2021); (Bredeweg & Kragten, 2022); (Henze et al., 2022); (Shi & Rao, 2022); (Kumar et al., 2023); (Halonen et al., 2023); (Arada et al., 2023); (Gerard et al., 2024); (Issa et al., 2024); (Hao et al., 2024).
AI dapat menjadi media pembelajaran yang dapat meningkatkan pengalaman belajar siswa.	10	(Deveci Topal et al., 2021); (Kaldaras et al., 2022); (Kubsch et al., 2022); (J. Lee et al., 2023); (Dao, 2023); (Crowther, 2023); (Albdrani & Al-Shargabi, 2023); (Moola et al., 2024); (Rahiou, 2024); (Mendonça, 2024).
AI dapat mendukung perencanaan pembelajaran sains.	3	(Gunawan et al., 2020); (Jeon et al., 2024); (Mnguni, 2024).
Penggunaan AI dapat meningkatkan literasi digital.	4	(Laupichler et al., 2023); (Henrich et al., 2023); (Murakami et al., 2024); (Yannier et al., 2024).
Penggunaan AI dapat membantu guru mengevaluasi kinerja dan menilai hasil ujian.	9	(Kosar et al., 2024); (Forbus et al., 2020); (Zhai et al., 2022); (Kaldaras & Haudek, 2022); (Nyaaba et al., 2024); (Canale et al., 2024); (Yoo et al., 2024); (Haudek & Zhai, 2024); (Yan et al., 2020).
Penggunaan AI dapat meningkatkan motivasi belajar siswa.	1	(Ng et al., 2024).

Mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi guru menggunakan AI dalam pembelajaran.	2	(Nja et al., 2023); (Adelana, 2024).
Tantangan dan peluang pemanfaatan AI oleh guru.	4	(Park et al., 2023); (G. G. Lee, 2024); (Veras et al., 2024); (Lewis et al., 2024).

Analisis juga dilakukan terhadap karakteristik publikasi tentang pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi berdasarkan produktivitas penulis, produktivitas negara, jumlah sitasi, dan jumlah publikasi artikel pada jurnal.



Gambar 2. Top 10 Penulis dengan Jumlah Publikasi Terbanyak



Gambar 3. Top 10 Negara dengan Jumlah Publikasi Terbanyak

Tabel 3. Artikel dengan Jumlah Sitasi Terbanyak

Penulis	Judul	Tahun	Jurnal	Sitasi
Cooper G.	Examining Science Education in ChatGPT: An Exploratory Study of Generative Artificial Intelligence	2023	Journal of Science Education and Technology	489
Shen C. <i>et.al.</i>	HESS Opinions: Incubating deep-learning-powered	2018	Hydrology and Earth System	181

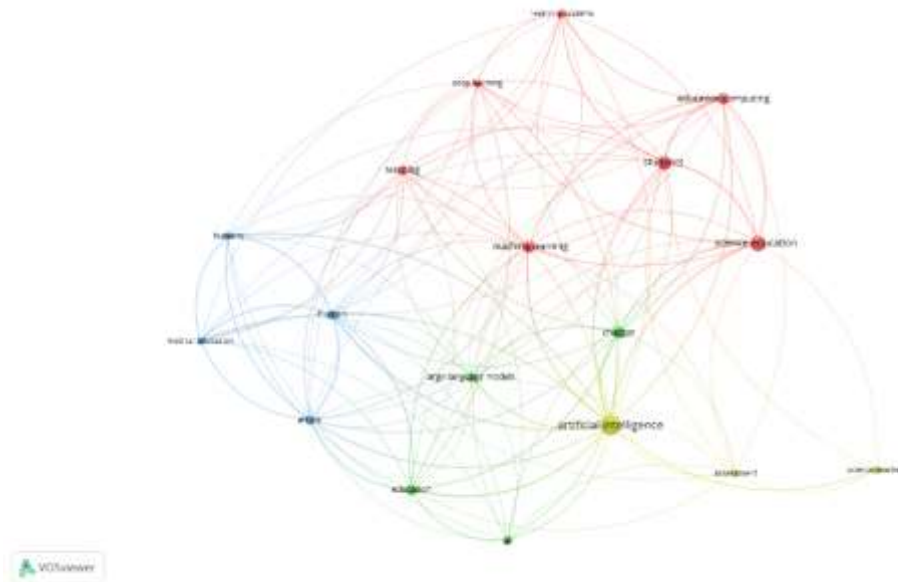
	hydrologic science advances as a community		Sciences	
Nazaretsky T., <i>et.al.</i>	Teachers' trust in AI-powered educational technology and a professional development program to improve it	2022	British Journal of Educational Technology	146
Karaca O., <i>et.al.</i>	Medical artificial intelligence readiness scale for medical students (MAIRS-MS) - development, validity and reliability study	2021	BMC Medical Education	79
Deveci Topal A. <i>et.al.</i>	Chatbot application in a 5th grade science course	2021	Education and Information Technologies	68
Zhai X., <i>et.al.</i>	Applying machine learning to automatically assess scientific models	2022	Journal of Research in Science Teaching	56
Yan A. <i>et.al.</i>	How hospitals in mainland China responded to the outbreak of COVID-19 using information technology-enabled services: An analysis of hospital news webpages	2020	Journal of the American Medical Informatics Association	43
Koć-Januchta M.M., <i>et.al.</i>	Engaging With Biology by Asking Questions: Investigating Students' Interaction and Learning With an Artificial Intelligence-Enriched Textbook	2020	Journal of Educational Computing Research	28
Laupichler M.C., <i>et.al.</i>	Development of the "Scale for the assessment of non-experts' AI literacy" - An exploratory factor analysis	2023	Computers in Human Behavior Reports	28
Aparicio F. <i>et.al.</i>	Perceptions of the use of intelligent information access systems in university level active learning activities among teachers of biomedical subjects	2018	International Journal of Medical Informatics	25

