

PENINGKATAN LITERASI AI DAN COMPUTATIONAL THINKING GURU GEOGRAFI MELALUI PELATIHAN BERBASIS DATA GEOSPASIAL DAN EKSKURSI LAPANGAN

Alfyananda Kurnia Putra^{1*}, Diky Al Khalidy¹, Budi Handoyo¹, Novika Adi Wibowo¹, Purwanto¹, Listyo Yudha Irawan¹, Anugrah Januar Ratri¹, Vita Nuraini Dewanti¹, Rendra Arjita²

¹Departemen Geografi, Universitas Negeri Malang, Malang

²SMA Negeri Pesanggaran, Banyuwangi

*Email: alfyananda.fis@um.ac.id

Naskah diterima: 01-08-2025, disetujui: 09-11-2025, diterbitkan: 13-11-2025

DOI: <http://dx.doi.org/10.29303/jppm.v8i4.9877>

Abstrak – *Artificial intelligence (AI)* dan *computational thinking* telah membuka peluang transformasi dalam pembelajaran Geografi berbasis data dan teknologi. Namun, sebagian besar guru Geografi, khususnya di wilayah dengan keterbatasan akses seperti Kabupaten Banyuwangi, belum memiliki kompetensi yang memadai. Program pengabdian ini bertujuan untuk meningkatkan literasi dalam literasi AI dan *computational thinking* guru Geografi melalui pelatihan berbasis praktik. Metode yang digunakan yaitu *workshop* klasikal dan ekskursi lapangan, dengan materi (1) *Workshop* literasi AI: pengenalan dan praktik perangkat lunak dengan studi kasus geospasial, serta ekskursi lapangan secara langsung (2) Pelatihan *computational thinking*, dan (3) Pendampingan langsung guru dalam menerapkan pembelajaran berbasis AI. Evaluasi dilakukan melalui *pretest-posttest* pada variabel literasi AI dan *computational thinking*, serta survei persepsi. Hasil analisis *Wilcoxon Signed-Rank* menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada skor literasi AI (rata-rata *pretest* 4,00 menjadi 7,98) dan *computational thinking* (dari 3,57 menjadi 7,73) dengan *p-value* < 0,001. Selain itu, 90% peserta menyatakan kesiapan untuk mengimplementasikan pendekatan berbasis AI di kelas. Hasil ini menunjukkan pelatihan berbasis konteks dan praktik dapat meningkatkan kompetensi guru secara efektif. Rekomendasi program pengabdian yaitu adanya pendampingan lebih lanjut, terutama dalam aspek teknis untuk memastikan implementasi dan keberlanjutan inovasi pembelajaran berbasis geospasial, AI, serta praktik lapangan.

Kata kunci : Literasi AI, *Computational Thinking*, Pembelajaran Geografi

LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mengubah paradigma dalam proses pembelajaran, termasuk dalam pembelajaran Geografi. Salah satu evolusi teknologi ini adalah hadirnya *deep learning*, yang meniru cara kerja otak manusia melalui jaringan syaraf tiruan (*artificial neural networks*) (Goel et al., 2023). *Deep learning* memungkinkan analisis data berskala besar dengan kompleksitas tinggi, termasuk data spasial dan temporal, sehingga sangat potensial untuk diintegrasikan dalam kajian Geografi (W. Li & Hsu, 2022). Salah satu implementasi *deep learning* yaitu pemetaan dinamika perubahan lingkungan dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data (Sebestyén et al., 2021).

Implementasi *deep learning* dalam bidang pendidikan membuka peluang untuk memanfaatkan *artificial intelligence (AI)*. AI tidak hanya sebagai alat bantu, tetapi merupakan pendekatan strategis dalam mendesain pembelajaran berbasis analisis dan eksplorasi data (Kim et al., 2022). Dalam pembelajaran Geografi, AI dapat digunakan untuk memproses data citra satelit, menganalisis pola penggunaan lahan, memprediksi potensi bencana, hingga memvisualisasikan perubahan lingkungan secara interaktif (Abid et al., 2021; Fahmi et al., 2022; Sharma et al., 2024). Integrasi AI dalam pembelajaran menuntut adanya pergeseran dari pendekatan pembelajaran konvensional menuju pendekatan berbasis data dan teknologi (Munir et al., 2022; Putra et al., 2021).

