

Responsible GeoAI untuk Pemetaan Risiko Bencana: Kerangka Tata Kelola Etis dalam Pengambilan Keputusan Pemerintah Daerah

Lalu Ahmad Murdhani
murdhani.md@gmail.com
Institut Pemerintahan Dalam Negeri

Abstrak - Penelitian ini bertujuan menganalisis peluang dan risiko penggunaan *geospatial artificial intelligence* atau GeoAI dalam pemetaan risiko bencana serta merumuskan kerangka tata kelola etis *responsible GeoAI* untuk pengambilan keputusan pemerintah daerah. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi kasus konseptual-analitis. Data diperoleh melalui wawancara mendalam, diskusi terbatas, dan studi dokumen terhadap regulasi, dokumen kebencanaan, peta risiko, kebijakan data geospasial, serta publikasi akademik yang relevan. Analisis data dilakukan secara tematik melalui reduksi data, kategorisasi tema, penyajian data, interpretasi, dan perumusan kerangka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa GeoAI memiliki peluang strategis dalam memperkuat pemetaan risiko bencana melalui integrasi data spasial, citra satelit, penginderaan jauh, data kependudukan, data sosial-ekonomi, data infrastruktur, dan data lingkungan. GeoAI dapat mendukung identifikasi wilayah rawan, kelompok rentan, prioritas mitigasi, jalur evakuasi, penganggaran berbasis risiko, dan tindakan pra-bencana. Akan tetapi, penggunaan GeoAI juga menghadirkan risiko etis, seperti bias spasial, ketimpangan representasi wilayah, pelanggaran privasi lokasi, ketertutupan algoritma, dan lemahnya partisipasi masyarakat dalam validasi peta. Kontribusi utama penelitian ini adalah perumusan kerangka tata kelola etis *responsible GeoAI* yang terdiri atas tujuh komponen: tata kelola data geospasial, transparansi model, akuntabilitas algoritmik, validasi lapangan dan partisipasi publik, perlindungan privasi lokasi, keadilan spasial, serta evaluasi adaptif berkelanjutan. Kerangka ini menempatkan GeoAI sebagai sistem pendukung keputusan spasial yang cepat, etis, inklusif, dan tetap berada dalam kontrol manusia.

Kata kunci: *responsible GeoAI*; pemetaan risiko bencana; pemerintah daerah; keadilan spasial; tata kelola etis

Abstract - This study aims to analyze the opportunities and risks of using *geospatial artificial intelligence*, or *GeoAI*, in disaster risk mapping and to formulate an ethical *responsible GeoAI* governance framework for local government decision-making. This research employed a qualitative approach using a conceptual-analytical case study method. Data were collected through in-depth interviews, limited discussions, and document analysis of regulations, disaster management documents, risk maps, *geospatial data* policies, and relevant academic publications. The data were analyzed thematically through data reduction, theme categorization, data presentation, interpretation, and framework formulation. The findings show that *GeoAI* offers strategic opportunities to strengthen disaster risk mapping through the integration of spatial data, satellite imagery, remote sensing, demographic data, socio-economic data, infrastructure data, and environmental data. *GeoAI* can support the identification of hazard-prone areas, vulnerable groups, mitigation priorities, evacuation routes, risk-based budgeting, and pre-disaster action. However, the use of *GeoAI* also presents ethical risks, including spatial bias, unequal territorial representation, location privacy violations, algorithmic opacity, and limited community participation in validating risk maps. The main contribution of this study is the formulation of an ethical *responsible GeoAI* governance framework consisting of seven components: *geospatial data* governance, model transparency, algorithmic accountability, field validation and public participation, location privacy protection, spatial justice, and continuous adaptive evaluation. This framework positions *GeoAI* as a spatial decision-support system that is rapid, ethical, inclusive, and remains under meaningful human control.

Keywords: *responsible GeoAI*; disaster risk mapping; local government; spatial justice; ethical governance

1. Pendahuluan

Penggunaan data geospasial dalam manajemen risiko bencana di Indonesia semakin penting karena hampir seluruh keputusan kebencanaan memiliki dimensi ruang. Pemerintah daerah perlu mengetahui wilayah mana yang rawan banjir, longsor, kekeringan, tsunami, kebakaran hutan dan lahan, serta kelompok masyarakat mana yang paling rentan terhadap dampaknya. Dalam konteks tersebut, pemetaan risiko bencana tidak hanya berfungsi sebagai produk teknis, tetapi juga sebagai dasar perencanaan pembangunan, penataan ruang, prioritas mitigasi, penentuan jalur evakuasi, penganggaran,

dan perlindungan masyarakat. Perkembangan *geospatial artificial intelligence* atau GeoAI memperluas fungsi pemetaan tersebut karena memungkinkan integrasi antara kecerdasan buatan, sistem informasi geografis, citra satelit, penginderaan jauh, data kependudukan, data sosial-ekonomi, dan data lingkungan untuk membaca pola risiko secara lebih cepat dan dinamis.

Di Indonesia, kebutuhan terhadap pendekatan geospasial dalam kebencanaan semakin kuat karena risiko bencana bersifat kompleks, tidak merata, dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lokal. Wilayah pesisir menghadapi ancaman tsunami, abrasi, dan gelombang ekstrem; wilayah perkotaan menghadapi banjir, amblesan tanah, dan kepadatan permukiman; wilayah perbukitan menghadapi tanah longsor; sedangkan wilayah pertanian menghadapi kekeringan dan perubahan iklim. Pemerintah daerah sebenarnya telah banyak menggunakan peta risiko, peta rawan bencana, dokumen kajian risiko, dan informasi spasial lainnya. Akan tetapi, kualitas, pembaruan, integrasi, dan penggunaan data spasial dalam pengambilan keputusan masih menjadi persoalan. Peta sering tersedia sebagai dokumen perencanaan, tetapi belum selalu terhubung dengan sistem keputusan yang cepat, akuntabel, dan sensitif terhadap ketimpangan wilayah.

