

Identifikasi Kawasan Rawan Bencana Gerakan Tanah Dengan Menggunakan GIS-MCDA dan AHP di Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang, Jawa Timur

Ratri Andinisari ^{*1a}, Krishna Himawan Subiyanto ^{*2}, Ardiyanto Maksimilianus Gai ^{*3}, Kinta Ramayanti ^{*4}, Rahmadina Fitria Ristanti ^{*5}, Estri Pamungkasih ^{*6}, Diyan Eko Wahyudie ^{*7}, Iftita Yustitia Arini ^{*8}, Dewa Oka Prabawa ^{*9}

Submit: 23 Januari 2026 ^{*1} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia, aratri@lecturer.itn.ac.id
Review: 7 Februari 2026 ^{*2} Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia, krishna@lecturer.itn.ac.id
Revised: 25 Februari 2026 ^{*3} Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia, ardiyanto.maksimilianus@lecturer.itn.ac.id
Published: 10 Maret 2026 ^{*4} Badan Riset dan Inovasi Daerah Kabupaten Malang, Kabupaten Malang, Indonesia, chintarama58@gmail.com
^{*5} Badan Riset dan Inovasi Daerah Kabupaten Malang, Kabupaten Malang, Indonesia, rahmadina.efer@gmail.com
^{*6} Badan Riset dan Inovasi Daerah Kabupaten Malang, Kabupaten Malang, Indonesia, estetri611@gmail.com
^{*7} Badan Riset dan Inovasi Daerah Kabupaten Malang, Kabupaten Malang, Indonesia, deeyaan.ew@gmail.com
^{*8} Badan Riset dan Inovasi Daerah Kabupaten Malang, Kabupaten Malang, Indonesia, yustitiaiftitah@gmail.com
^{*9} Badan Riset dan Inovasi Daerah Kabupaten Malang, Kabupaten Malang, Indonesia, prabawaoka9@gmail.com

^aCorresponding Author: aratri@lecturer.itn.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kerawanan bencana gerakan tanah di Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang, dengan menggunakan pendekatan GIS berbasis MCDA-AHP dan digital elevation model dengan resolusi sebesar 0,27 arcsecond. Parameter yang digunakan meliputi kelerengan, curah hujan, geologi, jenis tanah, dan tutupan lahan. Setiap parameter dianalisis secara spasial dan diklasifikasi berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap potensi gerakan tanah, kemudian diintegrasikan melalui metode *weighted overlay* untuk menghasilkan peta zonasi kerawanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah Kecamatan Tirtoyudo didominasi oleh zona kerawanan gerakan tanah sedang dengan luasan sekitar 908,06 ha, zona kerawanan rendah seluas 89,06 ha, dan zona kerawanan tinggi seluas 6,68 ha. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah penelitian berada pada tingkat kerawanan gerakan tanah menengah. Di sisi lain, zona kerawanan tinggi bencana gerakan tanah di wilayah ini terkonsentrasi pada lereng curam, area dengan jenis batuan yang lemah, serta tutupan lahan yang rendah. Distribusi area rawan bencana gerakan tanah yang telah disusun dalam penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar ilmiah bagi perencanaan mitigasi bencana, pengelolaan tata guna lahan, serta penataan ruang wilayah yang lebih adaptif terhadap risiko gerakan tanah di Kecamatan Tirtoyudo.

Kata kunci: gerakan tanah, GIS, MCDA, AHP, Tirtoyudo

Abstract

This study aims to map creep susceptibility in Tirtoyudo Sub-district, Malang Regency, using a GIS based on a MCDA approach with AHP weighting in digital elevation data with 0.27 arcsecond. The parameters utilized in this study include slope, rainfall, geology/rock type, soil type, and land cover. Each parameter was spatially analyzed and classified according to its effect on creep occurrence, and subsequently integrated using the weighted overlay method to produce a creep susceptibility zoning map. The results indicate that Tirtoyudo Sub-district is predominantly characterized by a moderate susceptibility zone covering approximately 908.06 ha, followed by a low susceptibility zone of 89.06 ha and a high susceptibility zone of 6.68 ha. This distribution suggests that most of the area falls within a moderate level of susceptibility. The high susceptibility zones, although limited in extent, are concentrated on steep slopes, weak geological formations, and areas with sparse land cover. These results can serve as a scientific basis for disaster mitigation planning and spatial development strategies in landslide-prone areas in the aforementioned sub-district.

Keywords: *creep, GIS, MCDA, AHP, Tirtoyudo*

PENDAHULUAN

Kabupaten Malang memiliki karakteristik geologi yang beragam dan didominasi oleh sisa aktivitas vulkanik purba [1]. Secara umum, wilayah ini mengalami proses pengangkatan dan kemiringan ke arah selatan akibat aktivitas tektonik yang berlangsung sejak Neogen Akhir (Pliosen) hingga Kuartar Awal (Plistosen). Proses tersebut disertai oleh deformasi struktural berupa pelipatan lemah dan sesar, yang menghasilkan pola struktur permukaan dengan arah dominan timur laut–barat daya (NE–SW) dan barat laut–tenggara (NW–SE) [2].

Kabupaten Malang merupakan kawasan rawan bencana banjir, gempa bumi, cuaca ekstrim, dan tanah longsor, dengan bencana terparah adalah bencana banjir. Bencana gempa bumi juga merupakan salah satu bencana yang besar imbasnya di kawasan ini, misalnya gempa bumi dengan magnitude 6,0 pada tanggal 10 April 2021 yang dirasakan di berbagai wilayah di Pulau Jawa termasuk di Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang [3]. Selain itu, Kecamatan Tirtoyudo merupakan kawasan rawan bencana gerakan tanah. Kejenuhan lereng akibat air dan ketidakstabilan lereng yang ditrigger oleh gempa bumi merupakan faktor-faktor utama yang berkontribusi terhadap terjadinya peristiwa longsor. Fenomena ini dapat disebabkan oleh berbagai mekanisme, termasuk curah hujan yang tinggi, pencairan salju, perubahan muka air tanah, serta fluktuasi permukaan air di sepanjang garis pantai, bendungan tanah, tebing danau, waduk, kanal, serta sungai. Hubungan antara longsor dan banjir sangat erat mengingat keduanya berkaitan dengan curah hujan, limpasan permukaan, serta kejenuhan tanah akibat infiltrasi air [4]. Selain longsor, ketidakstabilan lereng, perubahan tata guna dan tutupan lahan, serta curah hujan yang tinggi juga bisa memicu bencana gerakan tanah yang selama ini banyak juga diamati di Kecamatan Tirtoyudo [5].