Namun, tingkat *AI literacy* di kalangan guru Geografi tergolong rendah, khususnya di daerah dengan keterbatasan akses teknologi seperti Kabupaten Banyuwangi. *AI literacy* mengacu pada kemampuan individu untuk memahami konsep dasar *AI*, berpikir secara algoritmik, serta menggunakan dan mengevaluasi aplikasi *AI* secara etis dan efektif (Biagini, 2025). Kompetensi ini mencakup pula penguasaan *computational thinking*, yaitu pendekatan sistematis dalam menyelesaikan masalah melalui dekomposisi, abstraksi, pengenalan pola, dan perancangan algoritma (Wu et al., 2024). *Computational thinking* merupakan kemampuan untuk mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran Geografi berbasis data geospasial (Duarte et al., 2022; Lee, 2023; Salsabila & Putra, 2024).

Hasil survei dan *Focus Group Discussion* (FGD) yang melibatkan 44 guru Geografi anggota Musyawarah Guru Mata Pelajaran (MGMP) di Kabupaten Banyuwangi menunjukkan tantangan yang signifikan dalam penerapan teknologi berbasis *AI*. Hanya sekitar 2 guru (5%) yang telah menggunakan perangkat seperti *QGIS*, *Google Earth Engine*, atau alat berbasis *machine learning* lainnya dalam proses pembelajaran. Sebaliknya, sebanyak 31 guru (70%) masih bergantung pada metode konvensional, kurang mampu merepresentasikan dinamika spasial secara aktual.

Tantangan ini diperparah oleh minimnya pemahaman guru tentang *computational thinking*, sehingga guru kesulitan merancang pembelajaran berbasis data. Persepsi bahwa *AI* dan *machine learning* menuntut penguasaan matematika atau pemrograman menurunkan minat dan kepercayaan diri guru, terutama yang berasal dari wilayah dengan akses teknologi terbatas (Tatar et al., 2025; Tedre et al., 2021).

Selain itu, perbedaan infrastruktur teknologi antara sekolah di wilayah perkotaan dan pegunungan semakin memperlebar kesenjangan dalam pemanfaatan teknologi pembelajaran (Luo et al., 2022; Rundel & Salemink, 2021).

Program pengabdian dirancang untuk mengatasi kendala dan tantangan yang dihadapi. Program pengabdian ini bertujuan untuk meningkatkan literasi *AI computational thinking* guru Geografi, melalui pelatihan intensif berbasis data lapangan. Pelatihan ini mengintegrasikan penggunaan perangkat berbasis *AI* dan *machine learning*, serta mendampingi guru dalam mengembangkan rancangan pembelajaran kontekstual. Penggunaan pendekatan berbasis bukti, interaktif, dan partisipatif, program pengabdian ini tidak hanya meningkatkan kualitas pembelajaran Geografi, tetapi juga berkontribusi dalam peningkatan kapasitas guru di era berbasis *AI* dan geospasial.

METODE PELAKSANAAN

A. Desain Pelaksanaan Pengabdian

Mitra dalam program ini adalah Musyawarah Guru Mata Pelajaran (MGMP) Geografi Kabupaten Banyuwangi yang terdiri dari 44 guru dari berbagai sekolah. Desain pelaksanaan mengikuti pendekatan sistematis berbasis *capacity building* (Madridano et al., 2021), dengan empat tahapan, yaitu perencanaan, persiapan, implementasi, dan evaluasi. Setiap tahap dirancang untuk memastikan integrasi *AI* dan *deep learning* dalam pembelajaran Geografi dapat diimplementasikan secara bertahap, adaptif, dan kontekstual sesuai kondisi lokal.

