



Pelatihan AI Berbasis *Project-Based Learning* untuk Mendukung *Smart Education* di Lingkungan Sekolah

Project-Based Learning-Based AI Training to Support Smart Education in the School Environment

Joni Maulindar^{1*}, Pipin Yulanda², Fatimah Azahra³

¹⁻²Universitas Duta Bangsa Surakarta, Indonesia

³Universitas Slamet Riyadi, Indonesia

*Penulis korespondensi: joni_maulindar@udb.ac.id¹

Article History:

Naskah Masuk: 11 Maret 2026;

Revisi: 20 Maret 2026;

Diterima: 20 April 2026;

Tersedia: 27 April 2026

Keywords: Artificial Intelligence; Digital Transformation; Project-Based Learning; Smart Education; Teacher Training.

Abstract: The limited competence of teachers in utilizing Artificial Intelligence (AI) technology in learning has become a major issue hindering the optimization of Smart Education in school environments. The purpose of this activity is to enhance teachers' understanding and skills in implementing AI through a Project-Based Learning (PjBL) approach. The implementation method was carried out through participatory training, which included material delivery, hands-on practice, and mentoring in developing AI-based learning projects. The results of the activity indicate that the training was conducted successfully and actively participated in by teachers from various subject areas. The average pre-test score of participants was 57.3, which increased to 81.7 in the post-test, showing an improvement of 24.4 points. Participants were also able to develop innovative AI-based learning projects relevant to their respective subjects. In addition, there was an increase in digital literacy and teachers' confidence in using technology in the learning process. This activity also encouraged the creation of more interactive and adaptive learning tailored to students' needs. Therefore, this training is effective in supporting the implementation of Smart Education in school environments.

Abstrak

Keterbatasan kompetensi guru dalam memanfaatkan teknologi Artificial Intelligence (AI) dalam pembelajaran menjadi permasalahan utama yang menghambat optimalisasi Smart Education di lingkungan sekolah. Tujuan kegiatan ini adalah untuk meningkatkan pemahaman dan keterampilan guru dalam mengimplementasikan AI melalui pendekatan Project-Based Learning (PjBL). Metode pelaksanaan dilakukan melalui pelatihan partisipatif yang mencakup penyampaian materi, praktik langsung, dan pendampingan dalam pengembangan proyek pembelajaran berbasis AI. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa pelatihan berjalan dengan baik dan diikuti secara aktif oleh peserta dari berbagai bidang studi. Rata-rata nilai pre-test peserta sebesar 57,3 meningkat menjadi 81,7 pada post-test, menunjukkan peningkatan sebesar 24,4 poin. Peserta juga mampu mengembangkan proyek pembelajaran berbasis AI yang inovatif dan relevan dengan mata pelajaran masing-masing. Selain itu, terjadi peningkatan literasi digital dan kepercayaan diri guru dalam menggunakan teknologi dalam pembelajaran. Kegiatan ini juga mendorong terciptanya pembelajaran yang lebih interaktif dan adaptif sesuai dengan kebutuhan siswa. Dengan demikian, pelatihan ini efektif dalam mendukung implementasi Smart Education di lingkungan sekolah.

Kata Kunci: Kecerdasan Buatan; Pelatihan Guru; Pembelajaran Berbasis Proyek; Pendidikan Cerdas; Transformasi Digital.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital yang sangat pesat, khususnya dalam bidang kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI), telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai sektor kehidupan, termasuk sektor pendidikan (Chen, 2024)(Johnson et al., 2021). Transformasi

digital ini menuntut adanya adaptasi yang cepat dari para pendidik agar mampu mengintegrasikan teknologi dalam proses pembelajaran(Akour & Alenezi, 2022)(Pasi & Dhamak, 2025). Namun demikian, realitas di lapangan menunjukkan bahwa masih banyak guru yang belum memiliki kompetensi memadai dalam memanfaatkan teknologi AI secara optimal untuk mendukung kegiatan pembelajaran(Bucea-Manea-Toniş et al., 2022). Keterbatasan ini tidak hanya disebabkan oleh kurangnya pelatihan yang berkelanjutan, tetapi juga karena minimnya pemahaman konseptual dan praktis terkait penerapan AI dalam konteks pendidikan(Sposato, 2025)(Berisha Qehaja, 2025). Akibatnya, proses pembelajaran masih cenderung konvensional dan belum mampu memanfaatkan potensi teknologi untuk meningkatkan kualitas pembelajaran secara signifikan(Almufarreh & Arshad, 2023).