Tabel 4. Jurnal yang Menerbitkan Artikel Pemanfaatan AI dalam Pembelajaran Biologi.

Jurnal	Jumlah
Frontiers in Education	5
Asia-Pacific Science Education	2

BMC Medical Education	2
British Journal of Educational Technology	2
Computers and Education: Artificial Intelligence	2
Education Sciences	2
IEEE Transactions on Learning Technologies	2
International Journal of Artificial Intelligence in Education	2
Journal of Baltic Science Education	2
ACM Transactions on Computing Education	1

Setelah artikel relevan dianalisis, selanjutnya dilakukan pemetaan kata kunci dengan menggunakan *software* VOSviewer. Melalui visualisasi data yang telah diolah pada Gambar 2. terdapat 4 *cluster* yang dibedakan oleh variasi warna untuk setiap *cluster*. *Cluster* 1 ditandai dengan warna merah, *cluster* 2 ditandai dengan warna hijau, *cluster* 3 ditandai dengan warna biru, *cluster* 4 ditandai dengan warna kuning.



Gambar 4. Network Visualization (Visualisasi Jaringan) Kata Kunci

PEMBAHASAN

Berdasarkan Gambar 1. diperoleh informasi bahwa tren penelitian dengan tema pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi mengalami peningkatan dan penurunan. Secara keseluruhan, jumlah publikasi yang mengkaji tentang pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi belum banyak dilakukan dilihat dari tidak adanya publikasi pada tahun 2014, 2015, dan 2017 serta jumlah artikel yang masih sedikit pada tahun 2016 dan 2019 dengan masing-masing hanya 1 artikel dalam tahun tersebut, sedangkan pada tahun 2018 publikasi mengalami kenaikan dengan adanya 2 artikel dari yang tahun sebelumnya tidak ada.

Lonjakan publikasi mulai terjadi pada tahun 2020 dengan total 4 artikel yang dipublikasikan, walaupun pada tahun 2021 terjadi penurunan publikasi dengan jumlah 3 artikel. Pada tahun 2022, penelitian terkait pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi mengalami kenaikan drastis dari tahun sebelumnya

dengan total 11 artikel. Kenaikan ini dapat dikaitkan dengan semakin populernya teknologi AI di masyarakat, terutama dengan perilisannya ChatGPT oleh OpenAI pada akhir tahun 2022. Kehadiran ChatGPT memperkenalkan potensi nyata AI dalam pendidikan, termasuk kemampuan AI dalam membantu proses pembelajaran yang lebih interaktif dan personal, sehingga mendorong banyak peneliti untuk mengembangkan studi di bidang ini (Siregar, Wahyudi, Chandra, & Dwiana, 2024). Selanjutnya, pada tahun 2023 dan 2024 publikasi artikel terus mengalami kenaikan dengan masing-masing total artikel yaitu 22 artikel dan 24 artikel yang terkait pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi. Lonjakan ini menunjukkan bahwa AI semakin mendapatkan tempat penting sebagai inovasi teknologi dalam pembelajaran, khususnya dalam mata pelajaran biologi.

Berdasarkan hasil analisis artikel tentang pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi yang ditunjukkan Tabel 1, diketahui bahwa metode penelitian kuantitatif mendominasi dengan jumlah 35 artikel. Sementara itu, metode kualitatif ditemukan pada 16 artikel dan *mix-method* ditemukan pada 17 artikel. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian kuantitatif lebih sering digunakan untuk mengevaluasi dan mengukur efektivitas pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi, sedangkan metode kualitatif dan *mix-method* cenderung digunakan untuk menggali pemahaman mendalam serta mengintegrasikan berbagai perspektif terkait penerapan AI.