Kondisi geologi Kecamatan Tirtoyudo itu sendiri didominasi oleh sisa aktivitas gunung api tua yang secara fisis ditunjukkan oleh adanya batuan vulkanik, lapisan debu vulkanik, dan struktur berupa *columnar joint*. Bagian selatan wilayah ini juga memiliki kekayaan geomorfologi dalam bentuk gua-gua laut dan pilar batu pantai [6]. Variasi kondisi geologi ini membuat Kecamatan Tirtoyudo memiliki medan yang sulit dengan keterjangkauan yang terbatas, sehingga kajian mengenai bencana pada kawasan ini masih jarang dilakukan.

Untuk melakukan identifikasi kawasan rawan bencana tanah bergerak secara efektif di Kecamatan Tirtoyudo, diperlukan pertimbangan berbagai parameter secara simultan karena pendekatan penilaian berbasis satu kriteria dinilai tidak memadai. Oleh karena itu, pendekatan *Multi-Criteria Decision Analysis*

(MCDA) dapat diterapkan untuk mengintegrasikan beragam lapisan data dan meningkatkan akurasi prediksi bahaya secara spasial. Dalam dua dekade terakhir, MCDA telah banyak digunakan sebagai alat pendukung pengambilan keputusan melalui pembobotan pada setiap parameter berdasarkan pendekatan statistik. Metode ini umumnya dikombinasikan dengan *Geographic Information System* (GIS) dan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) untuk menyelesaikan berbagai permasalahan pengambilan keputusan berbasis tata ruang [7–9].

Dalam 10 tahun terakhir, MCDA telah banyak diterapkan dalam kajian tanah longsor dan bencana gerakan tanah di Indonesia melalui integrasi dengan SIG dan AHP, Fuzzy-AHP, serta Weighted Linear Combination. MCDA dimanfaatkan untuk mengintegrasikan parameter pengontrol longsor ke dalam model spasial berbasis bobot yang transparan dan replikatif. Berbagai studi terdahulu menunjukkan bahwa MCDA-AHP merupakan pendekatan yang efektif untuk zonasi kerawanan longsor di wilayah Pulau Jawa dan Sumatra dengan tingkat akurasi yang baik berdasarkan validasi ROC/AUC [10-12]. Kombinasi MCDA-SIG juga mampu menghasilkan peta kerawanan skala kabupaten hingga DAS yang mendukung penataan ruang berbasis mitigasi dan menjadi dasar ilmiah perencanaan mitigasi gerakan tanah di Indonesia. [13,14].

Bencana gerakan tanah di Kecamatan Tirtoyudo belum banyak dikaji terlepas dari imbasnya yang fatal terhadap kehidupan warga. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kawasan rawan bencana gerakan tanah di Kecamatan Tirtoyudo. Secara khusus, penelitian ini mencakup identifikasi wilayah rawan gerakan tanah di Kecamatan Tirtoyudo, analisis serta klasifikasi tingkat bahaya guna menghasilkan Peta Risiko Bencana, serta rekomendasi singkat mengenai strategi mitigasi bencana gerakan tanah yang relevan bagi kecamatan tersebut.

METODOLOGI

A. Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Malang dengan fokus wilayah kajian pada Kecamatan Tirtoyudo yang secara kewilayahan dapat disimak pada Gambar 1. Kecamatan Tirtoyudo terletak di bagian tenggara Kabupaten Malang dan memiliki bentang wilayah memanjang dari utara ke selatan dengan variasi topografi yang cukup kompleks dan terdiri atas kawasan pesisir di bagian selatan, perbukitan di bagian tengah, hingga lereng Gunung Semeru di bagian utara. Ketinggian wilayah ini berkisar antara 0 hingga 1.100 meter di atas permukaan laut.

Pendekatan yang digunakan dalam kajian ini adalah MCDA yang bertujuan untuk mengintegrasikan berbagai parameter penentu kerawanan gerakan tanah melalui sistem pembobotan tertentu. Analisis spasial menjadi bagian integral dalam pendekatan MCDA berbasis keruangan, dengan memanfaatkan metode *Weighted Overlay* dan AHP untuk menentukan zonasi kerawanan gerakan tanah [15,16]. Dalam penelitian ini, faktor-faktor yang digunakan untuk mengidentifikasi kerawanan bencana gerakan tanah meliputi curah hujan, jenis tanah, kondisi geologi, tutupan lahan, serta kemiringan lereng. AHP diterapkan untuk menentukan bobot relatif melalui perbandingan berpasangan untuk menghasilkan pembobotan yang lebih objektif dan terukur [17,18]. Setelah itu, Metode *Weighted Overlay* digunakan untuk menggabungkan berbagai lapisan parameter berdasarkan bobot kepentingan masing-masing faktor. Nilai *pairwise matrix* bobot kerawanan ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Lokasi Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang

Tabel 1. *Pairwise Matrix* Bobot Kerawanan Longsor [19]

Parameter		1	2	3	4	5	<i>Eigen vector</i>
Kemiringan Lereng	1	1	3	3	3	3	41,41%
Curah Hujan	2	1/3	1	1	3	3	21,42%
Tutupan Lahan	3	1/3	1	1	1	3	17,20%
Jenis Tanah	4	1/3	1/3	1	1	1	11,08%
Geologi	5	1/3	1/3	1/3	1	1	8,89%
Consistency Ratio 5%							

B. Distribusi Parameter

Setiap parameter yang telah disebutkan pada bagian sebelumnya diklasifikasikan dalam skala nilai tertentu (skala 1 hingga 5) yang mencerminkan tingkat risiko atau potensi. Nilai lebih tinggi menunjukkan tingkat risiko atau kesesuaian yang lebih besar. Parameter-parameter yang mempengaruhi gerakan tanah yang telah diberikan bobot dan skala kemudian dijumlahkan. Secara total, kerawanan gerakan tanah didefinisikan sebagai jumlah bobot keseluruhan parameter yang dapat dihitung dengan Persamaan (1) sebagai berikut:

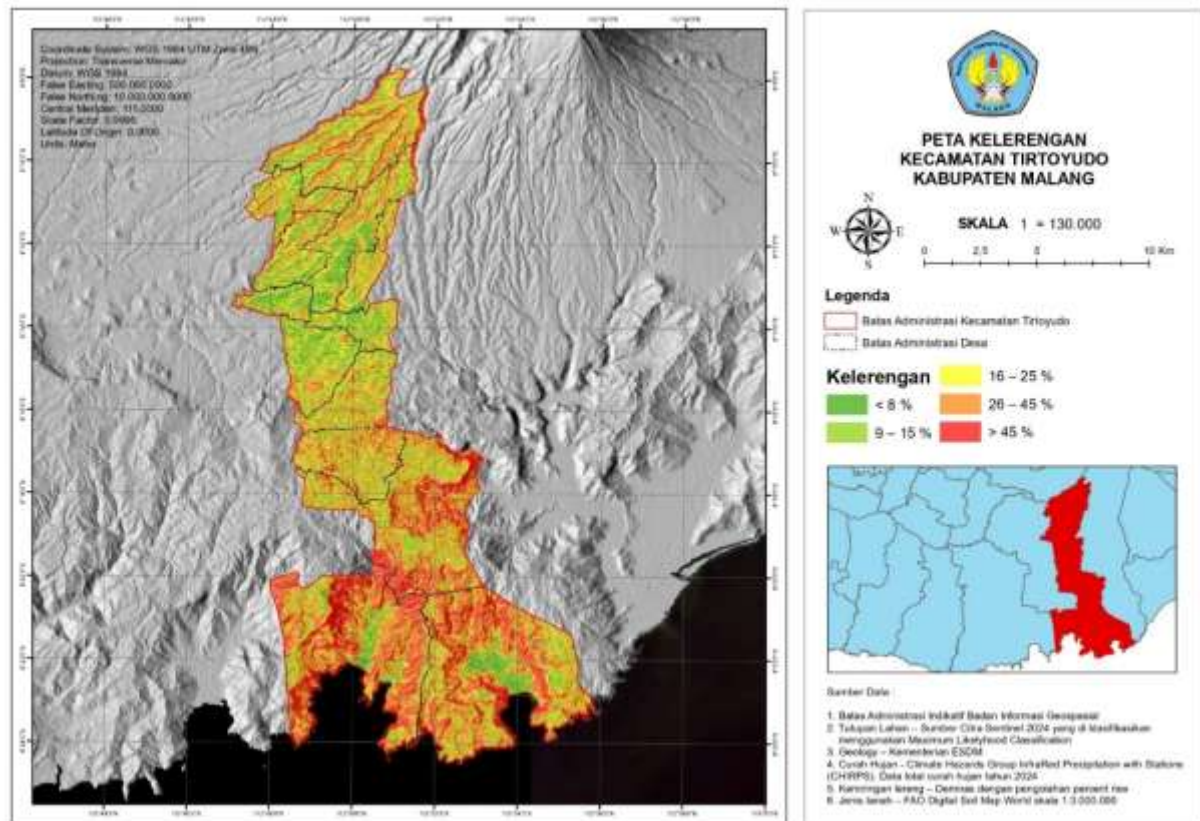
$$\text{Kerawanan Gerakan Tanah} = \sum_i^n W_i \quad (1)$$

dimana n = skor penyebab gerakan tanah pada setiap parameter, W_i = bobot pada setiap parameter [20,21].

Kelerengan merupakan parameter utama dalam pemetaan kerawanan gerakan tanah karena berpengaruh langsung terhadap kestabilan suatu area. Data kelerengan diperoleh dari *Digital Elevation Model* (DEMNAS) yang merepresentasikan kondisi permukaan bumi secara detail dalam satuan persen (%), yang menggambarkan perbandingan antara perubahan elevasi dan jarak horizontal. DEMNAS memiliki resolusi sebesar 0,27 arcsecond. Semakin besar nilai kelerengan, semakin tinggi gaya gravitasi yang bekerja pada massa tanah, sehingga potensi terjadinya gerakan tanah juga meningkat. Oleh karena itu, kelerengan sering dijadikan faktor dominan dalam analisis kerawanan longsor. Pembobotan parameter kelerengan terdapat pada Tabel 2. Peta distribusi kelerengan pada Kecamatan Tirtoyudo terdapat pada Gambar 2.

Tabel 2. Pembobotan Parameter Kelerengan

Parameter Kelerengan (%)	Skor	Bobot (%)
< 8	1	41,41
9 – 15	2	
16 – 25	3	
26 – 45	4	
> 45	5	



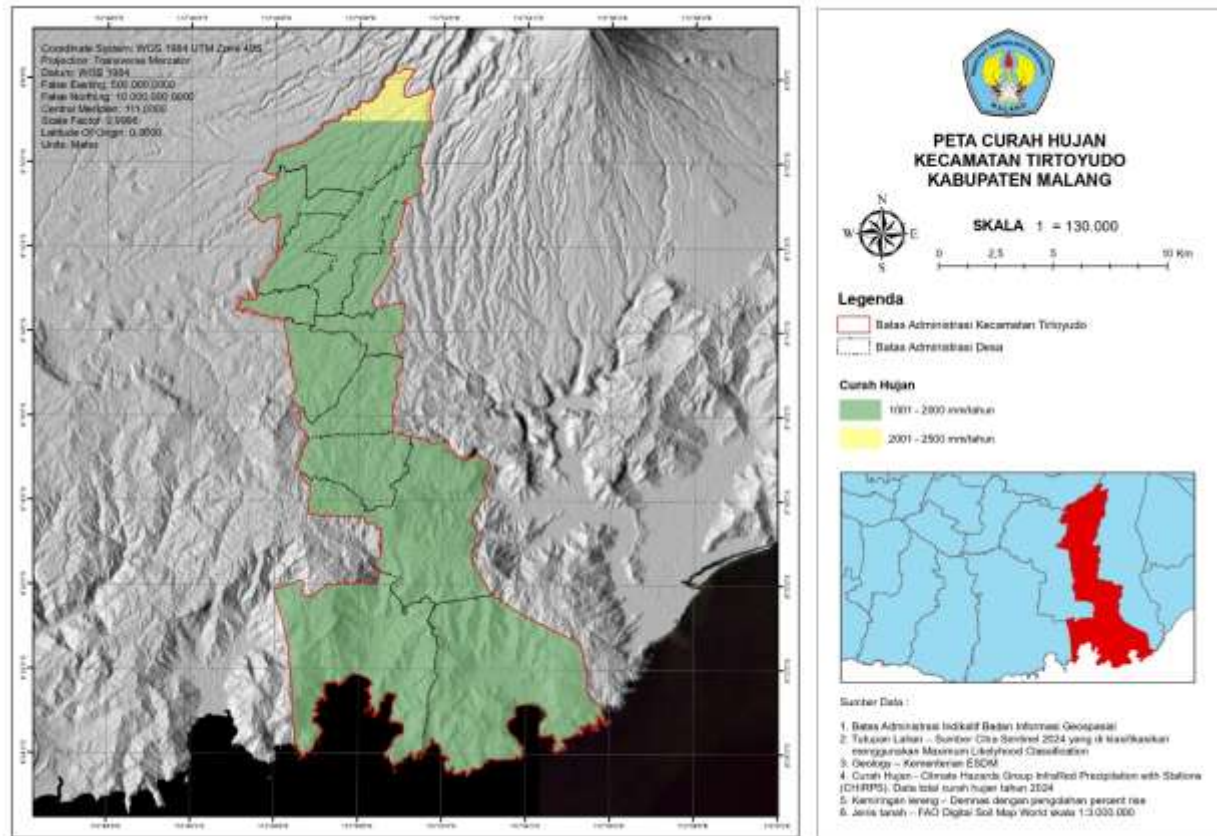
Gambar 2. Peta Kelerengan di Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang

Curah hujan merupakan faktor pemicu terjadinya gerakan tanah karena berpengaruh terhadap peningkatan tekanan pori dan kejenuhan tanah. Data curah hujan diperoleh dari *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) Versi 2. Data CHIRPS dengan resolusi spasial $0,05^{\circ} \times 0,05^{\circ}$ terlebih dahulu melalui tahap praproses berupa konversi dari format grid raster menjadi fitur vektor titik (*conversion of raster grid to point vector features*). Setiap sel raster direpresentasikan sebagai satu titik yang memuat nilai curah hujan rata – rata selama 5 tahun (2020-2024) sebagai atributnya. Selanjutnya, data titik tersebut diolah menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) untuk menghasilkan peta interpolasi yang merepresentasikan sebaran spasial curah hujan secara lebih kontinu. Curah hujan diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas berdasarkan akumulasi tahunan, di mana intensitas hujan yang tinggi cenderung meningkatkan risiko terjadinya longsor akibat melemahnya ikatan antar partikel tanah. Pembobotan parameter curah hujan pada penelitian ini terdapat pada Tabel 3. Peta distribusi curah hujan pada Kecamatan Tirtoyudo terdapat pada Gambar 3.

Tabel 3. Pembobotan Parameter Curah Hujan

Parameter Curah Hujan (mm/tahun)	Skor	Bobot (%)
< 1000	1	21,42
1001 - 2000	2	

2001 - 2500	3
2501 - 3000	4
> 3000	5

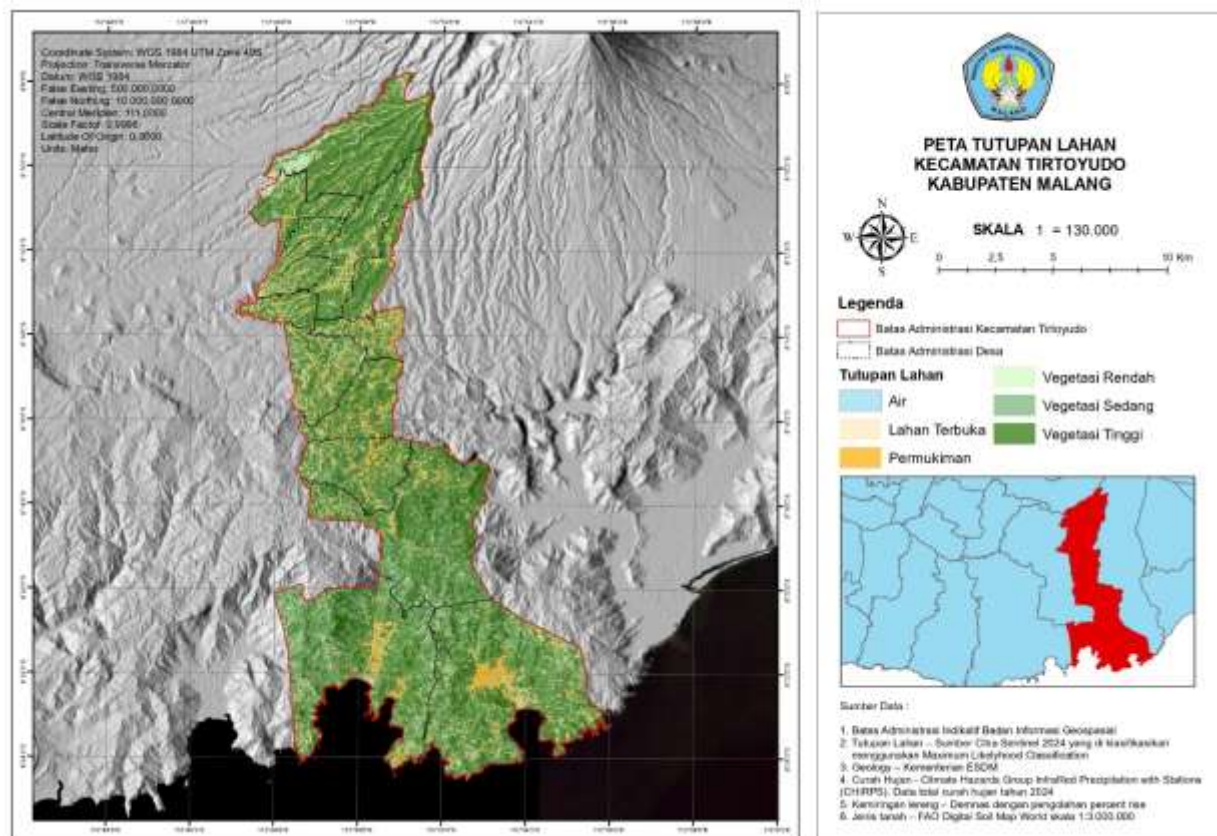


Gambar 3. Peta Distribusi Curah Hujan di Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang

Tutupan lahan menggambarkan jenis penggunaan lahan dan vegetasi yang menutupi permukaan tanah, yang berperan penting dalam mengontrol erosi dan stabilitas lereng. Citra Sentinel-2A yang memiliki resolusi 10-meter diolah menggunakan metode Composite Image (R, G, B, NIR) untuk menghasilkan klasifikasi tutupan lahan melalui algoritma *Maximum Likelihood*. Tutupan lahan dengan vegetasi rapat umumnya mampu meningkatkan nilai kohesi tanah melalui sistem perakaran, sedangkan lahan terbuka dan kawasan terbangun cenderung meningkatkan kerawanan gerakan tanah akibat minimnya perlindungan permukaan dan meningkatnya limpasan permukaan. Pembobotan parameter tutupan lahan terdapat pada Tabel 4. Peta tutupan lahan pada Kecamatan Tirtoyudo terdapat pada Gambar 4.

