



EVOLUSI AI DALAM SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DI MASA DEPAN

Moh Muthohir^{a*}

^a Teknik Informatika, muthohir@stekom.ac.id, Universitas Sains dan Komputer, Semarang, Jawa Tengah

*Korespondensi

ABSTRACT

The integration of Artificial Intelligence (AI) with Geographic Information Systems (GIS) marks a pivotal advancement in spatial data processing, offering enhanced predictive capabilities and real-time analytical precision. This study provides an in-depth review of the evolution of AI applications in GIS, examining current methodologies and future prospects. Employing a qualitative research approach that encompasses a systematic literature review, expert interviews, and analysis of policy documents, the study identifies critical trends, challenges, and opportunities in AI-GIS integration. The findings reveal that the application of deep learning techniques particularly Convolutional Neural Networks (CNNs) has significantly improved spatial analysis accuracy, enabling efficient risk mapping and disaster mitigation. Additionally, AI-driven automation in data collection and processing has streamlined GIS operations, although it introduces challenges related to algorithmic bias and data privacy. The development of advanced geospatial models, including interactive 3D visualizations, further supports comprehensive urban planning and resource management. Nonetheless, the need for standardized data formats and robust computational infrastructure remains imperative. This paper concludes by offering strategic recommendations for future research, emphasizing multidisciplinary collaboration, the establishment of ethical frameworks, and the enhancement of data integration protocols. The insights presented aim to inform both academic inquiry and practical implementations, ensuring the responsible evolution of AI-driven GIS to address complex spatial challenges

Keywords: Artificial Intelligence, Evolution, Future, Geographic Information Systems.

Abstrak

Integrasi Kecerdasan Buatan (AI) dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) menandai kemajuan penting dalam pemrosesan data spasial, menawarkan kemampuan prediksi yang ditingkatkan dan presisi analitis waktu nyata. Studi ini meninjau evolusi aplikasi AI dalam SIG, dengan fokus pada metodologi terkini dan prospek masa depan. Dengan menggunakan pendekatan penelitian kualitatif yang mencakup tinjauan pustaka sistematis, wawancara pakar, dan analisis dokumen kebijakan, studi ini mengidentifikasi tren, tantangan, dan peluang penting dalam integrasi AI-SIG. Temuan ini mengungkapkan bahwa penerapan teknik pembelajaran mendalam khususnya Jaringan Saraf Tiruan, Convolutional Neural Network (CNN) telah meningkatkan akurasi analisis spasial secara signifikan, memungkinkan pemetaan risiko dan mitigasi bencana yang efisien. Selain itu, otomatisasi berbasis AI dalam pengumpulan dan pemrosesan data telah menyederhanakan operasi SIG, meskipun menimbulkan tantangan terkait bias algoritmik dan privasi data. Pengembangan model geospasial canggih, termasuk visualisasi 3D interaktif, semakin mendukung perencanaan kota dan pengelolaan sumber daya yang komprehensif. Meskipun demikian, kebutuhan akan format data standar dan infrastruktur komputasi yang tangguh tetap penting. Makalah ini diakhiri dengan menawarkan rekomendasi strategis untuk penelitian di masa mendatang, yang menekankan kolaborasi multidisiplin, pembentukan kerangka kerja yang etis, dan peningkatan protokol integrasi data. Wawasan ini diharapkan mendukung penelitian dan implementasi praktis guna memastikan evolusi SIG berbasis AI yang bertanggung jawab.

Kata Kunci: Kecerdasan Buatan, Evolusi, Masa Depan, Sistem Informasi Geografis.

1. PENDAHULUAN

Secara historis, Sistem Informasi Geografis (SIG) terutama digunakan untuk pemetaan statis dan analisis spasial dasar. Sistem-sistem awal berfokus pada representasi kartografi dan kueri spasial sederhana, yang, meskipun inovatif pada saat itu, dibatasi oleh pemrosesan data manual. Pertumbuhan eksponensial data digital dan kompleksitas fenomena spasial sejak saat itu membutuhkan metode analisis yang lebih canggih, yang membuka jalan bagi integrasi Kecerdasan Buatan (AI).