Hasil analisis artikel menunjukkan kontribusi artikel dengan tema pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi sebagian besar membahas tentang AI sebagai media pembelajaran yang dapat meningkatkan pemahaman konsep-konsep kompleks (15 artikel) dan AI sebagai media pembelajaran yang dapat meningkatkan pengalaman belajar siswa (10 artikel). Salah satu penelitian terkait topik tersebut oleh Kumar *et al.*, (2023) yang membahas tentang inovasi dalam pendidikan biologi dan kedokteran melalui penggunaan teknologi modern, khususnya dalam konteks pembelajaran gamifikasi yang mengintegrasikan model ARCS dengan *Artificial Intelligence integrated Internet of Medical Things* (AIoMT), animasi 3D, dan simulasi *Virtual Reality* (VR). Penelitian ini menyoroti bagaimana integrasi AIoMT dapat menciptakan aplikasi pembelajaran yang menarik bagi siswa sehingga memungkinkan mereka untuk melakukan simulasi yang realistis mengenai sistem tubuh manusia. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi VR secara signifikan meningkatkan motivasi siswa untuk belajar dan melalui analisis menggunakan model ARCS mengindikasikan siswa merasa lebih terlibat, percaya diri, dan puas dengan pengalaman belajar mereka.

Selain itu, sebagian besar kontribusi artikel tentang pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi juga mengkaji tentang penggunaan AI untuk membantu guru mengevaluasi dan menilai hasil ujian sebanyak 9 artikel. Salah satu penelitian terkait topik tersebut oleh Yoo *et al.*, (2024) membahas mengenai penggunaan sistem evaluasi otomatis (*automated evaluation*, AE) berbasis pembelajaran tidak terawasi untuk mengeksplorasi proses kognitif guru *pre-service* dalam penilaian siswa. Penelitian ini mengembangkan sistem baru yang disebut *Scoring Assistant Using Artificial Intelligence* (SAAI) yang mampu menghitung skor tanpa bergantung pada label yang telah ditentukan

sebelumnya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan AI seperti sistem SAAI tidak hanya mengurangi beban kerja guru, tetapi juga membantu mereka dalam meningkatkan kualitas penilaian dengan memberikan umpan balik yang lebih cepat dan relevan.

Di samping itu, analisis juga dilakukan terhadap karakteristik publikasi tentang pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi berdasarkan produktivitas penulis, jumlah sitasi, produktivitas negara, dan jumlah publikasi artikel pada jurnal. Dalam menganalisis suatu topik penelitian, penting untuk mempertimbangkan produktivitas penulis dan jumlah sitasi yang dihasilkan. Dengan mengetahui penulis yang paling berpengaruh pada topik tersebut, dokumen yang relevan dapat lebih mudah ditemukan untuk memperdalam pemahaman tentang topik penelitian (Septiyanto, Ashidiq, & Prima, 2022). Gambar 2. menunjukkan 10 penulis teratas pada topik pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi dengan penulis yang paling banyak mempublikasikan artikel yaitu Xiaoming Zhang (4 artikel). Sementara itu, Tabel 3. menunjukkan artikel dengan jumlah sitasi terbanyak ditulis oleh Cooper G. dengan total sitasi 489. Artinya, penulis Cooper G. memiliki jumlah sitasi lebih banyak walaupun dokumen yang ditulis lebih sedikit dari penulis Xiaoming Zhang.

Analisis publikasi tentang pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi juga menentukan negara mana yang telah menerbitkan artikel terbanyak dan paling berpengaruh pada topik ini. Gambar 3. menunjukkan bahwa United States memiliki publikasi sebanyak 21 artikel, diikuti oleh Germany 8 artikel, South Africa 6 artikel, China, Brazil, Saudi Arabia, dan South Korea masing-masing 4 artikel, serta Canada, Indonesia, dan Jordan masing-masing 3 artikel. Adapun berdasarkan Tabel 4. jurnal yang paling banyak mempublikasikan penelitian tentang pemanfaatan AI dalam pembelajaran biologi yaitu *Frontiers in Education* dengan jumlah publikasi tentang topik tersebut sebanyak 5 artikel.

Selanjutnya, hasil pemetaan menggunakan *software* VOSviewer pada Gambar 2. Menunjukkan terdapat 4 *cluster* yang dibedakan oleh variasi warna untuk setiap *cluster*.

1. *Cluster 1* ditandai dengan warna merah yang mencakup 7 kata kunci yang berhubungan dengan proses pembelajaran berbasis teknologi dan pendekatan ilmiah dalam pendidikan. Kata kunci seperti *science education* dan *students* menunjukkan fokus pada pendidikan sains dan keterlibatan siswa sebagai subjek utama. Sementara itu, istilah *deep learning*, *machine learning*, dan *education computing* mengindikasikan bahwa teknologi berbasis AI mulai diterapkan dalam pengajaran. Kehadiran *learning systems* dan *teaching* menegaskan bahwa *cluster* ini berorientasi pada pengembangan sistem pembelajaran yang lebih efektif menggunakan teknologi.
2. *Cluster 2* ditandai dengan warna hijau terdiri dari 4 kata kunci yaitu AI, *education*, *large language models*, dan ChatGPT. *Cluster 2* berfokus pada teknologi AI yang spesifik, termasuk kontribusi besar dari *large language model* seperti ChatGPT. Kata kunci *education* menunjukkan aplikasi langsung AI dalam mendukung proses pendidikan, sedangkan kata kunci AI dan ChatGPT menunjukkan bahwa teknologi ini menjadi

inovasi utama dalam pengembangan pembelajaran yang lebih interaktif dan personal. *Cluster* ini mencerminkan relevansi teknologi AI terkini dalam meningkatkan pengalaman belajar.