Tabel 4. Pembobotan Parameter Tutupan Lahan

Parameter Tutupan Lahan	Skor	Bobot (%)
Vegetasi Tinggi	1	17,20
Vegetasi Sedang	2	
Vegetasi Rendah	3	
Permukiman	4	
Lahan Terbuka	5	

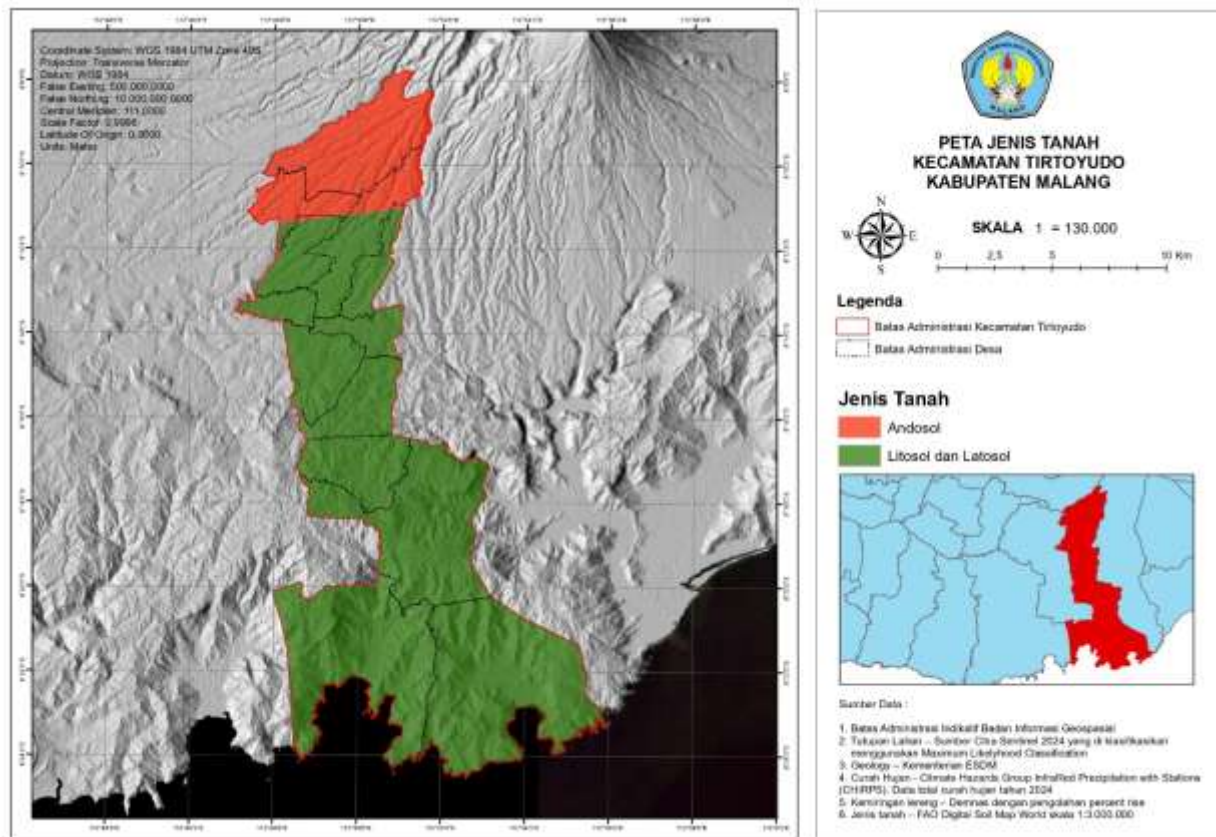


Gambar 4. Peta Tutupan Lahan di Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang

Jenis tanah berkaitan erat dengan sifat fisik dan mekanik tanah, seperti tekstur, kohesi, porositas, dan permeabilitas, yang memengaruhi kemampuan tanah dalam menahan air dan beban. Tanah dengan tekstur berpasir dan tingkat kohesi rendah memiliki kerentanan lebih tinggi terhadap erosi dan pergerakan massa tanah. Dalam kajian ini, jenis tanah dikelompokkan ke dalam beberapa kelas berdasarkan tingkat stabilitas mekanis dan sensitivitasnya terhadap erosi, sehingga dapat merepresentasikan variasi potensi gerakan tanah pada wilayah kajian. Jenis tanah pada area penelitian diberi bobot sesuai pada Tabel 5. Peta sebaran jenis tanah pada Kecamatan Tirtoyudo terdapat pada Gambar 5.

Tabel 5. Pembobotan Parameter Jenis Tanah

Parameter Jenis Tanah	Skor	Bobot (%)
Gleisol, Umbrisol, dan Alluvial	1	11,08
Litosol dan Latosol	2	
Kambisol	3	
Andosol	4	
Regosol	5	