Masalah utama dalam pemanfaatan GeoAI untuk pemetaan risiko bencana adalah potensi munculnya ketidakadilan spasial apabila data dan algoritma tidak dikelola secara bertanggung jawab. GeoAI dapat menghasilkan peta risiko yang terlihat objektif, tetapi hasil tersebut sangat bergantung pada kualitas data, representasi wilayah, resolusi spasial, metode pelatihan model, dan keputusan manusia dalam menafsirkan keluaran algoritma. Wilayah yang memiliki data lebih lengkap, infrastruktur digital lebih baik, atau lebih sering dipantau dapat lebih terlihat dalam sistem. Sebaliknya, wilayah terpencil, permukiman informal, masyarakat miskin, pulau kecil, dan kelompok rentan dapat kurang terwakili karena keterbatasan data. Dalam konteks kebencanaan, kondisi ini berbahaya karena peta risiko dapat memengaruhi keputusan tentang siapa yang diprioritaskan, wilayah mana yang menerima intervensi, dan bagaimana sumber daya publik dialokasikan.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan membangun kerangka *responsible GeoAI* bagi pemerintah daerah. GeoAI tidak boleh hanya dilihat sebagai teknologi pemetaan yang lebih cepat dan canggih, tetapi harus dipahami sebagai instrumen tata kelola yang memengaruhi keputusan publik. Peta risiko berbasis GeoAI harus dapat dijelaskan, diaudit, divalidasi, dan dipertanggungjawabkan. Pemerintah daerah perlu memastikan bahwa penggunaan GeoAI memenuhi prinsip transparansi, akuntabilitas, inklusivitas, perlindungan privasi lokasi, validasi lapangan, partisipasi masyarakat, dan keadilan spasial. Tanpa prinsip tersebut, GeoAI berisiko memperkuat ketimpangan spasial karena keputusan berbasis peta dapat mengabaikan wilayah dan kelompok yang tidak terbaca oleh sistem data formal.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pemodelan spasial telah banyak digunakan untuk mendukung pemetaan risiko bencana di Indonesia. Hulu et al. (2025) mengembangkan pemodelan spasial kerawanan banjir di Kepulauan Nias menggunakan Sistem Informasi Geografis dan *Multi-Criteria Decision Analysis*, serta menegaskan bahwa model spasial dapat menjadi alat pendukung keputusan bagi pemerintah daerah dalam mitigasi, tata ruang berbasis kebencanaan, dan sistem peringatan dini banjir.

Hayuningsih et al. (2024) memetakan ancaman kekeringan di Kabupaten Sragen menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* berbasis Sistem Informasi Geografis dan melakukan validasi dengan data BPBD serta wawancara lapangan. Abrar et al. (2024) menggunakan pendekatan *machine learning* untuk memetakan kerentanan longsor di jalur Taba Penanjung–Kepahiang, Bengkulu, yang menunjukkan bahwa algoritma dapat memperkuat analisis kerentanan wilayah. Yuwono et al. (2025) menilai risiko banjir akibat amblesan tanah di Kota Semarang menggunakan beberapa model *machine learning* dan menunjukkan bahwa pendekatan tersebut dapat memperdalam pemahaman mengenai mekanisme risiko banjir perkotaan.

Kajian lain di Indonesia juga memperlihatkan bahwa pemetaan risiko tidak cukup berhenti pada produksi peta, tetapi harus terhubung dengan tata kelola bencana dan keputusan pemerintah daerah. Paramita et al. (2021) menunjukkan bahwa peta bahaya tsunami berbasis Sistem Informasi Geografis dapat menjadi basis informasi dalam perencanaan mitigasi bencana di Kabupaten Serang. Ariyani et al. (2023) menggunakan analisis spasial QGIS untuk pemetaan bahaya banjir pada DAS Bangko dan Masjid di Riau, yang memperlihatkan pentingnya perangkat geospasial dalam membaca risiko wilayah. Wibawa et al. (2026) menekankan bahwa pemodelan spasial jalur evakuasi dan tempat evakuasi sementara tsunami perlu mempertimbangkan area aman, kapasitas, distribusi penduduk, dan waktu tempuh evakuasi. Triyanti et al. (2023) menegaskan bahwa Indonesia menghadapi risiko sistemik dan berantai, sehingga tata kelola bencana membutuhkan integrasi data, aktor, kapasitas kelembagaan, dan pembelajaran lintas skala. Haris et al. (2023) juga menunjukkan bahwa indeks risiko bencana perlu terhubung dengan penganggaran pemerintah daerah agar alokasi sumber daya lebih sesuai dengan tingkat risiko.

Meskipun penelitian tentang pemetaan risiko bencana berbasis SIG, MCDA, AHP, dan *machine learning* telah berkembang, masih terdapat celah kajian dalam aspek tata kelola etis. Sebagian besar penelitian berfokus pada metode pemodelan, akurasi peta, variabel fisik, dan klasifikasi tingkat kerawanan, sementara pertanyaan mengenai siapa yang terwakili dalam data, wilayah mana yang tidak terbaca, bagaimana validasi sosial dilakukan, serta bagaimana peta digunakan dalam keputusan pemerintah daerah belum banyak dibahas secara eksplisit. Di sisi lain, kajian tata kelola bencana di Indonesia telah menekankan pentingnya koordinasi, integrasi data, dan penganggaran berbasis risiko, tetapi belum banyak mengaitkannya dengan isu responsible GeoAI. Celah ini penting karena pemetaan berbasis AI dapat mempercepat keputusan, tetapi juga dapat memperkuat bias spasial apabila tidak dikendalikan melalui prinsip etis dan akuntabilitas publik.

Kebaruan penelitian ini terletak pada perumusan kerangka tata kelola etis *responsible GeoAI* untuk pemetaan risiko bencana dalam pengambilan keputusan pemerintah daerah. Penelitian ini menempatkan GeoAI bukan sekadar alat teknis untuk menghasilkan peta risiko, tetapi sebagai sistem pendukung keputusan yang harus dikendalikan melalui prinsip transparansi, akuntabilitas, inklusivitas, keadilan spasial, perlindungan privasi lokasi, validasi lapangan, partisipasi publik, dan pengawasan manusia. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis peluang dan risiko penggunaan GeoAI dalam pemetaan risiko bencana serta merumuskan kerangka tata kelola responsible GeoAI yang dapat

membantu pemerintah daerah mengambil keputusan secara cepat, etis, inklusif, dan tidak memperkuat ketimpangan spasial.

2. Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan **kualitatif** dengan metode **studi kasus konseptual-analitis**. Pendekatan kualitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan memahami secara mendalam peluang, risiko, dan kebutuhan tata kelola dalam penggunaan *geospatial artificial intelligence* atau GeoAI untuk pemetaan risiko bencana pemerintah daerah. Penelitian ini tidak diarahkan untuk menguji performa algoritma GeoAI secara teknis, melainkan untuk merumuskan kerangka tata kelola etis yang dapat memastikan penggunaan GeoAI berlangsung secara transparan, akuntabel, inklusif, dan tidak memperkuat ketimpangan spasial dalam pengambilan keputusan kebencanaan.

Metode studi kasus konseptual-analitis digunakan karena **responsible GeoAI** merupakan isu baru yang belum sepenuhnya mapan dalam praktik pemerintahan daerah di Indonesia. Studi ini menempatkan pemerintah daerah sebagai konteks utama analisis karena pemerintah daerah memiliki kewenangan strategis dalam perencanaan pembangunan, penataan ruang, penganggaran, penyediaan layanan dasar, perlindungan masyarakat, dan koordinasi penanggulangan bencana. Melalui metode ini, penelitian dapat menelaah bagaimana GeoAI dapat digunakan untuk mendukung pemetaan risiko bencana, sekaligus mengidentifikasi risiko etis dan tata kelola yang perlu dikendalikan sebelum hasil pemetaan digunakan sebagai dasar kebijakan publik.