3. *Cluster 3* ditandai dengan warna biru terdiri dari 4 kata kunci yaitu *human, humans, model education, dan article*. *Cluster 3* menyoroti aspek manusia dalam pendidikan berbasis teknologi. Kata kunci seperti *human* dan *humans* menekankan peran sentral manusia sebagai pengelola dan pengguna teknologi. Sementara itu, *medical education* menunjukkan bahwa teknologi ini mulai diterapkan dalam bidang pendidikan medis. Kata kunci *article* menunjukkan bahwa kajian ilmiah mendukung integrasi teknologi dalam berbagai disiplin pendidikan.
4. *Cluster 4* ditandai dengan warna kuning terdiri dari 3 kata kunci yaitu *artificial intelligence, assessment, dan science teachers*. *Cluster 4* berkaitan dengan pemanfaatan *artificial intelligence* untuk mendukung proses penilaian (*assessment*) dan pengajaran (*science teachers*). Hal ini menunjukkan bahwa AI juga berepan penting dalam membantu guru dalam mengevaluasi kinerja siswa dan mendesain strategi pengajaran yang lebih baik.

Keempat *cluster* ini menunjukkan hubungan erat antara teknologi AI, seperti ChatGPT dan *machine learning*, dengan penerapannya dalam pendidikan. *Cluster* merah mencerminkan fokus pada pendekatan pembelajaran, *cluster* hijau pada inovasi teknologi, *cluster* biru pada aspek manusia, dan *cluster* kuning pada proses evaluasi dan pengajaran. Kombinasi ini mengindikasikan bahwa integrasi AI dalam pendidikan memberikan kontribusi signifikan dalam berbagai aspek pembelajaran dan pengajaran.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) dalam pembelajaran biologi menunjukkan potensi yang signifikan dalam meningkatkan kualitas pendidikan di era Revolusi Industri 4.0. AI tidak hanya membantu siswa dalam memahami konsep-konsep biologi yang kompleks melalui visualisasi dan simulasi, tetapi juga mendukung guru dalam proses evaluasi dan penilaian. Dengan kemampuan AI yang dapat memberikan umpan balik secara cepat dan relevan, maka para pendidik dapat menyesuaikan materi ajar dan metode pengajaran yang lebih efektif sesuai dengan kebutuhan individu siswa. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa integrasi teknologi AI dalam pembelajaran biologi sangat penting untuk memastikan pendidikan tetap relevan dan efektif dalam menghadapi tantangan global yang terus berkembang. Oleh karena itu, penting bagi pendidik dan peneliti untuk mengembangkan dan menerapkan metode yang memanfaatkan AI secara optimal dalam kurikulum biologi.

PENELITIAN LANJUTAN

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi penerapan AI dalam konteks pendidikan yang lebih luas, termasuk dampaknya terhadap berbagai disiplin ilmu lainnya. Selain itu, penelitian lebih mendalam mengenai persepsi guru dan siswa terhadap teknologi AI dalam pembelajaran dapat

memberikan pengetahuan berharga untuk dapat mengembangkan praktik pendidikan yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan karunia dan Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan artikel ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga tercinta atas doa, dukungan, dan motivasi yang selalu mereka berikan, serta kepada teman-teman yang selalu memberikan semangat dan dukungan moral.