Selain itu, tantangan lain yang dihadapi adalah kurangnya kemampuan guru dalam mengembangkan metode pembelajaran yang inovatif dan berbasis teknologi(Asad & Qureshi, 2025). Salah satu pendekatan yang saat ini dianggap efektif dalam meningkatkan keterlibatan siswa adalah Project-Based Learning (PjBL)(Rehman et al., 2024)(Chimwayange, 2025), yang menekankan pada pembelajaran berbasis proyek nyata dan kontekstual. Namun, implementasi PjBL di sekolah masih belum optimal karena keterbatasan sumber daya dan kurangnya pelatihan yang terarah. Padahal, integrasi antara PjBL dengan teknologi AI dapat menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif(Zhou et al., 2025), adaptif, dan relevan dengan kebutuhan abad ke-21. Dengan memanfaatkan AI, guru dapat mengembangkan proyek pembelajaran yang berbasis data, analisis cerdas, serta mampu memberikan umpan balik yang lebih personal kepada siswa(Sajja et al., 2025)(Strielkowski et al., 2025)(Bello et al., 2025).

Dalam konteks yang lebih luas, konsep Smart Education menjadi bagian penting dari pengembangan ekosistem Smart City(Kociuba et al., 2023)(Zygiaris, 2013), di mana teknologi digunakan untuk meningkatkan kualitas layanan pendidikan secara efektif dan efisien. Smart Education menekankan pada pemanfaatan teknologi seperti AI(Yu et al., 2025), Internet of Things (IoT), dan big data dalam mendukung proses pembelajaran yang cerdas dan terintegrasi. Namun, implementasi konsep ini di lingkungan sekolah masih menghadapi berbagai kendala, terutama dari sisi kesiapan sumber daya manusia, infrastruktur, serta literasi digital. Banyak sekolah yang belum mampu mengadopsi teknologi secara optimal karena keterbatasan pengetahuan dan keterampilan guru dalam mengoperasikan serta mengintegrasikan teknologi tersebut ke dalam pembelajaran(Mpuangnan, 2024)(Almuhanha, 2025)(Ong & Annamalai, 2024).

Permasalahan lain yang muncul adalah adanya kesenjangan antara perkembangan teknologi dengan kemampuan adaptasi tenaga pendidik (Bhoyar et al., 2025) (Ul Hassan et al., 2025). Di satu sisi, teknologi AI berkembang dengan sangat cepat dan menawarkan berbagai peluang untuk meningkatkan kualitas pembelajaran, seperti otomatisasi penilaian, analisis performa siswa, hingga rekomendasi pembelajaran yang dipersonalisasi (George & Wooden, 2023). Namun di sisi lain, guru masih mengalami kesulitan dalam memahami dan mengimplementasikan teknologi tersebut secara praktis (Velandar et al., 2024) (Kim et al., 2026). Hal ini menyebabkan pemanfaatan teknologi AI di sekolah belum memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan kualitas pembelajaran (Wang & Huang, 2025) (Che Ghazali et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan upaya sistematis melalui kegiatan pelatihan yang terstruktur dan berkelanjutan untuk meningkatkan kompetensi guru dalam bidang AI.