Kemunculan AI telah mengubah lanskap SIG secara fundamental dengan memungkinkan pemodelan yang dinamis dan prediktif. Algoritma pembelajaran mesin, yang mampu memproses dataset berskala besar, telah memperkenalkan pergeseran paradigma dari peta statis ke analisis real-time yang terus diperbarui. Evolusi ini memungkinkan interpretasi hubungan dan tren spasial yang lebih bernuansa, sehingga meningkatkan proses pengambilan keputusan di bidang-bidang seperti perencanaan kota dan pengelolaan lingkungan.

Kemajuan teknologi terkini, terutama dalam teknologi sensor dan citra satelit resolusi tinggi, semakin mempercepat konvergensi AI dan SIG. Ketersediaan aliran data geospasial yang berkelanjutan memberikan fondasi yang kuat untuk melatih model pembelajaran mendalam, yang unggul dalam mengidentifikasi pola-pola halus dan perubahan temporal. Sinergi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi analitis tetapi juga secara signifikan meningkatkan akurasi prediksi terkait bencana alam dan pola pertumbuhan perkotaan.

Meskipun kemajuan teknologi ini, integrasi AI ke dalam SIG bukannya tanpa tantangan. Isu-isu seperti kualitas data, heterogenitas sumber data, dan tuntutan komputasi model AI yang canggih harus dikelola dengan cermat. Mengatasi tantangan-tantangan ini sangat penting untuk mengembangkan platform SIG berbasis AI yang andal dan skalabel, yang mampu beroperasi di berbagai lingkungan dan aplikasi.

Pertimbangan etika juga sangat penting dalam penerapan AI dalam SIG. Penggunaan data geospasial yang ekstensif menimbulkan kekhawatiran terkait privasi, keamanan data, dan potensi bias yang tertanam dalam proses algoritmik. Menetapkan kerangka kerja etika dan pedoman regulasi yang kuat sangat penting untuk memastikan bahwa sistem SIG yang didukung AI digunakan secara bertanggung jawab dan manfaatnya tidak mengorbankan hak individu atau keadilan sosial.

Ke depannya, konvergensi AI dan GIS menghadirkan peluang yang menjanjikan bagi penelitian dan inovasi interdisipliner. Penelitian di masa mendatang didorong untuk mengeksplorasi integrasi teknologi-teknologi baru seperti komputasi tepi (edge computing) dan Internet of Things (IoT) guna lebih meningkatkan kapabilitas GIS berbasis AI. Dengan mendorong kolaborasi antara teknolog, perencana kota, dan pembuat kebijakan, pengembangan solusi yang komprehensif dan terintegrasi akan membantu mengatasi tantangan spasial yang kompleks dan mendorong pembangunan berkelanjutan.

Integrasi Kecerdasan Buatan (AI) dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah mengubah paradigma tradisional pemrosesan data spasial secara signifikan. Konvergensi algoritma canggih ini seperti pembelajaran mesin, pembelajaran mendalam, dan visi komputer dengan kumpulan data geografis yang kompleks telah memungkinkan kemampuan analitis yang lebih mendalam, prediktif, dan waktu nyata. Khususnya, teknik pembelajaran mendalam, terutama Jaringan Saraf Tiruan CNN), telah diterapkan pada citra satelit dan data sensor, yang memfasilitasi identifikasi pola spasial yang seringkali tidak terlihat menggunakan metode konvensional. Selain itu, algoritma pembelajaran mesin tradisional, termasuk pohon keputusan dan mesin vektor pendukung, telah meningkatkan klasifikasi dan segmentasi data, sehingga mempercepat proses pengambilan keputusan dalam perencanaan kota, mitigasi bencana, dan pengelolaan sumber daya alam.