Unit analisis dalam penelitian ini adalah **tata kelola responsible GeoAI dalam pemetaan risiko bencana pemerintah daerah**. Unit analisis tersebut mencakup empat aspek utama, yaitu tata kelola data geospasial, akuntabilitas algoritmik, keadilan spasial, dan penggunaan peta risiko dalam pengambilan keputusan. Tata kelola data geospasial dianalisis untuk melihat bagaimana pemerintah daerah mengelola data ancaman, kerentanan, kapasitas, kependudukan, infrastruktur, tata ruang, lingkungan, dan kejadian bencana secara terpadu. Akuntabilitas algoritmik dianalisis untuk memahami bagaimana proses pemodelan GeoAI dapat dijelaskan, diaudit, dan dipertanggungjawabkan. Keadilan spasial dianalisis untuk menilai apakah pemetaan risiko memperhatikan wilayah terpencil, kelompok rentan, permukiman informal, dan daerah dengan keterbatasan data. Penggunaan peta risiko dianalisis untuk melihat bagaimana hasil GeoAI memengaruhi keputusan pemerintah daerah dalam mitigasi, kesiapsiagaan, penganggaran, dan respons bencana.

Sumber data penelitian terdiri atas **data primer** dan **data sekunder**. Data primer diperoleh melalui wawancara mendalam dan diskusi terbatas dengan informan yang memiliki pengetahuan atau pengalaman dalam pemetaan risiko bencana, pengelolaan data geospasial, sistem informasi geografis, kebijakan penanggulangan bencana, transformasi digital pemerintah, dan pengambilan keputusan pemerintah daerah. Informan penelitian meliputi unsur BPBD, Bappeda, Dinas Komunikasi dan Informatika, dinas pekerjaan umum atau tata ruang, akademisi, praktisi geospasial, ahli teknologi informasi, organisasi masyarakat sipil, relawan kebencanaan, serta perwakilan masyarakat di wilayah

rawan bencana. Pemilihan informan diarahkan untuk memperoleh pemahaman yang seimbang antara aspek teknis, kelembagaan, etika, dan kebutuhan masyarakat.

Data sekunder diperoleh melalui studi dokumen terhadap regulasi penanggulangan bencana, dokumen kajian risiko bencana, peta rawan bencana, rencana tata ruang wilayah, rencana penanggulangan bencana daerah, dokumen sistem pemerintahan berbasis elektronik, kebijakan satu data, pedoman pengelolaan informasi geospasial, dokumen perencanaan pembangunan daerah, laporan kejadian bencana, serta publikasi akademik terkait pemetaan risiko bencana, GeoAI, SIG, *machine learning*, dan tata kelola data. Data sekunder digunakan untuk memahami kerangka kebijakan, kualitas dan ketersediaan data geospasial, praktik pemetaan risiko, serta kesenjangan antara dokumen teknis dan kebutuhan pengambilan keputusan pemerintah daerah.

Teknik penentuan informan dilakukan secara **purposive** dengan mempertimbangkan keterlibatan atau kompetensi informan dalam isu kebencanaan, geospasial, teknologi informasi, dan tata kelola pemerintahan daerah. Informan dipilih karena dianggap memiliki pengetahuan yang relevan mengenai produksi, penggunaan, atau dampak peta risiko bencana. Teknik **snowball sampling** dapat digunakan apabila informan awal merekomendasikan aktor lain yang memiliki informasi penting, terutama terkait praktik pemetaan risiko, penggunaan data spasial, validasi lapangan, atau pengalaman masyarakat dalam menerima kebijakan berbasis peta.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui tiga tahap. Tahap pertama adalah pemetaan kebutuhan dan risiko tata kelola GeoAI dalam pemetaan bencana. Tahap ini mencakup identifikasi jenis data geospasial yang digunakan, aktor pengelola data, sumber data, mekanisme pembaruan data, standar interoperabilitas, serta penggunaan peta risiko dalam kebijakan daerah. Tahap kedua adalah pengumpulan data melalui wawancara mendalam, diskusi terbatas, dan studi dokumen. Wawancara diarahkan untuk menggali peluang penggunaan GeoAI, hambatan kelembagaan, risiko bias spasial, isu privasi lokasi, kebutuhan validasi lapangan, dan mekanisme akuntabilitas. Tahap ketiga adalah validasi temuan melalui triangulasi sumber dan teknik untuk memastikan konsistensi antara informasi dari aktor pemerintah, ahli geospasial, praktisi kebencanaan, dokumen kebijakan, dan pengalaman masyarakat.

Analisis data dilakukan secara kualitatif dengan teknik **analisis tematik**. Tahapan analisis meliputi reduksi data, kategorisasi tema, penyajian data, interpretasi, dan perumusan kerangka. Reduksi data dilakukan dengan memilah informasi yang relevan dengan fokus penelitian, terutama yang berkaitan dengan penggunaan GeoAI, kualitas data geospasial, bias spasial, transparansi model, akuntabilitas algoritmik, validasi lapangan, partisipasi publik, dan pengambilan keputusan pemerintah daerah. Kategorisasi tema dilakukan dengan mengelompokkan data ke dalam tema utama, seperti peluang GeoAI dalam pemetaan risiko, tantangan etis dan kelembagaan, tata kelola data geospasial, keadilan spasial, serta prinsip responsible GeoAI.

Penyajian data dilakukan dalam bentuk narasi tematik, matriks risiko tata kelola, dan kerangka responsible GeoAI. Narasi tematik digunakan untuk menjelaskan pola temuan penelitian secara

sistematis. Matriks risiko tata kelola digunakan untuk memetakan potensi masalah, seperti bias data, wilayah tidak terwakili, ketertutupan algoritma, risiko pelanggaran privasi lokasi, dan penggunaan peta secara tidak akuntabel. Kerangka responsible GeoAI digunakan untuk menggambarkan prinsip dan mekanisme tata kelola yang diperlukan agar pemetaan risiko bencana berbasis GeoAI dapat digunakan secara etis dalam pengambilan keputusan pemerintah daerah.

Perumusan kerangka dilakukan melalui sintesis antara temuan lapangan, studi dokumen, dan literatur akademik mengenai pemetaan risiko bencana, sistem informasi geografis, *machine learning*, GeoAI, tata kelola data, dan etika AI. Kerangka yang dirumuskan menempatkan GeoAI sebagai **sistem pendukung keputusan spasial**, bukan sebagai pengganti kewenangan pemerintah daerah. Oleh karena itu, kerangka ini menekankan pentingnya transparansi data, keterjelasan model, audit algoritmik, validasi lapangan, partisipasi masyarakat, perlindungan privasi lokasi, pengawasan manusia, dan evaluasi berkelanjutan. Prinsip tersebut digunakan untuk memastikan bahwa peta risiko berbasis GeoAI tidak hanya akurat secara teknis, tetapi juga adil secara sosial dan dapat dipertanggungjawabkan secara pemerintahan.