Pelaksanaan program menggunakan metode campuran, yaitu daring dan luring. Tahap perencanaan, persiapan, dan evaluasi dilakukan secara daring untuk memfasilitasi efisiensi koordinasi dan pascaprogram

pengabdian. Tahapan implementasi dilaksanakan secara luring, untuk menjamin pengetahuan, pengalaman, dan keterampilan praktis diperoleh oleh guru, sekaligus memberikan ruang pendampingan intensif

terhadap tantangan yang dihadapi dalam proses implementasi. Detail kegiatan pada setiap tahapan ditunjukkan oleh Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Metode Pelaksanaan Program Pengabdian Kepada Masyarakat

Tahapan	Deskripsi Kegiatan
Perencanaan	- Analisis kebutuhan mitra melalui diskusi dengan pengurus MGMP - Sosialisasi program kepada anggota MGMP - Penyusunan desain program berbasis kebutuhan lokal
Persiapan	- Pengembangan materi AI dan <i>computational thinking</i> - Penyediaan perangkat lunak dan panduan operasional
Implementasi	<i>Workshop</i> literasi AI: Pengenalan dan praktik perangkat lunak dengan studi kasus geospasial, dan ekskursi lapangan secara langsung - Pelatihan <i>computational thinking</i> - Pendampingan langsung guru dalam menerapkan pembelajaran berbasis AI - Diskusi reflektif tentang tantangan implementasi
Evaluasi	- Pengukuran kompetensi melalui <i>pretest</i> dan <i>posttest</i> - Survei persepsi dan kepuasan mitra

B. Instrumen pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan untuk mengetahui efektivitas kegiatan pengabdian. Pengumpulan data menggunakan berbagai instrumen tes dan survei. Detail instrumen dijelaskan sebagai berikut.

1. Tes kompetensi (*pretest* dan *posttest*)

Instrumen tes kompetensi bertujuan untuk mengetahui perbedaan pengetahuan dan keterampilan peserta secara kuantitatif. Tes ini disusun untuk mengukur pemahaman konsep guru sebelum (*pretest*) dan sesudah (*posttest*) mengikuti kegiatan pelatihan. Instrumen tes disusun dalam bentuk pilihan ganda sebanyak 20 soal pilihan ganda untuk mengukur variabel literasi AI (konsep dasar, keterampilan perangkat lunak, kemampuan analisis, dan etika penggunaan AI) dan *computational thinking* (konsep, solusi berbasis algoritma, dan CT dalam pembelajaran Geografi).

2. Survei

Instrumen survei bertujuan untuk memperoleh umpan balik dari peserta tentang kegiatan pengabdian secara kualitatif dan

kuantitatif. Hasil survei digunakan untuk mengevaluasi persepsi guru terhadap kegiatan. Hasil survei digunakan untuk mengevaluasi kualitas program pengabdian.

C. Analisis Data

Data dianalisis menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif. Data hasil *pretest* dan *posttest* dianalisis menggunakan uji statistik, yaitu uji t (*paired sample t-test*) untuk mengetahui perbedaan pada skor kompetensi guru. Analisis deskriptif digunakan untuk mengukur tingkat kepuasan guru terhadap kegiatan pada data skala likert. Analisis kualitatif digunakan untuk memperkuat temuan hasil pengabdian, seperti manfaat program, kendala, serta saran keberlanjutan program.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengabdian

Program implementasi pengabdian dilaksanakan secara luring selama dua hari, yaitu di SMA Negeri Pesanggaran dan Pantai Parang Semar. Hari pertama berokus pada

kegiatan *workshop* dengan materi konsep dasar *artificial intelligence* dan pemanfaatan *machine learning* dalam pembelajaran Geografi. Selain itu, materi yang diberikan adalah *computational thinking* sebagai pendekatan sistematis dalam menyelesaikan masalah geospasial. Kegiatan berlangsung secara interaktif, melalui diskusi, simulasi, dan studi kasus menggunakan citra satelit.



Gambar 1. Kegiatan *workshop* dengan penyampaian materi secara konseptual berbasis teori

Hari kedua program pengabdian dilakukan dengan ekskursi lapangan sebagai laboratorium alam untuk menerapkan materi yang telah dipelajari. Pada sesi ini, guru melakukan praktik secara langsung untuk pengumpulan data, seperti geologi Geopark Ijen

bagian selatan Banyuwangi, karakteristik pantai, dan identifikasi potensi sumber daya alam. Data lapangan dianalisis untuk sebagai bukti lapangan atau memperkuat hasil analisis spasial. Proses ini dapat memperkuat pemahaman konsep dan menganalisis kajian materi dalam pembelajaran berbasis lapangan.



