https://journal.uns.ac.id/ijed/article/view/3072
https://doi.org/10.20961/ijed.v5i2.3072 - (Vol 5, No 2 – 2026)
available at https://journal.uns.ac.id/ijed
e-issn (2829-9140) & p-issn (2829-9418)

PEMETAAN KERAWANAN TANAH LONGSOR MENGGUNAKAN METODE FREQUENCY RATIO BERBASIS SIG DI KOTA BATU

Rafi Sulthan Rizqullah*, Nisrina Gina Rahma, Nasywa Cinta Az Zahrah, Muhammad Razi Khuzari, Heni Masruroh

Program Studi S1 Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Malang, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia
* rafi.sulthan.2307226@students.um.ac.id

Diterima: 26 Januari 2026 Direvisi: 13 Februari 2026 Dipublikasikan: Oktober 2026

ABSTRACT

This study aimed to analyze the level of landslide susceptibility in Batu City using the Frequency Ratio (FR) method based on Geographic Information Systems (GIS). The analysis was carried out using nine conditioning parameters, and the results showed that four main factors had the most significant influence: slope steepness, rainfall intensity, elevation, and soil type. All data were processed in 30-meter resolution raster format using pixel-based spatial analysis. The results indicated that areas with steep slopes, rainfall exceeding 3000 mm per year, elevations above 1500 meters above sea level, and Andosol soil types had the highest levels of landslide susceptibility. The northern part of Batu City, particularly Bumiaji District, was identified as the most vulnerable area, followed by Batu District, while Junrejo District had the lowest susceptibility level. Model validation using the Kappa coefficient produced a value of 0.70 with an overall accuracy of 85%, indicating that the FR model was reliable in representing the spatial distribution of landslide susceptibility. The findings of this study are expected to serve as a reference for disaster mitigation efforts and spatial planning in Batu City.
***Keywords**: Frequency Ratio; GIS; landslide; landslide susceptibility.*

ABSTRAK

Kota Batu merupakan wilayah dataran tinggi vulkanik dengan topografi curam dan curah hujan tinggi sehingga potensi longsor terus meningkat seiring tekanan pemanfaatan ruang. Kondisi ini menuntut pemetaan kerawanan yang tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga mampu menunjukkan faktor pengendali utama secara analitis. Penelitian ini menganalisis tingkat kerawanan tanah longsor di Kota Batu menggunakan metode Frequency Ratio (FR) berbasis Sistem Informasi Geografis dengan sembilan parameter pengkondisi longsor yang diolah dalam raster resolusi 30 meter. Hasil analisis menunjukkan bahwa kemiringan lereng, curah hujan, elevasi, dan jenis tanah menjadi faktor paling berpengaruh, dengan lereng curam, curah hujan di atas 3000 mm per tahun, elevasi lebih dari 1500 mdpl, serta tanah Andosol berkaitan kuat dengan tingkat kerawanan tertinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan FR efektif menegaskan dominasi faktor morfometrik dibandingkan penggunaan lahan dalam mengontrol kerawanan longsor di wilayah vulkanik tropis. Secara spasial, bagian utara Kota Batu, terutama Kecamatan Bumiaji, menjadi wilayah paling rentan. Model memiliki akurasi keseluruhan 85% dan koefisien Kappa 0,70 sehingga dapat digunakan sebagai dasar penentuan prioritas mitigasi dan perencanaan tata ruang pada wilayah dengan karakteristik topografi serupa.
***Kata Kunci**: GIS; kerentanan tanah longsor; Rasio Frekuensi; tanah longsor*

https://journal.uns.ac.id/ijed/article/view/3072
https://doi.org/10.20961/ijed.v5i2.3072 - (Vol 5, No 2 – 2026)
available at https://journal.uns.ac.id/ijed
e-issn (2829-9140) & p-issn (2829-9418)

A. PENDAHULUAN

Bencana hidrometeorologi menjadi salah satu jenis bencana yang paling sering terjadi dan berdampak luas terhadap kehidupan manusia (Aeni & Anwar, 2024; Hendrawan dkk., 2025). Bencana ini dipicu oleh dinamika cuaca dan iklim yang ekstrem, seperti curah hujan tinggi, badai, dan perubahan iklim. Indonesia merupakan negara yang rentan terhadap bencana hidrometeorologi yang dipicu oleh kondisi cuaca dan iklim (Susanti dkk., 2017; Muttaqin & Febriani, 2024). Berdasarkan UU No. 24 Tahun 2007, bencana didefinisikan sebagai suatu kejadian atau rangkaian kejadian yang mengancam serta mengganggu kehidupan masyarakat, baik akibat faktor alam, non-alam, maupun faktor manusia, sehingga menyebabkan korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian material, serta dampak psikologis. Terjadinya bencana dipengaruhi oleh adanya ancaman dan tingkat kerentanan yang tidak diimbangi dengan kapasitas masyarakat dalam mengantisipasinya. Salah satu bencana yang sering menimbulkan kerusakan lingkungan, kerugian ekonomi, dan korban jiwa adalah tanah longsor (Kurniawan dkk., 2025, Saputra dkk., 2024).