Kegiatan in-house training menjadi salah satu solusi yang efektif untuk menjawab permasalahan tersebut. Melalui pelatihan ini, guru dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai konsep dan implementasi AI dalam pembelajaran, serta dilatih untuk mengembangkan proyek pembelajaran berbasis teknologi menggunakan pendekatan Project-Based Learning. Dengan pendekatan ini, diharapkan guru tidak hanya memahami teori, tetapi juga mampu mengaplikasikan teknologi AI secara langsung dalam proses pembelajaran. Selain itu, pelatihan ini juga dapat menjadi sarana untuk meningkatkan literasi digital guru serta mendorong terciptanya inovasi pembelajaran yang lebih kreatif dan adaptif terhadap perkembangan teknologi.

Dengan demikian, pelaksanaan pelatihan AI berbasis Project-Based Learning menjadi sangat penting dalam mendukung terwujudnya Smart Education di lingkungan sekolah. Kegiatan ini diharapkan dapat menjembatani kesenjangan antara perkembangan teknologi dan kemampuan guru, serta mendorong terciptanya ekosistem pembelajaran yang lebih cerdas, inovatif, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan suatu program pengabdian kepada masyarakat yang fokus pada peningkatan kompetensi guru melalui pelatihan AI berbasis PjBL sebagai langkah strategis dalam menghadapi tantangan pendidikan di era digital.

Tujuan dari kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini adalah untuk meningkatkan kompetensi guru dalam memahami dan mengimplementasikan teknologi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) dalam proses pembelajaran melalui pendekatan Project-Based Learning. Secara khusus, kegiatan ini bertujuan untuk memberikan pengetahuan konseptual mengenai AI serta keterampilan praktis dalam mengintegrasikan teknologi tersebut ke dalam kegiatan pembelajaran yang inovatif dan interaktif. Selain itu, pelatihan ini juga bertujuan untuk mendorong guru agar mampu merancang dan mengembangkan proyek pembelajaran

berbasis AI yang relevan dengan kebutuhan siswa serta sesuai dengan perkembangan teknologi saat ini.

Lebih lanjut, kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan literasi digital guru serta membangun kesadaran akan pentingnya pemanfaatan teknologi dalam mendukung konsep Smart Education. Dengan adanya pelatihan ini, diharapkan guru dapat mengoptimalkan penggunaan teknologi sebagai alat bantu dalam meningkatkan kualitas pembelajaran, baik dari segi efektivitas maupun efisiensi. Selain itu, kegiatan ini juga bertujuan untuk menciptakan lingkungan pembelajaran yang adaptif, kreatif, dan berbasis teknologi, sehingga mampu mendukung pengembangan ekosistem pendidikan yang sejalan dengan konsep Smart City. Pada akhirnya, kegiatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan kualitas pendidikan di lingkungan sekolah melalui pemanfaatan teknologi AI secara optimal.

2. METODE

Metode pelaksanaan kegiatan pengabdian ini menggunakan pendekatan pelatihan partisipatif berbasis Project-Based Learning (PjBL). Kegiatan diawali dengan tahap identifikasi kebutuhan dan tingkat literasi digital guru melalui survei awal. Selanjutnya, dilakukan pemberian materi mengenai konsep dasar Artificial Intelligence dan penerapannya dalam pembelajaran. Tahap berikutnya adalah praktik langsung, di mana peserta dibimbing untuk merancang dan mengembangkan proyek pembelajaran berbasis AI. Selama proses pelatihan, dilakukan pendampingan intensif dan diskusi interaktif. Evaluasi kegiatan dilakukan melalui pre-test dan post-test serta penilaian terhadap hasil proyek yang dihasilkan peserta untuk mengukur peningkatan kompetensi dan pemahaman.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pelaksanaan kegiatan pelatihan AI berbasis Project-Based Learning (PjBL) untuk mendukung Smart Education di lingkungan sekolah dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan utama, yaitu pre-test, pemaparan materi, praktik proyek, pendampingan, dan evaluasi akhir. Tahap pertama diawali dengan pelaksanaan pre-test yang bertujuan untuk mengukur tingkat pemahaman awal peserta terkait konsep Artificial Intelligence dan penerapannya dalam pembelajaran. Hasil pre-test menunjukkan bahwa sebagian besar peserta masih memiliki pemahaman yang terbatas, dengan rata-rata nilai sebesar 57,3. Nilai ini mengindikasikan bahwa kompetensi awal peserta berada pada kategori sedang dan

memerlukan peningkatan melalui pelatihan yang terarah.