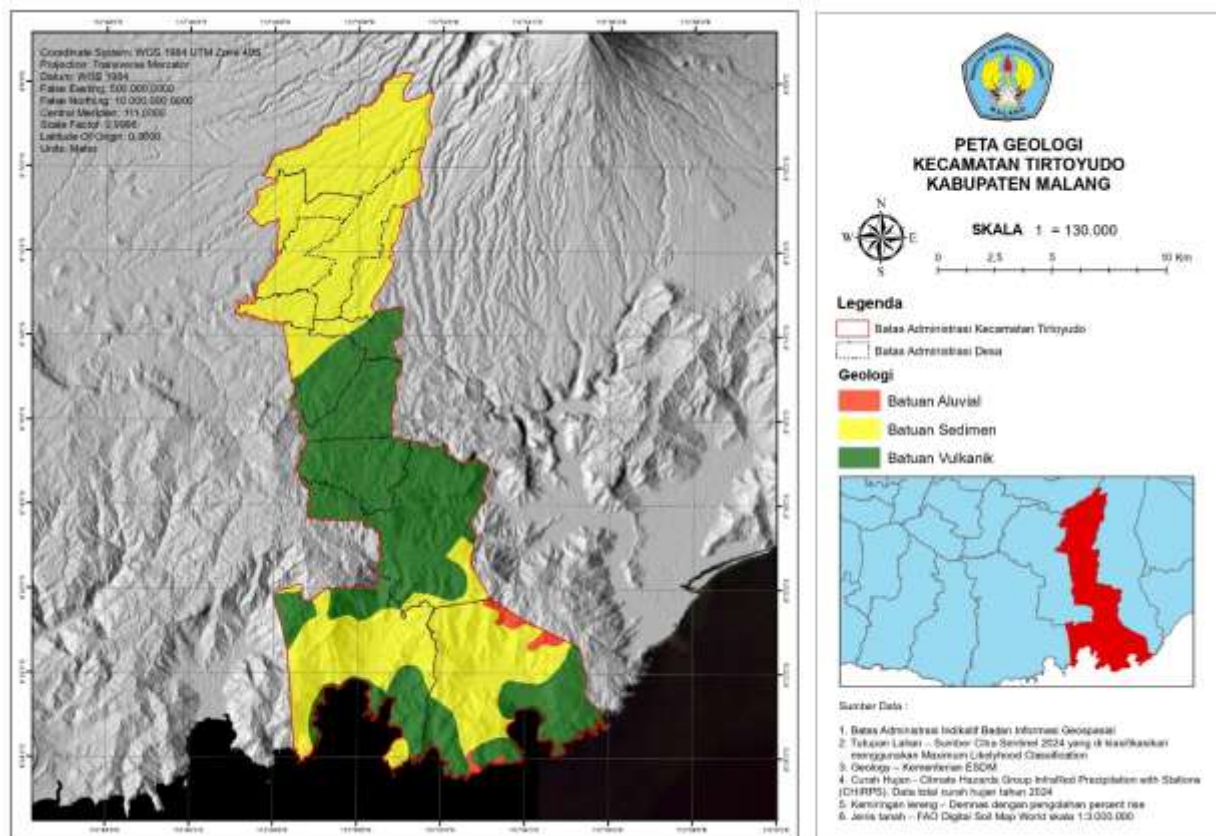


Gambar 5. Peta Sebaran Jenis Tanah di Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang

Kondisi geologi menjadi parameter penting dalam analisis gerakan tanah karena jenis batuan dan struktur geologi mempengaruhi kekuatan serta ketahanan lereng terhadap gaya eksternal. Batuan yang rapuh, mudah lapuk, atau memiliki porositas tinggi cenderung lebih rentan terhadap pergerakan tanah dibandingkan batuan keras dan padat. Selain itu, keberadaan struktur geologi seperti sesar dan rekahan dapat menjadi bidang lemah yang memicu longsoran. Oleh karena itu, klasifikasi geologi dilakukan untuk membedakan tingkat kerawanan berdasarkan karakteristik fisik dan mekanik batuan penyusun wilayah kajian. Jenis batuan yang ada di Kecamatan Tirtoyudo diberi bobot sesuai pada Tabel 6. Peta geologi untuk Kecamatan Tirtoyudo terdapat pada Gambar 6.

Tabel 6. Pembobotan Parameter Kondisi Geologi/Jenis Batuan

Parameter Jenis Batuan	Skor	Bobot (%)
Batuan Aluvial	1	8,89
Batuan Sedimen	2	
Batuan Vulkanik	3	



Gambar 6. Peta Geologi Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang

Seluruh dataset yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi curah hujan, jenis tanah, kondisi geologi, tutupan lahan, dan kemiringan lereng, telah melalui proses standarisasi untuk menjamin konsistensi spasial sebelum tahap analisis dilakukan. Seluruh parameter diproyeksikan ke dalam sistem koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM) Zona 49 Selatan guna memastikan keseragaman sistem referensi spasial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

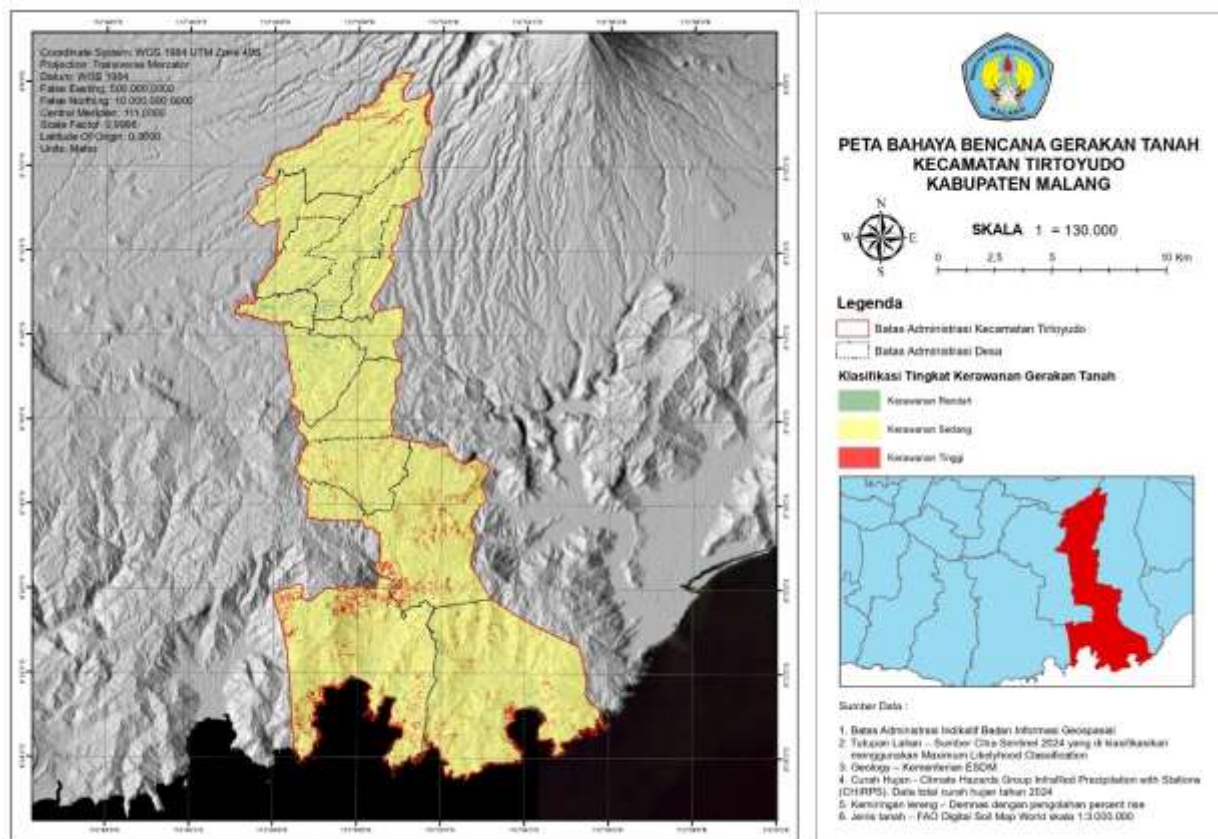
Distribusi parameter dalam kajian kerawanan gerakan tanah di Kecamatan Tirtoyudo dianalisis berdasarkan lima faktor utama, yaitu kelerengan, curah hujan, tutupan lahan, jenis tanah, dan kondisi geologi. Kelima parameter tersebut diberi skor dan bobot yang berbeda sesuai tingkat pengaruhnya terhadap potensi gerakan tanah, kemudian diintegrasikan dalam analisis spasial untuk menggambarkan karakteristik kerentanan wilayah. Parameter kelerengan menunjukkan variasi kemiringan lahan dari rendah hingga sangat curam (>45%), terutama pada wilayah pesisir di bagian selatan Kecamatan Tirtoyudo. Area kecamatan ini didominasi oleh perbukitan terjal, lembah curam, serta aliran sungai berkelok. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh struktur geologi berupa sesar minor dan pelipatan akibat dinamika tektonik subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia, yang secara keseluruhan meningkatkan potensi kerawanan gerakan tanah dan erosi di wilayah ini [22].