Keabsahan data dijaga melalui **triangulasi sumber**, **triangulasi teknik**, dan **member checking**. Triangulasi sumber dilakukan dengan membandingkan informasi dari BPBD, Bappeda, Dinas Komunikasi dan Informatika, ahli geospasial, akademisi, praktisi kebencanaan, organisasi masyarakat sipil, dan masyarakat di wilayah rawan bencana. Triangulasi teknik dilakukan dengan membandingkan hasil wawancara, diskusi terbatas, studi dokumen, dan kajian literatur. Member checking dilakukan dengan mengonfirmasi temuan utama kepada informan kunci agar interpretasi peneliti sesuai dengan pengalaman, pengetahuan, dan praktik aktor di lapangan.

Etika penelitian diperhatikan melalui pemberian informasi kepada informan mengenai tujuan penelitian, penggunaan data, dan hak informan untuk memberikan atau menolak informasi. Penelitian ini juga memperhatikan sensitivitas data geospasial karena pemetaan risiko dapat berkaitan dengan lokasi kelompok rentan, permukiman informal, infrastruktur kritis, jalur evakuasi, dan wilayah rawan bencana. Oleh karena itu, penelitian ini menekankan prinsip perlindungan data, anonimisasi informasi, penggunaan data secara proporsional, serta kehati-hatian dalam menampilkan informasi lokasi yang berpotensi menimbulkan risiko bagi masyarakat. Melalui pendekatan ini, penelitian diharapkan menghasilkan kerangka tata kelola responsible GeoAI yang etis, inklusif, dan relevan bagi pengambilan keputusan pemerintah daerah dalam manajemen risiko bencana.

3. Hasil dan Pembahasan

1) Peluang GeoAI dalam Pemetaan Risiko Bencana Pemerintah Daerah

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *geospatial artificial intelligence* atau GeoAI memiliki peluang strategis dalam memperkuat pemetaan risiko bencana pemerintah daerah. Pemetaan risiko selama ini umumnya dilakukan melalui Sistem Informasi Geografis, peta rawan bencana, dokumen kajian risiko, data kejadian bencana, serta data sektoral yang dimiliki oleh perangkat daerah. Akan tetapi, proses tersebut sering memerlukan waktu panjang, bergantung pada pembaruan manual, dan belum selalu

mampu menangkap perubahan risiko secara dinamis. GeoAI menawarkan peluang untuk mempercepat analisis spasial melalui integrasi citra satelit, data penginderaan jauh, data kependudukan, data sosial-ekonomi, data infrastruktur, data lingkungan, dan data historis kejadian bencana.

Peluang pertama terletak pada kemampuan GeoAI untuk menghasilkan pemetaan risiko yang lebih adaptif. Risiko bencana tidak bersifat tetap karena dapat berubah akibat pertumbuhan permukiman, perubahan tata guna lahan, degradasi lingkungan, perkembangan infrastruktur, perubahan iklim, dan dinamika sosial masyarakat. Dalam kondisi tersebut, peta risiko yang jarang diperbarui dapat kehilangan relevansi sebagai dasar pengambilan keputusan. GeoAI dapat membantu pemerintah daerah membaca perubahan spasial secara lebih cepat, misalnya melalui deteksi perubahan tutupan lahan, identifikasi permukiman di wilayah rawan banjir atau longsor, pemantauan kawasan pesisir, serta analisis potensi keterpaparan infrastruktur kritis. Temuan ini sejalan dengan Hulu et al. (2025), yang menunjukkan bahwa pemodelan spasial berbasis Sistem Informasi Geografis dan *Multi-Criteria Decision Analysis* dapat menjadi alat pendukung keputusan pemerintah daerah dalam mitigasi banjir dan penataan ruang berbasis risiko.

Peluang kedua berkaitan dengan integrasi data multi-sumber dalam satu sistem analisis risiko. Pemerintah daerah memiliki banyak data yang relevan dengan bencana, tetapi data tersebut sering tersebar pada BPBD, Bappeda, Dinas Pekerjaan Umum, Dinas Sosial, Dinas Kesehatan, Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Komunikasi dan Informatika, serta pemerintah desa. GeoAI dapat membantu menghubungkan data ancaman, kerentanan, kapasitas, dan keterpaparan untuk menghasilkan peta risiko yang lebih komprehensif. Misalnya, informasi curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, tutupan lahan, kepadatan penduduk, kondisi jalan, lokasi fasilitas kesehatan, dan data kelompok rentan dapat dianalisis secara terpadu untuk menentukan wilayah prioritas intervensi. Dalam konteks ini, GeoAI berpotensi memperbaiki kualitas keputusan pemerintah daerah karena pemetaan risiko tidak hanya berbasis aspek fisik, tetapi juga mempertimbangkan aspek sosial dan kelembagaan.

Peluang ketiga adalah kemampuan GeoAI dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis lokasi. Peta risiko yang dihasilkan melalui GeoAI dapat digunakan untuk menentukan prioritas mitigasi, lokasi infrastruktur perlindungan, jalur evakuasi, titik kumpul, distribusi logistik, peringatan dini berbasis wilayah, dan perlindungan kelompok rentan. Hayuningsih et al. (2024) menunjukkan bahwa pemetaan ancaman kekeringan berbasis Sistem Informasi Geografis dan *Analytical Hierarchy Process* dapat membantu memahami distribusi ancaman secara spasial dan memvalidasi temuan dengan data BPBD serta informasi lapangan. Hal ini menunjukkan bahwa pemetaan spasial yang kuat dapat membantu pemerintah daerah membuat keputusan yang lebih terarah, terutama ketika risiko berbeda antara satu wilayah dan wilayah lain.

Peluang keempat terletak pada penggunaan GeoAI untuk memperkuat tindakan antisipatif. GeoAI dapat membantu pemerintah daerah tidak hanya mengetahui lokasi rawan bencana, tetapi juga memproyeksikan kemungkinan perubahan risiko pada masa mendatang. Dalam kasus banjir, misalnya, GeoAI dapat menggabungkan data curah hujan, topografi, tutupan lahan, drainase, dan kepadatan

permukiman untuk memperkirakan wilayah yang berpotensi terdampak. Dalam kasus longsor, GeoAI dapat memanfaatkan kemiringan lereng, jenis tanah, curah hujan, penggunaan lahan, dan riwayat kejadian. Abrar et al. (2024) menunjukkan bahwa pendekatan *machine learning* dapat digunakan untuk memetakan kerentanan longsor, sehingga algoritma memiliki potensi dalam memperkuat analisis risiko wilayah. Temuan ini memperlihatkan bahwa GeoAI dapat menjadi bagian dari sistem peringatan dini dan tindakan pra-bencana.