DAFTAR PUSTAKA

- Adelana, O. P. (2024). Exploring pre-service biology teachers' intention to teach genetics using an AI intelligent tutoring - based system. *Cogent Education*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2310976>
- Albdrani, R. N., & Al-Shargabi, A. A. (2023). Investigating the Effectiveness of ChatGPT for Providing Personalized Learning Experience: A Case Study. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(11), 1208–1213. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.01411122>
- Alissa, R. A. S., & Hamadneh, M. A. (2023). The Level of Science and Mathematics Teachers' Employment of Artificial Intelligence Applications in the Educational Process. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 11(6), 1597–1608. <https://doi.org/10.46328/ijemst.3806>
- AlKanaan, H. M. N. (2022). Awareness Regarding the Implication of Artificial Intelligence in Science Education among Pre-Service Science Teachers. *International Journal of Instruction*, 15(3), 895–912. <https://doi.org/10.29333/iji.2022.15348a>
- Alshorman, S. (2024). THE READINESS TO USE AI IN TEACHING SCIENCE: SCIENCE TEACHERS' PERSPECTIVE. *Journal of Baltic Science Education*, 23(3), 432–448. <https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.432>
- Andersen, R., Mørch, A. I., & Litherland, K. T. (2022). Collaborative learning with block-based programming: investigating human-centered artificial intelligence in education. *Behaviour and Information Technology*, 41(9), 1830–1847. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2022.2083981>
- Angraini, L., Fitri, R., & Darussyamsu, R. (2022). Model pembelajaran problem based learning untuk meningkatkan hasil belajar biologi peserta didik : literature review. *Bio-Pedagogi*, 11(1), 42. <https://doi.org/10.20961/bio-pedagogi.v11i1.62436>
- Aparicio, F., Morales-Botello, M. L., Rubio, M., Hernando, A., Muñoz, R., López-Fernández, H., ... Buenaga, M. D. (2018). Perceptions of the use of intelligent information access systems in university level active learning activities among teachers of biomedical subjects. *International Journal of Medical Informatics*, 112, 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2017.12.016>
- Arada, K., Sanchez, A., & Bell, P. (2023). Youth as pattern makers for racial justice: How speculative design pedagogy in science can promote restorative futures through radical care practices. *Journal of the Learning*

- Sciences*, 32(1), 76–109. <https://doi.org/10.1080/10508406.2022.2154158>
- Bewersdorff, A., Seßler, K., Baur, A., Kasneci, E., & Nerdel, C. (2023). Assessing student errors in experimentation using artificial intelligence and large language models: A comparative study with human raters. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100177>
- Bredeweg, B., & Kragten, M. (2022). Requirements and challenges for hybrid intelligence: A case-study in education. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 5. <https://doi.org/10.3389/frai.2022.891630>
- Canale, L., Cagliero, L., Farinetti, L., & Torchiano, M. (2024). On Predicting Exam Performance Using Version Control Systems' Features. *Computers*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/computers13060150>
- Cooper, G. (2023). Examining Science Education in ChatGPT: An Exploratory Study of Generative Artificial Intelligence. *Journal of Science Education and Technology*, 32(3), 444–452. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10039-y>
- Crowther, G. J. (2023). Chatbot responses suggest that hypothetical biology questions are harder than realistic ones. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 24(3). <https://doi.org/10.1128/jmbe.00153-23>
- Dao, X. Q. (2023). LLMs Performance on Vietnamese High School Biology Examination. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 15(6), 14–30. <https://doi.org/10.5815/ijmecs.2023.06.02>
- Dengel, A., Gehrlein, R., Fernes, D., Görlich, S., Maurer, J., Pham, H. H., ... Eisermann, N. D. G. (2023). Qualitative Research Methods for Large Language Models: Conducting Semi-Structured Interviews with ChatGPT and BARD on Computer Science Education. *Informatics*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/informatics10040078>
- Deveci Topal, A., Dilek Eren, C., & Kolburan Geçer, A. (2021). Chatbot application in a 5th grade science course. *Education and Information Technologies*, 26(5), 6241–6265. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10627-8>
- Dos Anjos, J. R., de Souza, M. G., de Andrade Neto, A. S., & de Souza, B. C. (2024). AN ANALYSIS OF THE GENERATIVE AI USE AS ANALYST IN QUALITATIVE RESEARCH IN SCIENCE EDUCATION. *Revista Pesquisa Qualitativa*, 12(30). <https://doi.org/10.33361/RPQ.2024.v.12.n.30.724>
- Ferro, L. S., Sapiro, F., Terracina, A., Temperini, M., & Mecella, M. (2021). Gea2: A Serious Game for Technology-Enhanced Learning in STEM. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 14(6), 723–739. <https://doi.org/10.1109/TLT.2022.3143519>
- Forbus, K. D., Garnier, B., Tikoff, B., Marko, W., Usher, M., & McLure, M. (2020). Sketch worksheets in science, technology, engineering, and mathematics classrooms: Two deployments. *AI Magazine*, 41(1), 19–32. <https://doi.org/10.1609/aimag.v41i1.5189>
- Friese, S., & Rother, K. (2016). A mixed-paradigm component architecture for implementing web-based game servers. *Open Computer Science*, 6(1), 25–32. <https://doi.org/10.1515/comp-2016-0004>
- Gerard, L., Linn, M. C., & Holtmann, M. (2024). A Comparison of Responsive and General Guidance to Promote Learning in an Online Science Dialog.