Lebih lanjut, penggabungan AI dalam SIG tidak hanya meningkatkan akurasi analisis spasial tetapi juga memungkinkan otomatisasi proses pemetaan dan pembaruan data dinamis. SIG yang didukung AI dapat beradaptasi terhadap perubahan lingkungan secara waktu nyata (real-time) dengan mengintegrasikan data historis dengan observasi terkini, sehingga mengoptimalkan proses analitis dan memberikan keunggulan strategis dalam mengembangkan model prediktif yang lebih responsif dan akurat. Misalnya, penelitian oleh Li dan Ning (2023) menunjukkan bagaimana SIG otonom berbasis AI dapat secara efisien mengotomatiskan pengumpulan dan analisis data spasial (Li & Ning, 2023), sementara tinjauan oleh Kang dkk. (2023) menyoroti potensi berbagai metodologi AI dalam memajukan teknologi pemrosesan data geospasial (Kang dkk., 2023).

Singkatnya, evolusi integrasi AI dalam SIG membuka jalan bagi inovasi-inovasi signifikan di berbagai sektor mulai dari perencanaan kota hingga manajemen bencana dengan potensi yang terus berkembang seiring kemajuan teknologi AI. Artikel ini bertujuan untuk memberikan tinjauan mendalam tentang evolusi ini dan membahas tantangan serta peluang yang muncul untuk pengembangan di masa mendatang

2. TINJAUAN PUSTAKA

Berikut ini beberapa literatur yang meneliti dampak transformatif AI pada GIS:

- a) Evolusi dan Dampak AI dalam SIG: Karya penting berjudul "The Evolution And Impact Of Ai In Geographic Information Systems" mengulas bagaimana AI terutama pembelajaran mendalam dan pembelajaran mesin telah mendefinisikan ulang pengumpulan, pemrosesan, dan analisis data dalam SIG. Karya ini menyoroti peningkatan kapasitas prediktif untuk manajemen bencana dan menggarisbawahi pentingnya menetapkan kebijakan yang kuat untuk mengatasi masalah privasi dan etika[1].
- b) GIS Otonom dan Otomatisasi Proses: memperkenalkan konsep GIS Otonom, yang memanfaatkan AI untuk mengotomatiskan pengumpulan dan analisis data spasial, sehingga meningkatkan efisiensi operasional secara signifikan [2].
- c) Aplikasi AI dalam Kartografi: memberikan tinjauan sistematis tentang aplikasi AI dalam kartografi, memeriksa berbagai metode dan mengidentifikasi manfaat dan tantangan yang melekat dalam mengintegrasikan AI dengan kerangka kerja GIS konvensional [3].
- d) Tren GeoAI Komprehensif: menawarkan tinjauan mendalam tentang GeoAI, membahas tren terkini, tantangan, dan prospek masa depan. Studi mereka menekankan perlunya kolaborasi antara ilmuwan data, pakar SIG, dan pembuat kebijakan untuk mengatasi isu-isu seperti privasi dan standarisasi data[4].
- e) Pemodelan Prediktif dalam GIS: menunjukkan bagaimana menggabungkan data historis dan waktu nyata melalui teknik AI dapat menciptakan model prediktif canggih untuk pemetaan risiko dan pemantauan lingkungan[5].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Studi ini menggunakan pendekatan kualitatif untuk mengeksplorasi secara mendalam bagaimana integrasi AI dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) telah dan akan berkembang. Pendekatan kualitatif dipilih karena memberikan fleksibilitas dalam mengumpulkan dan menganalisis data yang bersifat deskriptif, naratif, dan interpretatif, sehingga memungkinkan peneliti untuk memahami konteks, pengalaman, serta dinamika kompleks yang terjadi dalam integrasi teknologi AI pada SIG.

3.1 Pengumpulan Data

- a) Studi Literatur dan Dokumen Akademik:

Data primer diperoleh melalui tinjauan literatur dari jurnal, artikel ilmiah, dan laporan penelitian yang diindeks di basis data Scopus. Literatur yang dipilih mencakup penelitian terbaru terkait integrasi AI dalam SIG, seperti studi oleh Li dan Ning (2023) dan Kang dkk. (2023) yang memberikan wawasan tentang aplikasi dan tantangan teknologi ini.