Gambar 2. Kegiatan ekskursi lapangan ke Pantai Parang Semar

Hasil evaluasi berupa pengukuran kompetensi *pretest-posttest* menunjukkan peningkatan signifikan. Analisis statistik non-parametrik digunakan karena data tidak terdistribusi normal ($p\text{-value} < .001$) dan tidak homogen ($p\text{-value} < .001$) pada variabel literasi AI dan *computational thinking*. Hasil analisis deskriptif dan *Wilcoxon Signed-Rank* ditunjukkan oleh tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil analisis deskriptif dan *Wilcoxon Signed-Rank*

Variabel	Rata-rata <i>pretest</i>	Rata-rata <i>posttest</i>	<i>p-value</i>	Keterangan
Literasi AI	4,00	7,98	<,001	Terdapat perbedaan yang signifikan
Computational thinking	3,57	7,73	<,001	Terdapat perbedaan yang signifikan

Tabel 2 menunjukkan perbedaan rata-rata *pretest-posttest* variabel literasi AI dengan perbedaan 3,98 sedangkan variabel *computational thinking* dengan perbedaan 4,16. Hasil analisis menunjukkan $p\text{-value}$ *Wilcoxon Signed-Rank* sebesar <,001, yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil *pretest* dengan hasil *posttest*. Hasil ini menunjukkan bahwa program pengabdian dapat

meningkatkan literasi AI dan *computational thinking* guru Geografi di Kabupaten Banyuwangi.

Selain itu, hasil survei persepsi menunjukkan sebagian besar guru merasa materi dalam pengabdian sangat relevan dan aplikatif. Sebanyak 40 guru (90%) menyatakan siap mengimplementasikan pembelajaran berbasis AI dalam proses pembelajaran

Geografi. Hasil umpan balik menunjukkan adanya kebutuhan terhadap program dan pendampingan lanjutan, terutama dalam aspek teknis.

B. Pembahasan

Hasil pengabdian ini menunjukkan keberhasilan program pelatihan dalam meningkatkan kompetensi guru Geografi pada aspek literasi AI dan *computational thinking*. Rata-rata skor *pretest* (AI: 4,00 dan CT: 3,57) mencerminkan pemahaman guru terhadap pembelajaran berbasis data dan teknologi sebelum pelatihan tergolong rendah. Peningkatan skor *posttest* (AI: 7,98 dan CT: 7,73) tidak hanya menunjukkan keberhasilan penyampaian materi dan efektivitas pendekatan pelatihan berbasis praktik langsung.

Model pelatihan yang digunakan yaitu menggabungkan aspek konseptual dan kontekstual. Program hari pertama berfokus pada penyampaian materi melalui *workshop*. Desain *workshop* berupa teori serta simulasi perangkat lunak berbasis AI dalam studi kasus geospasial. Program hari kedua berfokus pada ekskursi lapangan, dengan mengajak guru ke lingkungan geografis nyata, yaitu kawasan Pantai Parang Semar. Pantai Parang Semar terletak di Geopark Ijen bagian selatan, dengan menganalisis karakteristik pantai, butiran pasir, perbukitan, dan *mangrove* (Khalidy et al., 2025). Integrasi pembelajaran dalam ruang kelas dan laboratorium alam ini sesuai dengan pendekatan *blended field-based pedagogy*, yang dapat memperkuat konstruksi pengetahuan guru serta meningkatkan ketajaman interpretasi spasial terhadap fenomena geografis (Putra et al., 2021).

Kegiatan ekskursi lapangan berperan sebagai jembatan dalam menghubungkan teori yang dipelajari dan kondisi nyata di lapangan. Selain itu, kegiatan ekskursi lapangan juga

dapat meningkatkan keterampilan observasi, pengumpulan data primer, dan refleksi kritis (de la Vega, 2022; Putra et al., 2022). Guru dilatih mengintegrasikan hasil observasi dalam geospasial berbasis peta digital (Ranatunga et al., 2025). Kegiatan ini mampu meningkatkan pemahaman guru tentang data spasial, seperti dinamika lingkungan dan potensi sumber daya lokal (J. Li et al., 2022). Integrasi perangkat lunak dan pengalaman langsung di lapangan dapat memperkuat literasi teknologi guru dalam konteks lingkungan nyata (Masruroh et al., 2024; Yildiz Durak, 2021).