Distribusi curah hujan di Kecamatan Tirtoyudo berada pada kisaran 1001–2000 mm/tahun hingga 2001–2500 mm/tahun. Curah hujan dengan intensitas tertinggi pada wilayah ini hanya ditemukan di desa paling utara saja. Di sisi lain, parameter tutupan lahan di wilayah penelitian terdiri atas beberapa kelas, yaitu perairan, vegetasi tinggi, vegetasi sedang, vegetasi rendah, permukiman, dan lahan terbuka. Pada lokasi

penelitian, tutupan lahan yang dominan adalah vegetasi rendah hingga tinggi. Vegetasi rendah umumnya berupa semak, rumput, dan tanaman herba dengan tinggi kurang dari 1 m, yang banyak dijumpai pada area terbuka atau lahan tertentu. Pola tutupan lahan ini mencerminkan kondisi lingkungan yang berpengaruh terhadap stabilitas lereng dan potensi terjadinya gerakan tanah.

Distribusi jenis tanah di Kecamatan Tirtoyudo menunjukkan variasi karakteristik fisik dan genesis tanah, termasuk keberadaan tanah Andosol yang banyak ditemukan di wilayah Tirtoyudo bagian utara, khususnya di kaki Gunung Semeru. Andosol merupakan tanah yang terbentuk dari material vulkanik akibat erupsi gunung api berupa material piroklastik. Secara geologis, wilayah Kecamatan Tirtoyudo memiliki kondisi geologi yang kompleks dengan dominasi batuan aluvial di bagian utara dan pesisir selatan, serta batuan vulkanik di wilayah lainnya. Tirtoyudo berada pada zona transisi antara pegunungan vulkanik aktif dan dataran bergelombang hingga curam, yang tersusun atas produk vulkanik Kuartar seperti breksi vulkanik, lava andesit, tuf, dan material piroklastik. Hasil analisis tingkat kerawanan gerakan tanah di Kecamatan Tirtoyudo menunjukkan bahwa wilayah ini didominasi oleh kelas kerawanan sedang, diikuti oleh kelas rendah dan tinggi (Gambar 7).

Secara kuantitatif, luas zona kerawanan rendah mencapai $\pm 89,06$ ha, zona kerawanan sedang $\pm 908,06$ ha, dan zona kerawanan tinggi $\pm 6,68$ ha. Distribusi tersebut mengindikasikan bahwa sebagian besar wilayah Tirtoyudo berada pada kondisi kerentanan menengah, yang berpotensi berkembang menjadi kerawanan tinggi apabila dipicu oleh faktor eksternal seperti curah hujan ekstrem atau perubahan tutupan lahan. Secara spasial, zona kerawanan rendah umumnya terdapat pada wilayah dengan kemiringan lereng relatif landai serta tutupan lahan vegetasi yang cukup baik. Zona ini umumnya tersebar di bagian-bagian dengan karakteristik topografi lebih stabil dan intensitas aktivitas manusia yang relatif rendah. Sementara itu, zona kerawanan sedang mendominasi hampir seluruh wilayah kecamatan ini, terutama pada daerah perbukitan dan lereng dengan kemiringan menengah hingga curam, yang dikombinasikan dengan kondisi geologi vulkanik dan jenis tanah yang relatif sensitif terhadap perubahan kelembapan. Zona kerawanan tinggi memiliki luasan paling kecil, yaitu sekitar 6,68 ha yang terdistribusi di bagian utara dan selatan Kecamatan Tirtoyudo. Secara geomorfologi, area tersebut berada pada lokasi-lokasi yang kritis seperti lereng curam, daerah dengan struktur geologi yang lemah, serta kawasan dengan tutupan lahan rendah atau terbuka. Zona ini menunjukkan tingkat kerentanan paling besar terhadap terjadinya gerakan tanah, terutama ketika dipengaruhi oleh faktor pemicu seperti curah hujan tinggi atau aktivitas antropogenik. Keberadaan zona kerawanan tinggi mengindikasikan pentingnya perencanaan mitigasi bencana dan penataan ruang wilayah di Kecamatan Tirtoyudo. Oleh karena itu, diperlukan strategi mitigasi yang terarah pada wilayah dengan risiko sedang hingga tinggi melalui pengelolaan tata guna lahan, penguatan kapasitas masyarakat, dan perencanaan mitigasi berbasis spasial.



Gambar 7. Peta Bahaya Bencana Gerakan Tanah Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang

SIMPULAN

Kerawanan gerakan tanah di Kecamatan Tirtoyudo ditentukan dengan menggunakan kombinasi faktor kelerengan, geologi, jenis tanah, curah hujan, dan tutupan lahan, yang dianalisis melalui pendekatan GIS berbasis MCDA dengan pembobotan AHP. Hasil pemetaan kerawanan menunjukkan bahwa wilayah Tirtoyudo didominasi oleh zona bahaya sedang dengan luasan sekitar 908,06 ha, zona bahaya rendah seluas 89,06 ha, dan zona bahaya tinggi seluas 6,68 ha. Distribusi tersebut mengindikasikan bahwa sebagian besar wilayah kecamatan ini berada pada tingkat kerentanan menengah. Zona bahaya gerakan tanah tinggi terkonsentrasi pada lereng curam, area dengan kondisi batuan yang lemah, serta tutupan lahan yang rendah. Secara kuantitatif, dominasi zona bahaya sedang mencerminkan potensi risiko yang signifikan terhadap terjadinya gerakan tanah, terutama apabila dipicu oleh faktor eksternal seperti curah hujan tinggi dan perubahan penggunaan lahan. Distribusi area rawan bencana gerakan tanah yang telah disusun dalam penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar ilmiah bagi perencanaan mitigasi bencana, pengelolaan tata guna lahan, serta penataan ruang wilayah yang lebih adaptif terhadap risiko gerakan tanah di Kecamatan Tirtoyudo.

REFERENSI

- [1] J. T. Van Gorsel, "A bibliography and brief history of Indonesia, geology literature," in *Proc. Indon Petrol. Assoc., 33rd Ann. Conv.*, Indonesian Petroleum Association (IPA), May 2009. doi: 10.29118/IPA.2341.09.G.087.