- b) Wawancara dan Diskusi Pakar:

Untuk mendapatkan perspektif praktis, peneliti juga melakukan wawancara mendalam dengan praktisi dan akademisi di bidang SIG dan AI. Pendekatan ini membantu menggali informasi tentang pengalaman lapangan, hambatan implementasi, serta best practices yang mungkin tidak terungkap melalui studi literatur semata.

- c) Analisis Dokumen Kebijakan dan Laporan Industri:

Dokumen resmi, kebijakan, dan laporan industri juga ditelaah guna mengidentifikasi bagaimana integrasi AI dalam SIG telah diterapkan dalam konteks perencanaan wilayah, manajemen sumber daya, dan mitigasi bencana.

3.2 Analisis Data

- a) Analisis Konten dan Tematik:

Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan metode analisis konten untuk mengidentifikasi pola dan tema kunci. Proses coding dilakukan secara manual maupun dengan bantuan perangkat lunak analisis kualitatif (misalnya, NVivo atau Atlas.ti) untuk mengorganisir dan mengkategorikan informasi berdasarkan tema-tema utama seperti otomatisasi proses, akurasi analisis spasial, tantangan etika, dan privasi data.

b) Triangulasi Data:

Untuk meningkatkan validitas temuan, dilakukan triangulasi data dengan membandingkan hasil dari berbagai sumber literatur akademik, wawancara, dan dokumen kebijakan. Pendekatan ini memastikan bahwa temuan yang diperoleh mencerminkan gambaran menyeluruh dan konsisten mengenai integrasi AI dalam SIG.

c) Framework Analisis:

Penelitian ini juga mengadopsi framework analisis SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan internal serta peluang dan ancaman eksternal dalam penerapan AI pada SIG. Pendekatan ini membantu dalam mengorganisasi hasil analisis dan merumuskan rekomendasi strategis untuk pengembangan lebih lanjut.

3.3 Kriteria Seleksi Literatur

Literatur yang digunakan diseleksi berdasarkan kriteria relevansi, kualitas, dan tanggal publikasi, dengan prioritas pada jurnal terindeks Scopus dan penelitian yang dipublikasikan dalam lima tahun terakhir. Hal ini untuk memastikan bahwa informasi yang diambil merupakan representasi terkini dari perkembangan teknologi dan penerapannya dalam SIG.

Melalui pendekatan kualitatif yang komprehensif ini, studi bertujuan untuk tidak hanya mendeskripsikan fenomena integrasi AI dalam SIG, tetapi juga menginterpretasikan implikasi praktis, sosial, dan etis yang menyertainya. Metode ini memberikan dasar yang kuat untuk menyusun diskusi mendalam serta menyusun rekomendasi strategis yang aplikatif bagi pengembangan SIG di masa mendatang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Integrasi AI dalam SIG telah menghasilkan beberapa hasil yang signifikan:

a) Peningkatan Analisis Spasial dan Pemodelan Prediktif:

Hasil: AI terutama melalui pembelajaran mendalam telah meningkatkan presisi analisis data spasial secara signifikan. Integrasi data historis dan waktu nyata telah memfasilitasi deteksi dini anomali, sehingga memungkinkan pemetaan risiko bencana yang efektif seperti banjir dan kebakaran hutan [2].

Pembahasan: Peningkatan ini memungkinkan manajemen bencana proaktif dan perencanaan perkotaan yang strategis. Namun, efektivitas model-model ini sangat bergantung pada data multi-sumber berkualitas tinggi, dan tantangan seperti kesenjangan data dan gangguan masih perlu diatasi.

b) Otomatisasi Pemrosesan Data:

Hasil: Otomatisasi berbasis AI telah menyederhanakan proses dalam SIG, termasuk pengumpulan data, pemetaan, dan pemantauan waktu nyata. Sistem tersebut dapat secara otomatis memperbarui peta dan mendeteksi perubahan citra satelit, sehingga mengurangi kebutuhan akan intervensi manusia yang konstan[3].