Peningkatan signifikan dalam skor *posttest* diperkuat oleh hasil analisis Wilcoxon Signed-Rank ($p < 0,001$), yang menunjukkan adanya perubahan setelah mengikuti program pengabdian. Selain menunjukkan dampak positif pelatihan, hasil tersebut juga menandakan guru berpotensi untuk berkembang jika diberikan pendekatan pelatihan yang relevan, terstruktur, dan kontekstual (Mukasheva et al., 2023). Studi oleh Weng et al. (2024) menunjukkan *computational thinking* dan AI di bidang pendidikan sangat bergantung pada kebermaknaan pembelajaran, yang dikaitkan langsung dengan kebutuhan dan konteks peserta didik maupun pengajarnya.

Aspek afektif dari pelatihan ini juga menunjukkan peningkatan signifikan. 90% guru merasa siap untuk mengimplementasikan pembelajaran berbasis AI dalam pembelajaran Geografi. Hal ini menunjukkan pelatihan tidak hanya efektif secara kognitif, tetapi juga mampu membangun kepercayaan diri guru terhadap teknologi, yang dianggap rumit dan sulit diakses. Persepsi negatif bahwa AI dan *computational thinking* kompetensi matematis atau pemrograman tingkat tinggi. Hasil ini didukung oleh pendekatan pelatihan yang partisipatif, berbasis studi kasus dan ekskursi lapangan.

Namun, hasil evaluasi program pengabdian menunjukkan implementasi dalam menghadapi keberlanjutan program, seperti tantangan teknis dan struktural. Beberapa guru terkendala pada perangkat keras dan akses internet, serta pendampingan lanjutan dalam proses implementasi pascapelatihan. Tantangan ini menggambarkan pentingnya sistem mentoring berkelanjutan, jaringan komunitas profesional (*learning community*), dan dukungan kebijakan dari pemerintah daerah, untuk memfasilitasi proses pembelajaran berbasis teknologi.

Sebagai model pengabdian kepada masyarakat, program ini menunjukkan transformasi digital dalam pembelajaran Geografi dapat dimulai dari intervensi berbasis komunitas. Penguatan kapasitas guru dapat berperan besar dalam menyediakan lingkungan belajar berbasis teknologi yang inovatif dan interaktif (Zhang, 2022). Keberhasilan program ini dapat diadaptasi atau diterapkan pada wilayah lain dengan pendekatan serupa, yaitu integrasi teori, teknologi, dan pembuktian melalui praktik lapangan secara langsung.

KESIMPULAN DAN SARAN

Program pengabdian ini berhasil meningkatkan kompetensi literasi *AI* dan *computational thinking* guru Geografi di Kabupaten Banyuwangi secara signifikan. Program yang dilaksanakan melalui pelatihan dua hari, dengan kombinasi *workshop* klasikal dan ekskursi lapangan memberikan dampak positif, baik secara kognitif maupun afektif. Peningkatan skor *posttest* pada kedua variabel, yang ditunjukkan oleh *Wilcoxon Signed-Rank* ($p < 0,001$), menjadi indikator keberhasilan dalam pendekatan pelatihan berbasis praktik, kontekstual, dan partisipatif.

Pelaksanaan pelatihan di ruang kelas dan Pantai Parang Semar berhasil menciptakan

ruang pembelajaran yang konseptual, dan membangun kemampuan guru dalam mengamati, menginterpretasi, serta mengintegrasikan data spasial ke dalam pembelajaran Geografi. Tingginya tingkat kesiapan guru (90%) untuk mengimplementasikan pembelajaran berbasis *AI* menunjukkan hambatan psikologis dan persepsi negatif terhadap teknologi dapat diminimalisir.