- Education Sciences*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/educsci14121383>
- Gunawan, K. D. H., Liliarsari, S., Kaniawati, I., & Setiawan, W. (2020). Exploring science teachers' lesson plans by the implementation of intelligent tutoring systems in blended learning environments. *Universal Journal of Educational Research*, 8(10), 4776–4783. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081049>
- Haidir, H., Muhamad, T., Roviati, R., Evi, E., & Deka, D. (2024). Penerapan Chat GPT dalam Pembelajaran Biologi. *Jurnal Sosial Teknologi*, 4(3), 182–189. <https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v4i3.1064>
- Halawa, D. (2016). Pelaksanaan Pembelajaran Biologi Pada Pokok Bahasan Pencemaran Lingkungan Dengan Kelas Immersi. *Jurnal Warta*, 1(1), 1–12.
- Halonen, N., Stähle, P., Juuti, K., Paavola, S., & Lonka, K. (2023). Catalyst for co-construction: the role of AI-directed speech recognition technology in the self-organization of knowledge. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1232423>
- Hao, M., Wang, Y., & Peng, J. (2024). Empirical Research on AI Technology-Supported Precision Teaching in High School Science Subjects. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/app14177544>
- Haudek, K. C., & Zhai, X. (2024). Examining the Effect of Assessment Construct Characteristics on Machine Learning Scoring of Scientific Argumentation. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 34(4), 1482–1509. <https://doi.org/10.1007/s40593-023-00385-8>
- Henrich, M., Formella-Zimmermann, S., Gübert, J., & Dierkes, P. W. (2023). Students' technology acceptance of computer-based applications for analyzing animal behavior in an out-of-school lab. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1216318>
- Henze, J., Schatz, C., Malik, S., & Bresges, A. (2022). How Might We Raise Interest in Robotics, Coding, Artificial Intelligence, STEAM and Sustainable Development in University and On-the-Job Teacher Training? *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.872637>
- Herawati, P., Utami, S. B., & Karlina, N. (2022). Analisis Bibliometrik: Perkembangan Penelitian Dan Publikasi Mengenai Koordinasi Program Menggunakan Vosviewer. *Jurnal Pustaka Budaya*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.31849/pb.v9i1.8599>
- Issa, W. B., Shorbagi, A., Al-Sharman, A., Rababa, M., Al-Majeed, K., Radwan, H., ... Fakhry, R. (2024). Shaping the future: perspectives on the Integration of Artificial Intelligence in health profession education: a multi-country survey. *BMC Medical Education*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-024-06076-9>
- Jeon, I.-S., Kim, S.-Y., & Kang, S.-J. (2024). Developing Standards for Educational Datasets by School Level: A Framework for Sustainable K-12 Education. *Sustainability (Switzerland)*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/su16124954>
- Jiang, S., McClure, J., Mao, H., Chen, J., Liu, Y., & Zhang, Y. (2024). Integrating Machine Learning and Color Chemistry: Developing a High-School Curriculum toward Real-World Problem-Solving. *Journal of Chemical Education*, 101(2), 675–681. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00589>

- Kaldaras, L., & Haudek, K. C. (2022). Validation of automated scoring for learning progression-aligned Next Generation Science Standards performance assessments. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.968289>
- Kaldaras, L., Yoshida, N. R., & Haudek, K. C. (2022). Rubric development for AI-enabled scoring of three-dimensional constructed-response assessment aligned to NGSS learning progression. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.983055>
- Karaca, O., Çalışkan, S. A., & Demir, K. (2021). Medical artificial intelligence readiness scale for medical students (MAIRS-MS) – development, validity and reliability study. *BMC Medical Education*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-021-02546-6>
- Kerneža, M., & Zemljak, D. (2023). SCIENCE TEACHERS' APPROACH TO CONTEMPORARY ASSESSMENT WITH A READING LITERACY EMPHASIS. *Journal of Baltic Science Education*, 22(5), 851–864. <https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.851>
- Koć-Januchta, M. M. (2020). Engaging With Biology by Asking Questions: Investigating Students' Interaction and Learning With an Artificial Intelligence-Enriched Textbook. *Journal of Educational Computing Research*, 58(6), 1190–1224. <https://doi.org/10.1177/0735633120921581>
- Kosar, T., Ostojić, D., Liu, Y. D., & Mernik, M. (2024). Computer Science Education in ChatGPT Era: Experiences from an Experiment in a Programming Course for Novice Programmers. *Mathematics*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/math12050629>
- Krtalić, A., & Bajić, M. (2019). Development of the TIRAMISU Advanced Intelligence Decision Support System. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1), 40–55. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1550351>
- Kubsch, M., Czinczel, B., Lossjew, J., Wyrwich, T., Bednorz, D., Bernholt, S., ... Rummel, N. (2022). Toward learning progression analytics – Developing learning environments for the automated analysis of learning using evidence centered design. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.981910>
- Kumar, A., Saudagar, A. K. J., Alkhatami, M., Alsamani, B., Khan, M. B., Hasanat, M. H. A., ... Srinivasan, B. (2023). Gamified Learning and Assessment Using ARCS with Next-Generation AIoMT Integrated 3D Animation and Virtual Reality Simulation. *Electronics (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/electronics12040835>
- Laupichler, M. C., Aster, A., Haverkamp, N., & Raupach, T. (2023). Development of the “Scale for the assessment of non-experts' AI literacy” – An exploratory factor analysis. *Computers in Human Behavior Reports*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2023.100338>
- Lee, G.-G., Choi, M., An, T., Mun, S., & Hong, H.-G. (2023). Development of the Hands-free AI Speaker System Supporting Hands-on Science Laboratory Class: A Rapid Prototyping. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 18(1), 115–136. <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i01.34843>
- Lee, G. G. (2024). Using ChatGPT for Science Learning: A Study on Pre-service