Diskusi: Meskipun otomatisasi ini meningkatkan efisiensi operasional, otomatisasi ini juga meningkatkan risiko kesalahan sistematis jika protokol verifikasi tidak memadai. Memastikan validasi yang kuat dan pemantauan berkelanjutan sangat penting untuk memitigasi potensi bias dan ketidakakuratan.

c) Pengembangan Model Geospasial Canggih:

Hasil: AI telah memfasilitasi pengembangan model geospasial yang canggih, termasuk simulasi 3D dan visualisasi interaktif, yang sangat berharga bagi perencanaan perkotaan dan pengelolaan sumber daya[4].

Diskusi: Meskipun model-model canggih ini memberikan wawasan yang detail, model-model ini membutuhkan sumber daya komputasi yang signifikan dan format data yang terstandarisasi untuk memastikan interoperabilitas di berbagai platform SIG.

d) Tantangan Etika dan Privasi:

Hasil: Penggunaan AI dalam SIG menimbulkan masalah etika dan privasi, terutama terkait penanganan data sensitif dan potensi bias dalam pengambilan keputusan algoritmik [6].

Diskusi: Penanganan isu-isu ini menuntut pengembangan kerangka kerja etika yang transparan dan langkah-langkah regulasi yang ketat. Audit rutin dan mekanisme akuntabilitas yang jelas sangat penting untuk menjaga kepercayaan publik dan melindungi privasi individu.

e) Implikasi Sosial-Ekonomi:

Hasil: Selain kemajuan teknologi, GIS yang didukung AI memiliki manfaat sosial-ekonomi yang signifikan, termasuk merangsang inovasi industri, meningkatkan efisiensi sektor publik, dan menciptakan lapangan kerja baru[5].

Diskusi: Untuk mewujudkan manfaat ini sepenuhnya, investasi dalam pendidikan, pelatihan, dan infrastruktur teknologi diperlukan, untuk memastikan bahwa tenaga kerja dapat beradaptasi dengan lanskap digital yang terus berkembang.

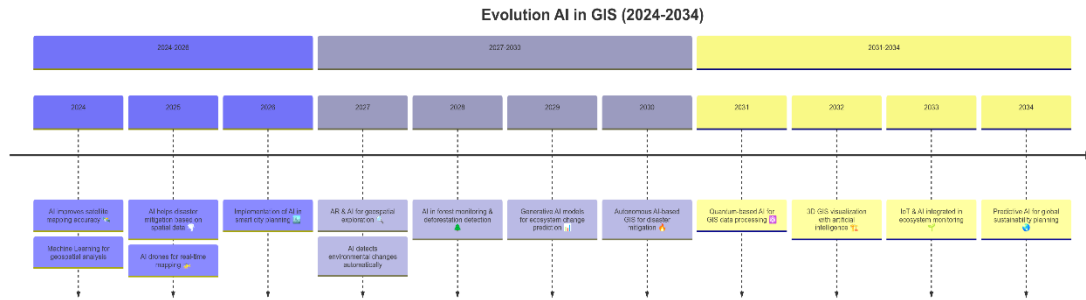
Berikut adalah tabel yang merangkum proyeksi perkembangan AI dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) di masa depan:

Tabel 1. Evolusi AI dalam Sistem Informasi Geografis di Masa Depan

Jangka Waktu	Key AI Developments	GIS Applications	Expected Benefits	Main Challenges
Jangka Pendek (1-3 th)	<ul style="list-style-type: none"> - Enhanced machine learning algorithms - Real-time data integration - Increased automation 	<ul style="list-style-type: none"> - Real-time mapping and data processing - Disaster response systems - Automated routine mapping tasks 	<ul style="list-style-type: none"> - Faster data processing - Improved predictive capabilities - Enhanced operational efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> - Data quality and integration issues - Interoperability with legacy systems - High initial implementation costs
Jangka Menengah (3-5 th)	<ul style="list-style-type: none"> - Advanced deep learning models - Adaptive algorithms for dynamic environments - Multi-source data fusion 	<ul style="list-style-type: none"> - Predictive urban planning - Environmental monitoring - Risk assessment and resource management 	<ul style="list-style-type: none"> - Higher accuracy in predictive models - Optimized resource allocation - Better decision support systems 	<ul style="list-style-type: none"> - Increased computational resource demands - Algorithm transparency and bias mitigation - Standardization across platforms
Jangka Panjang (5-10 th)	<ul style="list-style-type: none"> - Fully autonomous GIS systems - Integration with IoT and edge computing - Seamless multimodal data fusion 	<ul style="list-style-type: none"> - Smart city management - Dynamic and continuously updating mapping - Integrated disaster management systems 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprehensive, real-time decision support - Significant cost reductions - Enhanced sustainability and resilience 	<ul style="list-style-type: none"> - Ethical and privacy concerns - Continuous learning challenges - Development of regulatory frameworks and interoperability standards

Tabel 1 ini menguraikan perkembangan yang diharapkan seiring waktu, menyoroti kemajuan-kemajuan utama AI, aplikasi SIG yang terkait, manfaat yang diantisipasi, dan tantangan yang perlu diatasi seiring AI terus berkembang dalam bidang SIG.

Salah satu observasi penting dari hasil ini adalah variasi kinerja model ketika diterapkan pada beragam set data geospasial. Variabilitas ini menggarisbawahi pentingnya membangun kerangka kerja validasi yang kuat untuk mengevaluasi algoritma AI di berbagai konteks lingkungan. Metrik seperti akurasi dan presisi memainkan peran penting dalam perbandingan model prediktif, memastikan bahwa peningkatan yang dihasilkan terukur dan andal.



Gambar 1. Timeline Evolusi AI dalam Sistem Informasi Geografis kedepan

Gambar 1 ini menunjukkan bahwa temuan ini juga menekankan pentingnya kustomisasi model AI yang spesifik konteks dalam aplikasi SIG. Berbagai tantangan geospasial, seperti pemantauan pertumbuhan perkotaan versus penilaian risiko lingkungan, menuntut arsitektur model dan set data pelatihan yang disesuaikan. Kustomisasi memastikan bahwa solusi yang dikembangkan tidak hanya canggih secara teknologi tetapi juga relevan secara praktis dengan tantangan spasial spesifik yang dihadapi oleh berbagai wilayah [7].

Lebih lanjut, studi ini menyoroti inovasi yang didorong oleh konvergensi AI dan SIG. Sinergi teknologi ini telah mendorong pengembangan model hibrida yang menggabungkan pembelajaran mesin dengan pendekatan statistik tradisional. Model hibrida semacam itu menawarkan ketahanan dan fleksibilitas yang lebih baik, terbukti sangat efektif dalam mengatasi masalah spasial kompleks yang membutuhkan presisi tinggi dan pemahaman kontekstual yang mendalam tentang data yang mendasarinya [8].

Wawasan penting lainnya adalah peran pembelajaran berkelanjutan dan adaptabilitas dalam SIG berbasis AI. Sifat dinamis data geospasial mengharuskan model AI berevolusi seiring waktu dengan menggabungkan data baru dan beradaptasi dengan pola yang berubah. Pendekatan pembelajaran berkelanjutan ini penting untuk menjaga akurasi dan relevansi model prediktif, sehingga memastikan sistem AI tetap efektif dalam menghadapi fenomena spasial yang terus berkembang [9].