Gambar 1. Pemaparan materi oleh pembicara.

Tahap berikutnya adalah pemaparan materi yang mencakup pengenalan konsep dasar Artificial Intelligence, peran AI dalam pendidikan, serta implementasi teknologi tersebut dalam pembelajaran berbasis Project-Based Learning. Materi disampaikan secara interaktif dengan mengombinasikan metode ceramah, diskusi, dan demonstrasi penggunaan tools berbasis AI. Selama tahap ini, peserta menunjukkan antusiasme yang tinggi, terlihat dari keaktifan dalam bertanya dan berdiskusi. Pemaparan materi tidak hanya berfokus pada teori, tetapi juga memberikan contoh konkret penggunaan AI dalam pembelajaran, sehingga peserta dapat memahami relevansi dan manfaatnya secara langsung.

Setelah pemaparan materi, kegiatan dilanjutkan dengan tahap praktik, di mana peserta diberikan tugas untuk merancang dan mengembangkan proyek pembelajaran berbasis AI menggunakan pendekatan Project-Based Learning. Pada tahap ini, peserta dibagi ke dalam beberapa kelompok untuk mempermudah kolaborasi dan diskusi. Proyek yang dikembangkan mencakup berbagai inovasi, seperti pembuatan media pembelajaran interaktif, pengembangan soal berbasis AI, serta analisis sederhana terhadap data hasil belajar siswa. Peserta menunjukkan kemampuan adaptasi yang baik dalam menggunakan teknologi baru, meskipun sebagian masih memerlukan pendampingan intensif.



Gambar 2. Pendampingan Peserta Pelatihan.

Tahap pendampingan dilakukan secara berkelanjutan selama proses praktik berlangsung. Tim pelaksana memberikan bimbingan teknis dan konsultasi kepada peserta yang mengalami kesulitan dalam mengimplementasikan AI dalam proyek mereka. Pendampingan ini menjadi faktor penting dalam keberhasilan kegiatan, karena membantu peserta untuk memahami konsep secara lebih mendalam dan mengaplikasikannya secara tepat. Selain itu, diskusi antar peserta juga menjadi sarana berbagi pengetahuan dan pengalaman, sehingga tercipta suasana belajar yang kolaboratif.

Tahap akhir dari kegiatan ini adalah evaluasi melalui post-test dan penilaian terhadap hasil proyek yang telah dikembangkan. Hasil post-test menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan, dengan rata-rata nilai mencapai 81,7. Peningkatan sebesar 24,4 poin dari nilai pre-test menunjukkan bahwa pelatihan ini efektif dalam meningkatkan pemahaman peserta. Selain itu, hasil penilaian proyek menunjukkan bahwa sebagian besar peserta mampu menghasilkan produk yang inovatif dan relevan dengan pembelajaran. Proyek-proyek tersebut dinilai berdasarkan aspek kreativitas, implementasi teknologi, dan kesesuaian dengan konsep Project-Based Learning.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Pelatihan.

Keterangan	Nilai Rata-Rata
Pre-Test	57,3
Post-Test	81,7
Peningkatan	24,4

Secara keseluruhan, hasil kegiatan menunjukkan bahwa pelatihan yang dilaksanakan dengan tahapan yang sistematis mampu memberikan dampak positif terhadap peningkatan kompetensi guru. Tidak hanya dari aspek pengetahuan, tetapi juga keterampilan praktis dan

sikap terhadap penggunaan teknologi dalam pembelajaran. Peserta menjadi lebih percaya diri dan termotivasi untuk mengintegrasikan AI dalam kegiatan belajar mengajar. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan pelatihan berbasis praktik dan pendampingan efektif dalam mendukung transformasi digital di lingkungan pendidikan.