Peluang kelima adalah peningkatan akuntabilitas kebijakan berbasis risiko. Keputusan pemerintah daerah dalam alokasi anggaran, pembangunan infrastruktur, relokasi, penataan ruang, atau distribusi bantuan sering membutuhkan dasar yang jelas. Peta risiko berbasis GeoAI dapat membantu menyediakan dasar analitik yang lebih transparan apabila data, metode, dan proses pengambilan keputusan dapat dijelaskan. Haris et al. (2023) menunjukkan bahwa indeks risiko bencana perlu terhubung dengan penganggaran pemerintah daerah agar alokasi sumber daya lebih sesuai dengan tingkat risiko. Dalam konteks GeoAI, peta risiko dapat memperkuat keterhubungan tersebut dengan menunjukkan secara spasial wilayah mana yang paling membutuhkan intervensi dan mengapa intervensi tersebut diperlukan.

Temuan ini menunjukkan bahwa GeoAI memiliki potensi besar untuk memperkuat kapasitas pemerintah daerah dalam membaca risiko secara lebih cepat, presisi, dan berbasis lokasi. Akan tetapi, peluang tersebut hanya dapat diwujudkan apabila pemerintah daerah memiliki tata kelola data geospasial yang baik, kapasitas sumber daya manusia, mekanisme validasi lapangan, dan koordinasi lintas perangkat daerah. GeoAI tidak boleh dipahami sebagai teknologi yang secara otomatis menghasilkan keputusan benar. GeoAI harus ditempatkan sebagai sistem pendukung keputusan spasial yang tetap memerlukan penilaian manusia, pemahaman konteks lokal, dan mekanisme akuntabilitas publik.

2) Risiko Etis GeoAI: Bias Spasial, Privasi Lokasi, dan Ketimpangan Representasi Wilayah

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tantangan utama penggunaan GeoAI dalam pemetaan risiko bencana bukan hanya terletak pada kemampuan teknis algoritma, tetapi pada risiko etis dan tata kelola yang menyertainya. GeoAI dapat menghasilkan peta risiko yang tampak objektif, tetapi hasil pemetaan tersebut sangat bergantung pada data yang digunakan, cara data diproses, variabel yang dipilih, resolusi spasial, metode pemodelan, dan interpretasi pengambil keputusan. Apabila aspek-aspek tersebut tidak dikendalikan secara hati-hati, GeoAI dapat memperkuat bias spasial dan menghasilkan keputusan yang tidak adil bagi wilayah atau kelompok masyarakat tertentu.

Risiko pertama adalah bias spasial akibat ketimpangan data. Wilayah yang memiliki data lengkap, citra satelit berkualitas, infrastruktur digital baik, dan riwayat kejadian bencana yang terdokumentasi cenderung lebih mudah terbaca oleh sistem GeoAI. Sebaliknya, wilayah terpencil, pulau kecil, daerah perbatasan, permukiman informal, kawasan miskin, atau daerah dengan administrasi data lemah dapat kurang terlihat dalam sistem. Kondisi ini dapat menyebabkan peta risiko lebih akurat pada wilayah tertentu, tetapi kurang sensitif terhadap wilayah lain. Dalam pengambilan keputusan pemerintah daerah, bias semacam ini berisiko membuat sumber daya publik lebih banyak diarahkan ke wilayah yang “terlihat” oleh data, sementara wilayah yang minim data justru terabaikan.

Risiko kedua adalah ketimpangan representasi kelompok rentan. Pemetaan risiko bencana tidak cukup hanya menunjukkan wilayah rawan secara fisik, tetapi juga harus mengidentifikasi siapa yang paling rentan di wilayah tersebut. Kelompok seperti lansia, penyandang disabilitas, perempuan, anak-anak, masyarakat miskin, nelayan, petani kecil, dan warga di permukiman padat sering kali menghadapi risiko lebih tinggi. Akan tetapi, kelompok tersebut tidak selalu tercatat secara rinci dalam data formal. Jika GeoAI menggunakan data agregat yang terlalu umum, kerentanan sosial dapat tidak terbaca secara memadai. Triyanti et al. (2023) menegaskan bahwa tata kelola risiko bencana di Indonesia harus memperhatikan risiko sistemik dan berantai, termasuk keterhubungan antara bahaya, kerentanan sosial, kapasitas kelembagaan, dan dampak lintas sektor. Dalam konteks GeoAI, peringatan ini penting karena pemetaan risiko yang mengabaikan kerentanan sosial dapat menghasilkan kebijakan yang tidak inklusif.

Risiko ketiga adalah pelanggaran privasi lokasi. GeoAI dapat bekerja dengan data yang sangat sensitif, seperti lokasi rumah warga, fasilitas kesehatan, sekolah, jalur evakuasi, permukiman informal, infrastruktur kritis, serta lokasi kelompok rentan. Data tersebut penting untuk perlindungan bencana, tetapi juga dapat menimbulkan risiko apabila disalahgunakan atau disebarluaskan tanpa pengamanan yang memadai. Pemerintah daerah perlu berhati-hati dalam menampilkan dan membagikan data spasial yang sensitif. Prinsip perlindungan data harus diterapkan agar penggunaan GeoAI tidak mengorbankan hak warga atas privasi dan keamanan. Dalam konteks kebencanaan, keterbukaan data perlu diseimbangkan dengan perlindungan terhadap potensi penyalahgunaan informasi lokasi.

Risiko keempat adalah ketertutupan algoritma. Banyak sistem AI menghasilkan keluaran melalui proses yang sulit dijelaskan kepada pengguna nonteknis. Dalam pemetaan risiko, masalah ini dapat muncul ketika pemerintah daerah menerima hasil pemodelan berupa peta kerawanan atau peta prioritas tanpa memahami bagaimana hasil tersebut dihasilkan. Jika variabel, bobot, sumber data, dan batasan model tidak dijelaskan, maka peta risiko sulit diaudit dan dipertanggungjawabkan. Kondisi ini dapat melemahkan akuntabilitas publik, terutama ketika peta digunakan sebagai dasar kebijakan anggaran, relokasi, penataan ruang, atau distribusi bantuan. Oleh karena itu, responsible GeoAI menuntut keterjelasan model, dokumentasi proses, dan kemampuan pemerintah daerah untuk menjelaskan dasar keputusan berbasis peta.