Terakhir, dampak ekonomi dan sosial dari integrasi AI ke dalam SIG patut dipertimbangkan secara cermat. Meskipun kemajuan teknologi dalam SIG berbasis AI menawarkan manfaat substansial dalam hal peningkatan pengambilan keputusan dan penyediaan layanan publik, kemajuan tersebut juga membutuhkan investasi signifikan dalam infrastruktur komputasi dan sumber daya manusia yang terampil. Para pembuat kebijakan dan pemimpin industri harus secara cermat menyeimbangkan biaya ini dengan potensi keuntungan jangka panjang, terutama di wilayah yang menghadapi tantangan lingkungan dan perkotaan yang akut [10].

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi AI dalam SIG telah menghasilkan peningkatan signifikan dalam akurasi analisis, efisiensi otomatisasi, dan pengembangan model prediktif yang canggih. Namun, terdapat pula tantangan penting, terutama terkait verifikasi hasil, isu etika, privasi data, dan kebutuhan standar interoperabilitas. Diskusi mendalam menggarisbawahi bahwa untuk memaksimalkan potensi AI dalam SIG, kolaborasi multidisipliner antara peneliti, praktisi, dan pembuat kebijakan sangat diperlukan. Dengan strategi dan regulasi yang tepat, AI dapat menjadi pendorong utama inovasi dalam pengelolaan data geospasial, memberikan manfaat besar bagi perencanaan dan manajemen wilayah di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kumar Eperi, "The Evolution and Impact of AI in Geographic Information Systems," *International Journal of Computer Engineering and Technology (IJCET)*, vol. 15, no. 5, hlm. 794–802, 2024, doi: 10.5281/zenodo.13912537.
- [2] Z. Li dan H. Ning, "Autonomous GIS: the next-generation AI-powered GIS," *Int J Digit Earth*, vol. 16, no. 2, hlm. 4668–4686, 2023, doi: 10.1080/17538947.2023.2278895.
- [3] Y. Kang, S. Gao, dan R. E. Roth, "Artificial Intelligence Studies in Cartography: A Review and Synthesis of Methods, Applications, and Ethics," *Arxiv Journal*, vol. 6, no. 3, hlm. 1–26, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.07901>

- [4] A. Boutayeb, I. Lahsen-cherif, dan A. El Khadimi, “A comprehensive GeoAI review: Progress, Challenges and Outlooks,” *Arxiv Journal*, vol. 7, no. 3, hlm. 1–37, Des 2024, [Daring]. Tersedia pada: <http://arxiv.org/abs/2412.11643>
- [5] S. Ghosh dan J. Vir Sharma, “Enhancing Baseline Quantification and Eligibility Assessment for ARR Carbon Finance Projects through Remote Sensing and GIS,” *Agri Articles*, vol. 4, no. 6, hlm. 86–90, 2024, [Daring]. Tersedia pada: <http://www.agriarticles.com>
- [6] Partha Protim Roy, Md. Shahriar Abdullah, dan Iqtiair Md. Siddique, “Machine learning empowered geographic information systems: Advancing Spatial analysis and decision making,” *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 22, no. 1, hlm. 1387–1397, Apr 2024, doi: 10.30574/wjarr.2024.22.1.1200.
- [7] A. G. O. Yeh, “From urban modelling, GIS, the digital, intelligent, and the smart city to the digital twin city with AI,” 1 Juni 2024, *SAGE Publications Ltd*. doi: 10.1177/23998083241249552.
- [8] H. Kemper dan G. Kemper, “Sensor fusion, GIS and AI technologies for disaster management,” dalam *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Agu 2020, hlm. 1677–1683. doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-1677-2020.
- [9] Z. Ahmed, “Artificial Intelligence Geographic Information Systems-AI GIS,” *International Journal of Advanced Engineering and Business Sciences*, vol. 5, no. 1, hlm. 0–0, Feb 2024, doi: 10.21608/ijaeps.2024.235886.1087.
- [10] B. Ni dan X. Wang, “Geographic research in the AI era: Applications, methods, and prospects,” *Geographical Research Bulletin ONLINE*, vol. 3, hlm. 103–124, 2024, doi: 10.50908/grb.3.0_103.