Namun, ditemukan tantangan pada aspek teknis dan struktural. Tantangan ini antara lain keterbatasan infrastruktur, akses perangkat lunak, dan kebutuhan pendampingan pascapelatihan. Hal ini menunjukkan perlunya dukungan sistemik agar inovasi pedagogik yang telah dipelajari dapat diimplementasikan secara berkelanjutan.

Saran yang dapat diberikan dari hasil pengabdian ini antara lain:

1. Implementasi model pelatihan berbasis teori, teknologi, dan lapangan pada wilayah lain, yang memiliki tantangan serupa dalam literasi *AI* untuk meningkatkan kualitas pembelajaran.
2. Penguatan pendampingan pascapelatihan, baik melalui pembentukan komunitas belajar guru maupun fasilitasi mentoring.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pengabdian kepada masyarakat mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Malang (UM) tahun anggaran 2025 yang telah memberikan dukungan terhadap pelaksanaan kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abid, S. K., Sulaiman, N., Chan, S. W., Nazir, U., Abid, M., Han, H., Ariza-Montes, A., & Vega-Muñoz, A. (2021). Toward an Integrated Disaster Management

- Approach: How Artificial Intelligence Can Boost Disaster Management. In *Sustainability* (Vol. 13, Issue 22).
- Biagini, G. (2025). Towards an AI-Literate Future: A Systematic Literature Review Exploring Education, Ethics, and Applications. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. <https://doi.org/10.1007/s40593-025-00466-w>
- de la Vega, A. G. (2022). A Proposal for Geography Competence Assessment in Geography Fieldtrips for Sustainable Education. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3).
- Duarte, L., Teodoro, A. C., & Gonçalves, H. (2022). Evaluation of Spatial Thinking Ability Based on Exposure to Geographical Information Systems (GIS) Concepts in the Context of Higher Education. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(8).
- Fahmi, M. R., Putra, A. K., Handoyo, B., & Sumarmi. (2022). Development of Web-Based Virtual Reality as Media Learning for Baluran Conservation Area with Geographical Characteristics. *Proceedings of the 2nd International Conference on Social Knowledge Sciences and Education (ICSKSE 2022)*, 332–346.
- Goel, A., Goel, A. K., & Kumar, A. (2023). The Role of Artificial Neural Network and Machine Learning in utilizing Spatial Information. *Spatial Information Research*, 31(3), 275–285.
- Khalidy, D. Al, Bachri, S., Sumarmi, Utaya, S., & Putra, A. K. (2025). The Potential of Grajagan Beach Geosite as a Geoeducation in Physical Geography. *Paedagoria : Jurnal Kajian, Penelitian Dan Pengembangan Kependidikan*, 16(1), 11–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.31764/paedagoria.v16i1.26902>
- Kim, J., Lee, H., & Cho, Y. H. (2022). Learning Design to Support Student-AI Collaboration: Perspectives of Leading Teachers for AI in Education. *Education and Information Technologies*, 27(5), 6069–6104.
- Lee, J. (2023). Beyond Geospatial Inquiry—How Can We Integrate the Latest Technological Advances into Geography Education? In *Education Sciences* (Vol. 13, Issue 11).
- Li, J., Xia, H., Qin, Y., Fu, P., Guo, X., Li, R., & Zhao, X. (2022). Web GIS for Sustainable Education: Towards Natural Disaster Education for High School Students. *Sustainability (Switzerland)*, 14(5), 1–18.
- Li, W., & Hsu, C.-Y. (2022). GeoAI for Large-Scale Image Analysis and Machine Vision: Recent Progress of Artificial Intelligence in Geography. In *ISPRS International Journal of Geo-Information* (Vol. 11, Issue 7).
- Luo, H., Zuo, M., & Wang, J. (2022). Promise and Reality: Using ICTs to Bridge China's Rural–Urban Divide in Education. *Educational Technology Research and Development*, 70(3), 1125–1147.
- Madridano, Á., Al-Kaff, A., Martín, D., & de la Escalera, A. (2021). Trajectory Planning for Multi-Robot Systems: Methods and Applications. *Expert Systems with Applications*, 173, 114660.
- Masruroh, H., Sahrina, A., Khalidy, D. Al, & Trihatmoko, E. (2024). Generating Mobile Virtual Tour Using UAV and 360 Degree Panorama for Geography-Environmental Learning in Higher Education. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 18(2), 118–133.
- Mukasheva, M., Kornilov, I., Beisembayev, G., Soroko, N., Sarsimbayeva, S., & Omirzakova, A. (2023). Contextual Structure as an Approach to the Study of Virtual Reality Learning Environment. *Cogent Education*, 10(1).
- Munir, H., Vogel, B., & Jacobsson, A. (2022). Artificial Intelligence and Machine Learning Approaches in Digital