Risiko kelima adalah penggunaan peta secara deterministik. Peta risiko berbasis GeoAI dapat memberi kesan bahwa suatu wilayah pasti aman atau pasti berbahaya. Padahal, risiko bencana selalu dipengaruhi oleh banyak faktor yang berubah, termasuk kapasitas masyarakat, kondisi lingkungan, infrastruktur, dan perilaku manusia. Jika pemerintah daerah terlalu bergantung pada peta tanpa validasi lapangan, keputusan dapat menjadi kaku dan mengabaikan perubahan aktual. Paramita et al. (2021) menunjukkan bahwa peta bahaya tsunami berbasis Sistem Informasi Geografis penting bagi mitigasi, tetapi pemanfaatannya tetap harus dikaitkan dengan kebutuhan perencanaan dan kondisi wilayah. Artinya, peta harus dipahami sebagai alat bantu keputusan, bukan sebagai kebenaran tunggal yang menggantikan penilaian lapangan.

Risiko keenam adalah lemahnya partisipasi masyarakat dalam validasi peta risiko. Pemetaan berbasis GeoAI sering didominasi oleh data teknis dan analisis ahli. Padahal, masyarakat memiliki pengetahuan lokal mengenai sejarah kejadian bencana, jalur air, titik genangan, area longsor, tempat evakuasi yang benar-benar digunakan, serta hambatan evakuasi. Jika pengetahuan lokal tidak dimasukkan, peta risiko dapat akurat secara teknis, tetapi kurang sesuai dengan pengalaman masyarakat. Lassa et al. (2022) menegaskan bahwa pengelolaan bencana membutuhkan ekosistem kelembagaan yang menghubungkan negara, masyarakat, organisasi kemanusiaan, dan aktor lokal. Dalam konteks GeoAI, ekosistem tersebut harus mencakup mekanisme validasi sosial agar peta risiko tidak hanya dibuat untuk masyarakat, tetapi juga bersama masyarakat.

Temuan ini memperlihatkan bahwa responsible GeoAI diperlukan untuk mencegah penggunaan teknologi geospasial yang memperkuat ketimpangan spasial. GeoAI dapat mempercepat pemetaan risiko, tetapi juga dapat mempercepat ketidakadilan apabila data, algoritma, dan penggunaannya tidak dikendalikan. Oleh karena itu, pemerintah daerah perlu membangun mekanisme tata kelola yang memastikan bahwa setiap peta risiko berbasis GeoAI dapat dijelaskan, diuji, divalidasi, dan dikoreksi. Keadilan spasial harus menjadi prinsip utama agar wilayah dan kelompok yang kurang terlihat dalam data tetap memperoleh perhatian dalam kebijakan kebencanaan.

3) Kerangka Tata Kelola Responsible GeoAI dalam Pengambilan Keputusan Pemerintah Daerah

Berdasarkan hasil penelitian, kerangka tata kelola responsible GeoAI untuk pemetaan risiko bencana pemerintah daerah perlu dibangun melalui integrasi tujuh komponen utama, yaitu tata kelola data geospasial, transparansi model, akuntabilitas algoritmik, validasi lapangan dan partisipasi publik, perlindungan privasi lokasi, keadilan spasial, serta evaluasi adaptif berkelanjutan. Ketujuh komponen tersebut membentuk kerangka tata kelola yang menempatkan GeoAI sebagai sistem pendukung keputusan spasial yang tetap berada di bawah kontrol manusia dan prinsip manajemen pemerintahan.

Komponen pertama adalah tata kelola data geospasial. Pemerintah daerah perlu memastikan bahwa data yang digunakan dalam GeoAI memiliki kualitas, kelengkapan, keterbaruan, dan keterwakilan wilayah yang memadai. Data spasial harus mencakup ancaman, kerentanan, kapasitas, keterpaparan, infrastruktur, tata ruang, lingkungan, kependudukan, dan kelompok rentan. Tata kelola data juga harus mengatur standar interoperabilitas, pembaruan data, pembagian kewenangan, sumber data, dan mekanisme verifikasi. Tanpa tata kelola data yang kuat, peta risiko berbasis GeoAI dapat menghasilkan rekomendasi yang bias atau tidak relevan bagi kondisi lapangan.

Komponen kedua adalah transparansi model. Pemerintah daerah perlu memastikan bahwa proses pemodelan GeoAI dapat dijelaskan kepada pengambil keputusan dan publik secara proporsional. Transparansi tidak selalu berarti membuka seluruh kode teknis, tetapi paling tidak menjelaskan sumber data, variabel yang digunakan, metode analisis, bobot atau indikator utama, batasan model, dan tingkat ketidakpastian. Transparansi penting agar peta risiko tidak diperlakukan sebagai hasil teknis yang tidak dapat dipertanyakan. Dalam kebijakan publik, setiap keputusan yang berdampak pada masyarakat harus memiliki dasar yang dapat dijelaskan.

Komponen ketiga adalah akuntabilitas algoritmik. Penggunaan GeoAI harus disertai kejelasan mengenai siapa yang bertanggung jawab atas proses, hasil, dan penggunaan peta risiko. Pemerintah daerah tidak dapat menyerahkan tanggung jawab kepada sistem teknologi atau penyedia aplikasi. Keputusan akhir tetap berada pada pejabat publik yang memiliki mandat pemerintahan. Akuntabilitas algoritmik mencakup dokumentasi proses, audit model, penilaian dampak, mekanisme koreksi, dan jalur pengaduan apabila peta risiko menghasilkan keputusan yang merugikan masyarakat. Komponen ini penting agar GeoAI tidak menjadi ruang kosong tanggung jawab dalam manajemen kebencanaan.

Komponen keempat adalah validasi lapangan dan partisipasi publik. Peta risiko berbasis GeoAI perlu diuji dengan kondisi aktual di lapangan dan pengetahuan masyarakat. Pemerintah daerah perlu melibatkan pemerintah desa, relawan, tokoh masyarakat, kelompok perempuan, penyandang disabilitas, petani, nelayan, dan warga di wilayah rawan untuk memeriksa apakah hasil pemetaan sesuai dengan pengalaman lokal. Validasi lapangan dapat membantu menemukan wilayah yang tidak terbaca oleh data, jalur evakuasi yang tidak realistis, titik risiko yang berubah, atau kelompok rentan yang belum tercatat. Partisipasi publik juga memperkuat kepercayaan terhadap peta risiko karena masyarakat tidak hanya menjadi objek pemetaan, tetapi turut berperan dalam memeriksa dan memperbaiki hasilnya.

Komponen kelima adalah perlindungan privasi lokasi. Pemerintah daerah perlu menetapkan batasan mengenai data spasial apa yang boleh dibuka kepada publik dan data apa yang harus dilindungi. Lokasi kelompok rentan, permukiman informal, infrastruktur kritis, fasilitas kesehatan, atau informasi yang dapat menimbulkan risiko keamanan perlu dikelola secara hati-hati. Perlindungan privasi dapat dilakukan melalui anonimisasi, agregasi data, pembatasan akses, pengamanan sistem, dan prosedur berbagi data yang jelas. Prinsip ini penting agar keterbukaan data dalam kebencanaan tidak berubah menjadi ancaman baru bagi masyarakat.