- Teachers' Lesson Planning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 1683–1700. <https://doi.org/10.1109/TLT.2024.3401457>
- Lee, J., An, T., Chu, H.-E., Hong, H.-G., & Martin, S. N. (2023). Improving Science Conceptual Understanding and Attitudes in Elementary Science Classes through the Development and Application of a Rule-Based AI Chatbot. *Asia-Pacific Science Education*, 13(2). <https://doi.org/10.1163/23641177-bja10070>
- Lewis, S., Bhyat, F., Casmod, Y., Gani, A., Gumede, L., Hajat, A., ... Vermeulen, L. (2024). Medical imaging and radiation science students' use of artificial intelligence for learning and assessment. *Radiography*, 30, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2024.10.006>
- Li, Y., Wang, Y., Lee, Y., Chen, H., Petri, A. N., & Cha, T. (2023). Teaching Data Science through Storytelling: Improving Undergraduate Data Literacy. *Thinking Skills and Creativity*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101311>
- Lukman, L., Riska Agustina, & Rihadatul Aisy. (2024). Problematika Penggunaan Artificial Intelligence (AI) untuk Pembelajaran di Kalangan Mahasiswa STIT Pematang. *Jurnal Madaniyah*, 13(2), 242–255. <https://doi.org/10.58410/madaniyah.v13i2.826>
- Mendonça, N. C. (2024). Evaluating ChatGPT-4 Vision on Brazil's National Undergraduate Computer Science Exam. *ACM Transactions on Computing Education*, 24(3). <https://doi.org/10.1145/3674149>
- Mnguni, L. (2024). AI Integration in Biology Education: Comparative Insights into Perceived Benefits and TPACK among South African and Indonesian Pre-service Teachers. *Asia-Pacific Science Education*. <https://doi.org/10.1163/23641177-bja10086>
- Mnguni, L., Nuangchalerm, P., Zaky El Islami, R. A., Sibanda, D., Sari, I. J., & Ramulumo, M. (2024). The behavioural intentions for integrating artificial intelligence in science teaching among pre-service science teachers in South Africa and Thailand. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100334>
- Moola, Z., Dhurumraj, T., & Ramaila, S. (2024). Teachers' Views on the Interdependence of Humanity and Technology in Life Sciences Teaching and Learning within the Context of the 5IR. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 23(7), 476–498. <https://doi.org/10.26803/ijlter.23.7.24>
- Murakami, Y., Sho, Y., & Inagaki, T. (2024). Improving Motivation in Learning AI for Undergraduate Students by Case Study. *Journal of Information Processing*, 32, 175–181. <https://doi.org/10.2197/ipsjip.32.175>
- Nazaretsky, T., Ariely, M., Cukurova, M., & Alexandron, G. (2022). Teachers' trust in AI-powered educational technology and a professional development program to improve it. *British Journal of Educational Technology*, 53(4), 914–931. <https://doi.org/10.1111/bjet.13232>
- Ng, D. T. K., Tan, C. W., & Leung, J. K. L. (2024). Empowering student self-regulated learning and science education through ChatGPT: A pioneering pilot study. *British Journal of Educational Technology*, 55(4), 1328–1353. <https://doi.org/10.1111/bjet.13454>