Pembahasan

Pelaksanaan pelatihan AI berbasis Project-Based Learning (PjBL) yang dilakukan melalui tahapan pre-test, pemaparan materi, praktik, pendampingan, dan evaluasi menunjukkan bahwa pendekatan yang sistematis memiliki peran penting dalam meningkatkan efektivitas kegiatan pengabdian. Tahap pre-test berfungsi sebagai alat diagnosis awal untuk mengetahui tingkat pemahaman peserta sebelum pelatihan. Hasil pre-test yang menunjukkan nilai rata-rata 57,3 mengindikasikan bahwa sebagian besar peserta masih berada pada tahap pemahaman dasar, sehingga materi yang disampaikan perlu disesuaikan dengan kebutuhan peserta. Hal ini sejalan dengan prinsip pembelajaran yang menekankan pentingnya analisis kebutuhan sebelum pelaksanaan kegiatan.

Tahap pemaparan materi menjadi fondasi utama dalam memberikan pemahaman konseptual kepada peserta. Penyampaian materi yang dilakukan secara interaktif terbukti mampu meningkatkan keterlibatan peserta dalam proses pembelajaran. Kombinasi antara teori dan demonstrasi memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna, sehingga peserta tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu melihat implementasinya secara langsung. Hal ini sesuai dengan teori pembelajaran konstruktivistik yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun melalui pengalaman dan interaksi aktif.

Tahap praktik berbasis Project-Based Learning merupakan inti dari kegiatan pelatihan ini. Melalui PjBL, peserta diberikan kesempatan untuk mengaplikasikan pengetahuan yang telah diperoleh dalam bentuk proyek nyata. Keterlibatan aktif dalam proses perancangan dan pengembangan proyek memungkinkan peserta untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif. Selain itu, penggunaan AI dalam proyek memberikan nilai tambah dalam meningkatkan kualitas pembelajaran yang dirancang oleh peserta. Tahap ini juga menunjukkan bahwa pendekatan berbasis proyek sangat efektif dalam meningkatkan keterampilan praktis peserta.

Pendampingan yang dilakukan selama tahap praktik menjadi faktor kunci dalam keberhasilan kegiatan. Tidak semua peserta memiliki kemampuan yang sama dalam memahami teknologi AI, sehingga diperlukan bimbingan yang intensif untuk memastikan bahwa setiap peserta dapat mengikuti proses pelatihan dengan baik. Pendampingan ini juga memberikan kesempatan bagi peserta untuk mengatasi kesulitan yang dihadapi secara

langsung, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih efektif. Selain itu, interaksi antar peserta dalam diskusi kelompok juga berkontribusi dalam meningkatkan pemahaman melalui proses berbagi pengetahuan.

Tahap evaluasi melalui post-test dan penilaian proyek memberikan gambaran yang jelas mengenai efektivitas pelatihan. Peningkatan nilai rata-rata dari 57,3 menjadi 81,7 menunjukkan adanya peningkatan pemahaman yang signifikan. Hal ini membuktikan bahwa metode pelatihan yang digunakan mampu mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Selain itu, hasil proyek yang dihasilkan peserta menunjukkan bahwa mereka tidak hanya memahami teori, tetapi juga mampu mengimplementasikannya dalam konteks pembelajaran. Hal ini menjadi indikator bahwa pelatihan ini berhasil mengintegrasikan aspek kognitif dan keterampilan praktis.

Dalam konteks Smart Education, hasil kegiatan ini menunjukkan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran dapat menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan kualitas pendidikan. AI memungkinkan proses pembelajaran menjadi lebih adaptif, interaktif, dan berbasis data. Hal ini sejalan dengan konsep Smart City yang menekankan pemanfaatan teknologi untuk meningkatkan kualitas layanan publik. Dengan demikian, pelatihan ini tidak hanya memberikan manfaat bagi peserta, tetapi juga berkontribusi dalam mendukung transformasi pendidikan menuju ekosistem yang lebih cerdas.