- [2] H. Darman and F. H. Sidi, *An Outline of the Geology of Indonesia*, Jakarta, Indonesia: Indonesian Association of Geologists, 2000, p. 254.
- [3] J. P. G. N. Rochman, M. A. Sadewa, and A. M. Putra, "Earthquake microzonation using microtremor analysis and horizontal to vertical spectral ratio method: Study case at Ampelgading and Tirtoyudo Sub-district, Malang, East Java," in *Proceedings of the 12th International Conference on Green Technology (ICGT 2022)*, Advances in Engineering Research Series, vol. 221, Dordrecht, The Netherlands: Atlantis Press, 2023.
- [4] X. Wang, J. Wang, H. Zhan, P. Li, H. Qiu, and S. Hu, "Moisture content effect on the creep behavior of loess for the catastrophic Baqiao landslide," *CATENA*, vol. 187, p. 104371, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.catena.2019.104371.
- [5] K. Sugianti, D. Mulyadi, and D. Sarah, "Kalsifikasi tingkat kerentanan gerakan tanah daerah Sumedang Selatan menggunakan metode STORIE," *J. Ris. Geol. Dan Pertamb.*, vol. 24, no. 2, p. 91, Nov. 2014, doi: 10.14203/risetgeotam2014.v24.86.
- [6] I. Ketut Ari Pegatariana, A. Susilo, F. Aprilia, and B. Hangga Triyo Eko Putro, "Tracing Geological Stories: A Geotrail Study in Purwodadi Village, Tirtoyudo District, Malang Regency," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1424, no. 1, p. 012006, Dec. 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1424/1/012006.
- [7] S. J. Carver, "Developing web-based GIS/MCE: Improving access to data and spatial decision support tools," in *Spatial Multicriteria Decision-Making and Analysis: A Geographic Information Sciences Approach*, J. C. Thill, Ed., Aldershot, UK: Ashgate, 1999, pp. 49–75.
- [8] J. Malczewski, "GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 20, no. 7, pp. 703–726, Aug. 2006, doi:10.1080/13658810600661508.
- [9] T. Nainggolan, S. S. Sai, A. Lomi, A. Y. Mabur, and R. Andinisari, "Web-based GIS spatial decision support system for infrastructural maintenance of roads and irrigation facilities in Central and East Sumba," in *Proc. The 3rd International Conference on Natural Sciences, Mathematics, Applications, Research, and Technology (ICON-SMART 2022): Mathematical Physics and Biotechnology for Education, Energy Efficiency, and Marine Industries*, vol. 3132, Kuta, Indonesia: AIP Publishing, 2024, p. 040010.
- [10] E. Febriarta, A. Larasati, I. A. Suherningtyas, A. L. Permatasari, F. Nucifera, dan W. Riasasi, "Penentuan Zona Kerawanan Gerakan Tanah Dengan Spatial Multi Criteria di Kabupaten Bangkalan, Madura," *Geomedia Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, vol. 22, no. 2, pp. 120–133, Nov. 2024, doi: 10.21831/gm.v22i2.63805.
- [11] M. Widiastuti, S. Widodo, M. Tumpu, M. P. Hatta, dan I. Alimuddin, "Landslide Hazard Index Assessment Using GIS and AHP in Tapalang, Mamuju, West Sulawesi Province, Indonesia," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 15, no. 4, pp. 24857–24863, Aug. 2025, doi: 10.48084/etasr.10835.
- [12] P. Wijayanti, S. Sholeh, dan F. Muzaqi, "Landslide Hazard Mapping using Weight Overlay Based-GIS with Multi-criteria Evaluation Techniques in Tawangmangu District, Indonesia," *Geosfera Indonesia*, vol. 10, no. 1, pp. 81–97, Mar. 2025, doi: 10.19184/geosi.v10i1.44539.
- [13] S. Safinatunnajah, G. Samodra, dan M. A. Setiawan, "Pemodelan Spasial Kerawanan Longsor Menggunakan Metode AHP di Pulau Jawa," *Journal Online Universitas Jambi*, vol. 10, no. 3, 2025, doi: 10.22437/jop.v10i3.43891.
- [14] A. A. Jawil, K. N. Setiawan, "Analisis Landslide Hazard Levels on the Palopo–Luwu Road Using GIS and Finite Element Method," *Jurnal Gecelebes*, vol. 9, no. 1, 2025, doi: 10.70561/gecelebes.v9i1.40206.
- [15] R. Greene, J. E. Luther, R. Devillers, and B. Eddy, "An approach to GIS-based multiple criteria decision analysis that integrates exploration and evaluation phases: Case study in a forest-dominated landscape," *For. Ecol. Manag.*, vol. 260, no. 12, pp. 2102–2114, Dec. 2010, doi: 10.1016/j.foreco.2010.08.052.
- [16] B. Aksoy and M. Ercanoglu, "Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey)," *Comput. Geosci.*, vol. 38, no. 1, pp. 87–98, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.cageo.2011.05.010.
- [17] R. Greene, R. Devillers, J. E. Luther, and B. G. Eddy, "GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis," *Geogr. Compass*, vol. 5, no. 6, pp. 412–432, Jun. 2011, doi: 10.1111/j.1749-8198.2011.00431.x.
- [18] H. Taherdoost and M. Madanchian, "Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts," *Encyclopedia*, vol. 3, no. 1, pp. 77–87, 2023, doi: 10.3390/encyclopedia3010006.

- [19] J. A. Susetyo, S. Bachri, S. Sumarmi, and T. Mutia, "PEMETAAN KERAWANAN TANAH LONGSOR DENGAN METODE WEIGHTED OVERLAY DI KABUPATEN JEMBER," *Geogr. J. Kaji. Penelit. Dan Pengemb. Pendidik.*, vol. 12, no. 2, p. 695, Sep. 2024, doi: 10.31764/geography.v12i2.24656.
- [20] M. F. Yassar, M. Nurul, N. Nadhifah, N. F. Sekarsari, R. Dewi, R. Buana, S. N. Fernandez, and K. A. Rahmadhita, "Penerapan weighted overlay pada pemetaan tingkat probabilitas zona rawan longsor di Kabupaten Sumedang, Jawa Barat," *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.23960/jgrs.2020.v1i1.13.
- [21] I. Hassan, M. A. Javed, M. Asif, M. Luqman, S. R. Ahmad, A. Ahmad, S. Akhtar, and B. Hussain, "Weighted overlay based land suitability analysis of agricultural land in Azad Jammu and Kashmir using GIS and AHP," *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, vol. 57, no. 6, pp. 1509–1519, 2020, doi: 10.21162/PAKJAS/20.9507.
- [22] R. Sujanto, R. Hadisantono, R. Kusnama, R. Chaniago, and R. Baharudin, *Peta Geologi Lembar Turen, Jawa, Bandung, Indonesia: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*, 1992.