Komponen keenam adalah keadilan spasial. Kerangka responsible GeoAI harus memastikan bahwa pemetaan risiko tidak hanya mengutamakan wilayah yang datanya lengkap, tetapi juga memperhatikan wilayah yang sulit dipetakan. Pemerintah daerah perlu memiliki mekanisme untuk mengidentifikasi “wilayah yang tidak terlihat” dalam sistem data, seperti daerah terpencil, pulau kecil, kawasan miskin, permukiman informal, atau komunitas dengan akses digital rendah. Keadilan spasial menuntut agar wilayah yang minim data tidak otomatis dianggap kurang berisiko. Sebaliknya, wilayah tersebut perlu menjadi prioritas verifikasi lapangan dan penguatan data. Dengan prinsip ini, GeoAI dapat membantu mengurangi ketimpangan spasial, bukan memperkuatnya.

Komponen ketujuh adalah evaluasi adaptif berkelanjutan. Risiko bencana, kondisi wilayah, dan data spasial terus berubah. Oleh karena itu, sistem GeoAI perlu dievaluasi secara berkala untuk menilai akurasi, relevansi, dampak sosial, dan potensi bias. Evaluasi dilakukan setelah kejadian bencana, setelah simulasi, atau setelah peta digunakan dalam kebijakan tertentu. Hasil evaluasi digunakan untuk memperbarui data, memperbaiki model, menyesuaikan indikator, dan memperkuat kapasitas pemerintah daerah. Evaluasi juga perlu melibatkan masyarakat agar pengalaman lokal dapat menjadi dasar perbaikan sistem.

Kerangka responsible GeoAI yang dirumuskan dalam penelitian ini menegaskan bahwa pemetaan risiko bencana bukan hanya persoalan teknis, tetapi juga persoalan tata kelola pemerintahan. Peta risiko dapat memengaruhi perencanaan, penganggaran, tata ruang, mitigasi, kesiapsiagaan, dan distribusi sumber daya. Oleh karena itu, peta risiko berbasis GeoAI harus tunduk pada prinsip akuntabilitas publik. Pemerintah daerah perlu memastikan bahwa hasil pemetaan tidak hanya cepat dan akurat, tetapi juga dapat dijelaskan, adil, inklusif, dan sensitif terhadap kelompok rentan.

Kerangka ini memperluas kajian pemetaan risiko bencana di Indonesia yang selama ini banyak berfokus pada metode spasial, akurasi model, dan klasifikasi tingkat kerawanan. Studi Hulu et al. (2025), Hayuningsih et al. (2024), Abrar et al. (2024), Yuwono et al. (2025), Paramita et al. (2021), dan Ariyani et al. (2023) menunjukkan pentingnya pemetaan spasial bagi mitigasi bencana. Penelitian ini melanjutkan diskusi tersebut dengan menambahkan dimensi tata kelola etis, yaitu bagaimana peta risiko digunakan, siapa yang dilibatkan, bagaimana bias dicegah, dan bagaimana keputusan pemerintah daerah dipertanggungjawabkan.

Berdasarkan keseluruhan temuan, responsible GeoAI dapat dipahami sebagai tata kelola pemetaan risiko yang terdiri atas tiga lapisan. Lapisan pertama adalah lapisan data dan model, yang mencakup kualitas data geospasial, interoperabilitas, transparansi model, dan audit algoritmik. Lapisan kedua adalah lapisan kelembagaan, yang mencakup koordinasi antarperangkat daerah, pembagian tanggung jawab, kapasitas aparatur, dan penggunaan peta dalam kebijakan. Lapisan ketiga adalah lapisan etika dan sosial, yang mencakup privasi lokasi, partisipasi masyarakat, validasi lapangan, keadilan spasial, dan perlindungan kelompok rentan. Ketiga lapisan tersebut harus bekerja bersama agar GeoAI dapat digunakan secara bertanggung jawab dalam pengambilan keputusan pemerintah daerah.

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa integrasi GeoAI dalam pemetaan risiko bencana tidak boleh berhenti pada adopsi teknologi. Pemerintah daerah perlu membangun kerangka tata kelola etis yang memastikan bahwa pemetaan risiko berbasis GeoAI benar-benar memperkuat perlindungan masyarakat. Responsible GeoAI menjadi penting karena teknologi geospasial dapat menentukan bagaimana risiko dilihat, siapa yang diprioritaskan, dan wilayah mana yang memperoleh sumber daya. Melalui kerangka tata kelola yang transparan, akuntabel, inklusif, dan berorientasi pada keadilan spasial, GeoAI dapat menjadi instrumen penting dalam pengambilan keputusan bencana yang lebih cepat sekaligus lebih adil.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *geospatial artificial intelligence* atau GeoAI dalam pemetaan risiko bencana memiliki potensi besar untuk memperkuat pengambilan keputusan pemerintah daerah. GeoAI dapat membantu pemerintah membaca risiko secara lebih cepat, dinamis, dan berbasis lokasi melalui integrasi data spasial, citra satelit, penginderaan jauh, data kependudukan, data sosial-ekonomi, data infrastruktur, dan data lingkungan. Melalui kemampuan tersebut, GeoAI dapat mendukung pemetaan wilayah rawan, identifikasi kelompok rentan, penentuan prioritas mitigasi, perencanaan jalur evakuasi, penganggaran berbasis risiko, dan tindakan pra-bencana yang lebih terarah.

Temuan penelitian memperlihatkan tiga hal utama. Pertama, GeoAI membuka peluang bagi pemerintah daerah untuk memperbarui pendekatan pemetaan risiko dari peta statis menuju pemetaan yang lebih adaptif dan responsif terhadap perubahan wilayah. Kedua, penggunaan GeoAI menghadirkan risiko etis, terutama bias spasial, ketimpangan representasi wilayah, pelanggaran privasi lokasi, ketertutupan algoritma, penggunaan peta secara deterministik, dan lemahnya partisipasi masyarakat dalam validasi peta risiko. Ketiga, pemetaan risiko berbasis GeoAI hanya dapat mendukung keputusan publik secara adil apabila dikelola melalui tata kelola yang transparan, akuntabel, inklusif, dan berorientasi pada keadilan spasial.