- Education: A Systematic Revision. In *Information* (Vol. 13, Issue 4).
- Putra, A. K., Soekamto, H., Masruroh, H., Handoyo, B., Huda, I. A. S., & Syaibana, P. L. D. (2022). Pelatihan Gamification berbasis Game-Based Virtual Learning Environment sebagai Penunjang Immersive Learning. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 6(4), 2075.
- Putra, A. K., Sumarmi, S., Handoyo, B., & ... (2021). Pengembangan Virtual Field Trips berbasis Geospatial Technology: Peningkatan kompetensi TPACK guru melalui GeoEdu Workshop. *Jurnal Integrasi Dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial (JIHIS)*, 1(12), 1354–1363.
- Ranatunga, S., Ødegård, R. S., Jetlund, K., & Onstein, E. (2025). Use of Semantic Web Technologies to Enhance the Integration and Interoperability of Environmental Geospatial Data: A Framework Based on Ontology-Based Data Access. In *ISPRS International Journal of Geo-Information* (Vol. 14, Issue 2).
- Rundel, C., & Salemin, K. (2021). Bridging Digital Inequalities in Rural Schools in Germany: A Geographical Lottery? In *Education Sciences* (Vol. 11, Issue 4).
- Salsabila, A., & Putra, A. K. (2024). Visualisasi Proses Vulkanisme melalui Media Pembelajaran Animasi berbasis Augmented Reality sebagai Media Digital Geografi. *Cetta: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 7, 234–248.
- Sebestyén, V., Czvetkó, T., & Abonyi, J. (2021). The Applicability of Big Data in Climate Change Research: The Importance of System of Systems Thinking. *Frontiers in Environmental Science*, 9(March), 1–26.
- Sharma, S., Beslity, J. O., Rustad, L., Shelby, L. J., Manos, P. T., Khanal, P., Reinmann, A. B., & Khanal, C. (2024). Remote Sensing and GIS in Natural Resource Management: Comparing Tools and Emphasizing the Importance of In-Situ Data. In *Remote Sensing* (Vol. 16, Issue 22).
- Tatar, C., Jiang, S., Rosé, C. P., & Chao, J. (2025). Exploring Teachers' Views and Confidence in the Integration of an Artificial Intelligence Curriculum into Their Classrooms: A Case Study of Curricular Co-Design Program. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 35(2), 702–
- Tedre, M., Toivonen, T., Kahila, J., Vartiainen, H., Valtonen, T., Jormanainen, I., & Pears, A. (2021). Teaching Machine Learning in K–12 Classroom: Pedagogical and Technological Trajectories for Artificial Intelligence Education. *IEEE Access*, 9, 110558–110572.
- Weng, Xiaojing, Ye, Huiyan, Dai, Yun, & Ng, Oi-lam. (2024). Integrating Artificial Intelligence and Computational Thinking in Educational Contexts: A Systematic Review of Instructional Design and Student Learning Outcomes. *Journal of Educational Computing Research*, 62(6), 1420–1450.
- Wu, Ting-Ting, Asmara, Andik, Huang, Yueh-Min, & Permata Hapsari, Intan. (2024). Identification of Problem-Solving Techniques in Computational Thinking Studies: Systematic Literature Review. *SAGE Open*, 14(2),
- Yildiz Durak, H. (2021). Preparing Pre-Service Teachers to Integrate Teaching Technologies into Their Classrooms: Examining the Effects of Teaching Environments based on Open-Ended, Hands-on and Authentic Tasks. *Education and Information Technologies*, 26(5), 5365–5387.
- Zhang, W. (2022). The Role of Technology-Based Education and Teacher Professional Development in English as a Foreign Language Classes. *Frontiers in Psychology*, 13(June).