Namun demikian, terdapat beberapa tantangan yang perlu diperhatikan, seperti keterbatasan infrastruktur dan perbedaan tingkat literasi digital peserta. Oleh karena itu, diperlukan upaya lanjutan berupa pelatihan berkelanjutan dan dukungan dari pihak sekolah untuk memastikan implementasi AI dapat berjalan secara optimal. Secara keseluruhan, pembahasan ini menunjukkan bahwa pendekatan pelatihan yang sistematis dan berbasis praktik merupakan strategi yang efektif dalam meningkatkan kompetensi guru serta mendukung implementasi Smart Education di lingkungan sekolah.

4. KESIMPULAN

Kegiatan pelatihan AI berbasis Project-Based Learning yang dilaksanakan di lingkungan sekolah terbukti efektif dalam meningkatkan kompetensi guru dalam memahami dan mengimplementasikan teknologi dalam pembelajaran. Hal ini ditunjukkan melalui peningkatan signifikan pada hasil evaluasi pre-test dan post-test, serta kemampuan peserta dalam menghasilkan proyek pembelajaran berbasis AI. Selain itu, pelatihan ini juga berhasil meningkatkan literasi digital, kreativitas, dan motivasi guru dalam mengembangkan

pembelajaran yang inovatif. Dengan demikian, kegiatan ini berkontribusi dalam mendukung penerapan konsep Smart Education sebagai bagian dari transformasi digital pendidikan menuju ekosistem pembelajaran yang lebih cerdas dan adaptif.

Diperlukan pelatihan lanjutan yang lebih mendalam serta pendampingan berkelanjutan agar kompetensi guru semakin berkembang. Selain itu, dukungan infrastruktur dan kebijakan sekolah sangat penting untuk memastikan implementasi AI dalam pembelajaran dapat berjalan optimal dan berkelanjutan.

DAFTAR REFERENSI

- Akour, M., & Alenezi, M. (2022). Higher education future in the era of digital transformation. *Education Sciences*, 12(11), 784. <https://doi.org/10.3390/educsci12110784>
- Almufarreh, A., & Arshad, M. (2023). Promising emerging technologies for teaching and learning: Recent developments and future challenges. *Sustainability*, 15(8), 6917. <https://doi.org/10.3390/su15086917>
- Almuhanna, M. A. (2025). Teachers' perspectives of integrating AI-powered technologies in K-12 education for creating customized learning materials and resources. *Education and Information Technologies*, 30(8), 10343–10371. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13257-y>
- Asad, M. M., & Qureshi, A. (2025). Impact of technology-based collaborative learning on students' competency-based education: Insights from the higher education institution of Pakistan. *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*, 15(3), 562–575. <https://doi.org/10.1108/HESWBL-07-2024-0202>
- Bello, A. A., Bello, Z. A., Bello, I. A., & Aweda, N. A. (2025). Leveraging AI-driven assessment tools to transform science education for future-ready learning. 18(1), 126–132.
- Berisha Qehaja, A. (2025). Strategic integration of artificial intelligence solutions to transform teaching practices in higher education. *Foresight*, 27(5), 970–991. <https://doi.org/10.1108/FS-04-2024-0079>
- Bhojar, P. K., Chitrao, P. V., & Divekar, B. (Retd) R. (2025). Long-term outcomes and resilience in entrepreneurship education 2024: Evaluating career success and adaptability. *Cogent Education*, 12(1), 2479399. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2025.2479399>
- Bucea-Manea-Țoniș, R., Kuleto, V., Gudei, S. C., Lianu, C., Ilić, M. P., & Păun, D. (2022). Artificial intelligence potential in higher education institutions enhanced learning environment in Romania and Serbia. *Sustainability*, 14(10), 5842. <https://doi.org/10.3390/su14105842>
- Che Ghazali, R., Abdul Hanid, M. F., Mohd Said, M. N. H., & Lee, H. Y. (2025). The advancement of artificial intelligence in education: Insights from a 1976–2024 bibliometric analysis. *Journal of Research on Technology in Education*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/15391523.2025.2456044>
- Chen, H. (2024). The ethical challenges of educational artificial intelligence and coping measures. *Science Insights Education Frontiers*, 20(2), 3263–3281.