- Nja, C. O., Idiege, K. J., Uwe, U. E., Meremikwu, A. N., Ekon, E. E., Erim, C. M., ... Cornelius-Ukpepi, B. U. (2023). Adoption of artificial intelligence in science teaching: From the vantage point of the African science teachers. *Smart Learning Environments*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00261-x>
- Nyaaba, M., Zhai, X., & Faison, M. Z. (2024). Generative AI for Culturally Responsive Science Assessment: A Conceptual Framework. *Education Sciences*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/educsci14121325>
- Park, J., Teo, T. W., Teo, A., Chang, J., Huang, J. S., & Koo, S. (2023). Integrating artificial intelligence into science lessons: teachers' experiences and views. *International Journal of STEM Education*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00454-3>
- Piccolo, S. R., Denny, P., Luxton-Reilly, A., Payne, S. H., & Ridge, P. G. (2023). Evaluating a large language model's ability to solve programming exercises from an introductory bioinformatics course. *PLoS Computational Biology*, 19(9 September). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1011511>
- Puspitawati, R. P., Afnan, M. Z., Abrizal, H. P., Anjani, G. A. D. K., & Adistria, B. (2024). Artificial Intelligence dalam Artikel Pendidikan Biologi pada Rentang Tahun 2003-2024. In *Seminar Nasional Biologi "Inobasi Penelitian dan Pembelajaran Biologi VIII (IP2B VIII)"* (pp. 44–60). Retrieved from <http://jurnal.fkip.unila.ac.id/index.php/JPVTI/index>
- Rahiou, F. (2024). Exploring Complex Biological Processes Through Artificial Intelligence. *Journal of Educators Online*, 21(2). <https://doi.org/10.9743/JEO.2024.21.2.9>
- Rochmawati, D. R., Arya, I., & Zakariyya, A. (2023). Manfaat Kecerdasan Buatan Untuk Pendidikan. *Jurnal Teknologi Komputer Dan Informatika*, 2(1), 124–134. <https://doi.org/10.59820/tekomin.v2i1.163>
- Septiyanto, A., Ashidiq, R. M., & Prima, E. C. (2022). Investigasi Tren Penelitian Pendidikan STEM: Analisis Bibliometrik Dari Tahun 2018-2022. In *Seminar Nasional IPA XIII "Kecemerlangan Pendidikan IPA untuk Konservasi Sumber Daya Alam"* (pp. 649–665).
- Shen, C., Laloy, E., Elshorbagy, A., Albert, A., Bales, J., Chang, F.-J., ... Tsai, W.-P. (2018). HESS Opinions: Incubating deep-learning-powered hydrologic science advances as a community. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 5639–5656. <https://doi.org/10.5194/hess-22-5639-2018>
- Shi, Y., & Rao, L. (2022). Construction of STEAM Graded Teaching System Using Backpropagation Neural Network Model under Ability Orientation. *Scientific Programming*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7792943>
- Siregar, F. P., Wahyudi, S., Chandra, D. A., & Dwiana, A. A. (2024). ChatGPT Dalam Mendukung Pembelajaran di Sekolah. *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi Dan Vokasional*, 6(1), 24–34. Retrieved from <http://jurnal.fkip.unila.ac.id/index.php/JPVTI/index>
- Sobron, M., & Lubis. (2021). Implementasi Artificial Intelligence Pada System Manufaktur Terpadu. *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU*, 4(1), 1–7. Retrieved from <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/semnastek/article/view/4134>

- Veras, M., Dyer, J.-O., Rooney, M., Silva, P. G. B., Rutherford, D., & Kairy, D. (2023). Usability and Efficacy of Artificial Intelligence Chatbots (ChatGPT) for Health Sciences Students: Protocol for a Crossover Randomized Controlled Trial. *JMIR Research Protocols*, 12(1). <https://doi.org/10.2196/51873>
- Veras, M., Dyer, J.-O., Shannon, H., Bogie, B. J. M., Ronney, M., Sekhon, H., ... Kairy, D. (2024). A mixed methods crossover randomized controlled trial exploring the experiences, perceptions, and usability of artificial intelligence (ChatGPT) in health sciences education. *Digital Health*, 10. <https://doi.org/10.1177/20552076241298485>
- Wang, J. T. H. (2023). Is the laboratory report dead? AI and ChatGPT. *Microbiology Australia*, 44(3), 144–148. <https://doi.org/10.1071/MA23042>
- Wang, L., Zhang, H., Zhang, Y., Hu, K., & An, K. (2023). A Deep Learning-Based Experiment on Forest Wildfire Detection in Machine Vision Course. *IEEE Access*, 11, 32671–32681. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3262701>
- Xu, Y., Vigil, V., Bustamante, A. S., & Warschauer, M. (2022). Contingent interaction with a television character promotes children's science learning and engagement. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2022.101439>
- Yan, A., Zou, Y., & Mirchandani, D. A. (2020). How hospitals in mainland China responded to the outbreak of COVID-19 using information technology-enabled services: An analysis of hospital news webpages. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 27(7), 991–999. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocaa064>
- Yannier, N., Hudson, S. E., Chang, H., & Koedinger, K. R. (2024). AI Adaptivity in a Mixed-Reality System Improves Learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 34(4), 1541–1558. <https://doi.org/10.1007/s40593-023-00388-5>
- Yoo, J., Park, J., Ha, M., & Mae Lagmay Darang, C. (2024). Exploring Pre-Service Teachers' Cognitive Processes and Calibration with an Unsupervised Learning-Based Automated Evaluation System. *SAGE Open*, 14(3). <https://doi.org/10.1177/21582440241262864>
- Yunus, M., & Mitrohardjono, M. (2020). Pengembangan Tehnologi Di Era Industri 4.0 Dalam Pengelolaan Pendidikan Sekolah Dasar Islam Plus Baitul Maal. *Jurnal Tahdzibi: Manajemen Pendidikan Islam*, Vol 3(No. 2), 134. <https://doi.org/10.24853/tahdzibi.3.2.129-138>
- Zhai, X., He, P., & Krajcik, J. (2022). Applying machine learning to automatically assess scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(10), 1765–1794. <https://doi.org/10.1002/tea.21773>