Kontribusi utama penelitian ini adalah **perumusan kerangka tata kelola etis responsible GeoAI untuk pemetaan risiko bencana dalam pengambilan keputusan pemerintah daerah**. Kerangka tersebut terdiri atas tujuh komponen utama, yaitu tata kelola data geospasial, transparansi model, akuntabilitas algoritmik, validasi lapangan dan partisipasi publik, perlindungan privasi lokasi, keadilan spasial, serta evaluasi adaptif berkelanjutan. Ketujuh komponen tersebut bekerja dalam tiga lapisan, yaitu lapisan data dan model, lapisan kelembagaan, serta lapisan etika dan sosial. Melalui kerangka ini, GeoAI ditempatkan sebagai sistem pendukung keputusan spasial, bukan sebagai pengganti kewenangan pemerintah daerah dalam menentukan kebijakan kebencanaan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada upaya menggeser pembahasan GeoAI dari sekadar teknologi pemetaan menuju kerangka tata kelola etis dalam manajemen pemerintahan daerah. Penelitian terdahulu tentang pemetaan risiko bencana di Indonesia umumnya menekankan metode spasial, akurasi model, klasifikasi kerawanan, dan pemanfaatan Sistem Informasi Geografis atau *machine learning*. Penelitian ini melengkapi kajian tersebut dengan menyoroti bagaimana peta risiko berbasis GeoAI digunakan, siapa yang terwakili dalam data, wilayah mana yang berpotensi tidak terbaca, bagaimana masyarakat dilibatkan dalam validasi, dan bagaimana pemerintah daerah mempertanggungjawabkan keputusan berbasis peta. Dengan demikian, novelty penelitian ini berada pada integrasi antara GeoAI, etika spasial, dan prinsip manajemen pemerintahan daerah.

Implikasi penelitian ini terhadap kajian manajemen risiko bencana adalah perlunya memperlakukan peta risiko sebagai instrumen kebijakan yang memiliki konsekuensi sosial, bukan semata-mata produk teknis. Peta risiko dapat menentukan wilayah yang diprioritaskan, kelompok yang dilindungi, anggaran yang dialokasikan, dan tindakan pemerintah yang dijalankan. Oleh karena itu, pemetaan risiko berbasis GeoAI harus disertai mekanisme pengawasan manusia, audit algoritmik, validasi lapangan, partisipasi publik, dan perlindungan terhadap kelompok rentan. Tanpa mekanisme tersebut, GeoAI berisiko mempercepat produksi peta, tetapi sekaligus mempercepat reproduksi ketimpangan spasial.

Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pemerintah daerah dalam menyusun pedoman penggunaan GeoAI untuk pemetaan risiko bencana. Pemerintah daerah perlu memperkuat kualitas dan integrasi data geospasial, membangun kapasitas aparatur dalam membaca hasil analisis GeoAI, menyediakan mekanisme transparansi dan akuntabilitas, serta memastikan keterlibatan

masyarakat dalam validasi peta risiko. BPBD, Bappeda, Dinas Komunikasi dan Informatika, dinas tata ruang, pemerintah desa, akademisi, praktisi geospasial, organisasi masyarakat sipil, dan komunitas lokal perlu ditempatkan sebagai bagian dari ekosistem tata kelola GeoAI. Dengan cara ini, GeoAI dapat digunakan untuk memperkuat keputusan yang cepat, etis, inklusif, dan berpihak pada perlindungan masyarakat.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji kerangka responsible GeoAI ini pada studi kasus pemerintah daerah tertentu yang telah menggunakan sistem informasi geospasial atau pemetaan risiko berbasis digital. Penelitian lanjutan juga dapat menggunakan pendekatan *mixed methods* untuk mengukur efektivitas kerangka ini melalui indikator kuantitatif, seperti kualitas data geospasial, tingkat keterwakilan wilayah, akurasi peta risiko, jumlah kelompok rentan yang teridentifikasi, tingkat partisipasi masyarakat dalam validasi, dan pengaruh peta terhadap alokasi anggaran kebencanaan. Selain itu, penelitian berikutnya perlu mengkaji lebih spesifik isu privasi lokasi, audit algoritmik, dan keadilan spasial dalam pemetaan risiko bencana agar penggunaan GeoAI di pemerintah daerah dapat berkembang secara aman, adil, dan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Djalante, R., Lassa, J., Setiamarga, D., Sudjatma, A., Indrawan, M., Haryanto, B., Mahfud, C., Sinapoy, M. S., Djalante, S., Rafliana, I., Gunawan, L. A., Surtiari, G. A. K., & Warsilah, H. (2020). Review and analysis of current responses to COVID-19 in Indonesia: Period of January to March 2020. *Progress in Disaster Science*, 6, 100091. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2020.100091>
- Faadhilah, A., & Nugroho, H. (2024). Pemetaan daerah rawan longsor di Kabupaten Bandung Barat menggunakan metode *machine learning* dengan teknik SVM. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 8(2).
- Haris, N., Furqan, A. C., Kahar, A., & Karim, F. (2023). Disaster risk index on disaster management budgeting: Indonesia's national data set. *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies*, 15(1), Article a1365. <https://doi.org/10.4102/jamba.v15i1.1365>
- Hayuningsih, D., Awaluddin, M., & Nugraha, A. L. (2024). Analisis ancaman kekeringan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* berbasis Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Sragen. *TEKNIK*, 45(2), 235–244. <https://doi.org/10.14710/teknik.v45i2.58450>
- Hulu, A. E., R, D. A., Alexis, M., Arianingsih, I., Hamka, H., Purnama, R., & Maiwa, A. (2025). Pemodelan spasial kerawanan banjir di Kepulauan Nias dan sekitarnya berbasis Sistem Informasi Geografis dan *Multi-Criteria Decision Analysis*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(5), 1243–1252. <https://doi.org/10.14710/jil.23.5.1243-1252>
- Janssen, M., Brous, P., Estevez, E., Barbosa, L. S., & Janowski, T. (2020). Data governance: Organizing data for trustworthy artificial intelligence. *Government Information Quarterly*, 37(3), 101493. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2020.101493>
- Lassa, J. A., Nappoe, G. E., & Sulistyono, S. B. (2022). Creating an institutional ecosystem for cash transfer programmes in post-disaster settings: A case from Indonesia. *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies*, 14(1), Article a1046. <https://doi.org/10.4102/jamba.v14i1.1046>

- Novianto, N. (2023). Models of digital transformation in the public sector. *Policy & Governance Review*, 7(2), 113–134. <https://doi.org/10.30589/pgr.v7i2.753>
- Paramita, A., Suharyanto, & Wijaya, A. P. (2021). Pemetaan bahaya tsunami berbasis Sistem Informasi Geografis sebagai dasar mitigasi bencana di wilayah pesisir. *Jurnal Geodesi Undip*.
- Triyanti, A., Surtiari, G. A. K., Lassa, J., Rafliana, I., Hanifa, N. R., Muhidin, M. I., & Djalante, R. (2023). Governing systemic and cascading disaster risk in Indonesia: Where do we stand and future outlook. *Disaster Prevention and Management*, 32(1), 27–48. <https://doi.org/10.1108/DPM-07-2022-0156>
- Yuwono, B. D., Sabri, L. M., Wijaya, A. P., & Awaluddin, M. (2024). Assessment of flood risk induced by land subsidence using machine learning. *Indonesian Journal of Geography*. <https://doi.org/10.22146/ijg.94726>