<https://doi.org/10.15354/sief.24.re339>

- Chimwayange, C. (2025). Promoting student engagement using project-based learning as service-based skills development. *International Journal of Technology and Design Education*, 35(4), 1429–1446. <https://doi.org/10.1007/s10798-024-09947-w>
- George, B., & Wooden, O. (2023). Managing the strategic transformation of higher education through artificial intelligence. *Administrative Sciences*, 13(9), 196. <https://doi.org/10.3390/admsci13090196>
- Johnson, M., Jain, R., Brennan-Tonetta, P., Swartz, E., Silver, D., Paolini, J., Mamonov, S., & Hill, C. (2021). Impact of big data and artificial intelligence on industry. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 22(3), 197–217. <https://doi.org/10.1007/s40171-021-00272-y>
- Kim, Y. R., Park, M. S., & Joung, E. (2026). Exploring the integration of artificial intelligence in math education. *School Science and Mathematics*, 126(1), 9–23. <https://doi.org/10.1111/ssm.18336>
- Kociuba, D., Sagan, M., & Kociuba, W. (2023). Toward the smart city ecosystem model. *Energies*, 16(6), 2795. <https://doi.org/10.3390/en16062795>
- Mpuangnan, K. N. (2024). Teacher preparedness and professional development needs for technology integration. *Cogent Education*, 11(1), 2408837. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2408837>
- Ong, Q. K. L., & Annamalai, N. (2024). Technological pedagogical content knowledge for 21st century learning. *Education and Information Technologies*, 29(2), 1939–1980. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11852-z>
- Pasi, B. N., & Dhamak, P. (2025). Industry 4.0 and higher education transformation. *Asian Education and Development Studies*. <https://doi.org/10.1108/AEDS-01-2025-0018>
- Rehman, N., Huang, X., Mahmood, A., AlGerafi, M. A. M., & Javed, S. (2024). Project-based learning and student engagement. *Heliyon*, 10(23), e39988. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39988>
- Sajja, R., Sermet, Y., Cwiertny, D., & Demir, I. (2025). AI and learning analytics in education. *Technology, Knowledge and Learning*. <https://doi.org/10.1007/s10758-025-09897-9>
- Sposato, M. (2025). Artificial intelligence in educational leadership. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 22(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s41239-025-00517-1>
- Strielkowski, W., Grebennikova, V., Lisovskiy, A., Rakhimova, G., & Vasileva, T. (2025). AI-driven adaptive learning for sustainable transformation. *Sustainable Development*, 33(2), 1921–1947. <https://doi.org/10.1002/sd.3221>
- Ul Hassan, M., Murtaza, A., & Rashid, K. (2025). Higher education transformation in global crises. *European Journal of Education*, 60(1), e12822. <https://doi.org/10.1111/ejed.12822>
- Velander, J., Taiye, M. A., Otero, N., & Milrad, M. (2024). AI in K-12 education. *Education and Information Technologies*, 29(4), 4085–4105. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11990-4>
- Wang, D., & Huang, X. (2025). Transforming education through artificial intelligence. *Interactive Learning Environments*, 33(7), 4546–4565. <https://doi.org/10.1080/10494820.2025.2465451>

- Yu, J. H., Chauhan, D., Iqbal, R. A., & Yeoh, E. (2025). AI in education research trends. *Educational Technology Research and Development*, 73(1), 199–227. <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10425-2>
- Zhou, G., Liu, W., Guo, S., & Lin, Y. (2025). Online project-based learning bibliometric review. *Computer Applications in Engineering Education*, 33(3), e70044. <https://doi.org/10.1002/cae.70044>
- Zygiaris, S. (2013). Smart city reference model. *Journal of the Knowledge Economy*, 4(2), 217–231. <https://doi.org/10.1007/s13132-012-0089-4>