Tanah longsor merupakan suatu proses geologi ketika material berupa batuan, tanah, maupun puing bergerak menuruni lereng akibat pengaruh gaya gravitasi. Peristiwa ini dapat dipicu oleh berbagai faktor seperti curah hujan tinggi, gempa bumi, aktivitas vulkanik, ataupun campur tangan manusia (Ehsan dkk., 2025). Kejadian tersebut mampu menyebabkan perubahan besar pada bentang alam serta menimbulkan ancaman serius terhadap keselamatan manusia dan kerusakan infrastruktur (Alalade dkk., 2025). Menurut Arifin dkk. (2006), tanah longsor merupakan salah satu jenis bencana alam yang dapat menimbulkan kerugian besar, baik kerusakan material maupun korban jiwa. Meskipun peristiwa longsor terjadi dalam waktu yang relatif singkat, dampaknya dapat berlangsung lama dan mempengaruhi kehidupan masyarakat di sekitarnya. Hal ini menunjukkan pentingnya melakukan kajian mengenai tingkat kerawanan longsor di suatu wilayah. Kerawanan tersebut dapat dianalisis melalui pendataan lokasi kejadian longsor sebelumnya, sebab karakteristik fisik dan sosial suatu daerah berperan dalam terbentuknya kondisi pemicu bencana.

Kota Batu merupakan salah satu kota wisata di Jawa Timur yang memiliki kerawanan tinggi terhadap bencana hidrometeorologi, termasuk banjir, kebakaran hutan, tanah longsor, serta gerakan tanah (Riestu & Hidayat, 2022). Berdasarkan data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), tercatat sebanyak 244 kejadian longsor terjadi di Kota Batu pada periode 2021-2023, di mana 36 di antaranya terjadi di wilayah Desa

https://journal.uns.ac.id/ijed/article/view/3072
https://doi.org/10.20961/ijed.v5i2.3072 - (Vol 5, No 2 – 2026)
available at https://journal.uns.ac.id/ijed
e-issn (2829-9140) & p-issn (2829-9418)

Songgokerto (BPBD Kota Batu, 2023). Tingginya frekuensi kejadian tersebut menunjukkan bahwa tanah longsor merupakan ancaman serius bagi keselamatan masyarakat dan keberlanjutan pembangunan di wilayah ini. Menurut Pradhan dan Lee (2010), kejadian tanah longsor dipengaruhi oleh berbagai kondisi lingkungan. Beberapa di antaranya meliputi tingkat kemiringan lereng, kedekatan lokasi terhadap aliran sungai, jarak terhadap sesar atau patahan, karakteristik litologi, tipe tanah, kondisi tutupan lahan, serta jumlah curah hujan. Semua faktor tersebut berperan dalam menentukan stabilitas lereng dan kemungkinan terjadinya perpindahan massa tanah.

Pemetaan kerawanan tanah longsor merupakan proses untuk mengidentifikasi wilayah yang berpotensi mengalami longsor di masa mendatang berdasarkan faktor geologi, kemiringan lereng, jenis tanah, penggunaan lahan, serta riwayat kejadian longsor (Yang dkk., 2024). Penelitian pemetaan kerawanan telah banyak dilakukan di berbagai wilayah Indonesia, tetapi sebagian besar masih mengandalkan pembobotan manual yang ditentukan melalui pertimbangan peneliti, seperti studi Madani dkk. (2023) di Kecamatan Wagir, Kabupaten Malang, yang menggunakan metode scoring dan overlay GIS dengan bobot parameter ditetapkan secara subjektif. Pendekatan tersebut belum sepenuhnya menjawab bagaimana hubungan kuantitatif antara setiap parameter dan kejadian longsor dapat diukur secara objektif, terutama ketika jumlah parameter bertambah atau karakteristik wilayah berbeda. Keterbatasan ini menunjukkan perlunya pendekatan yang mampu menilai keterkaitan antara parameter fisik dan kejadian longsor secara kuantitatif sehingga model kerawanan dapat dibandingkan secara lebih jelas dan memberikan hasil yang lebih stabil antarwilayah.

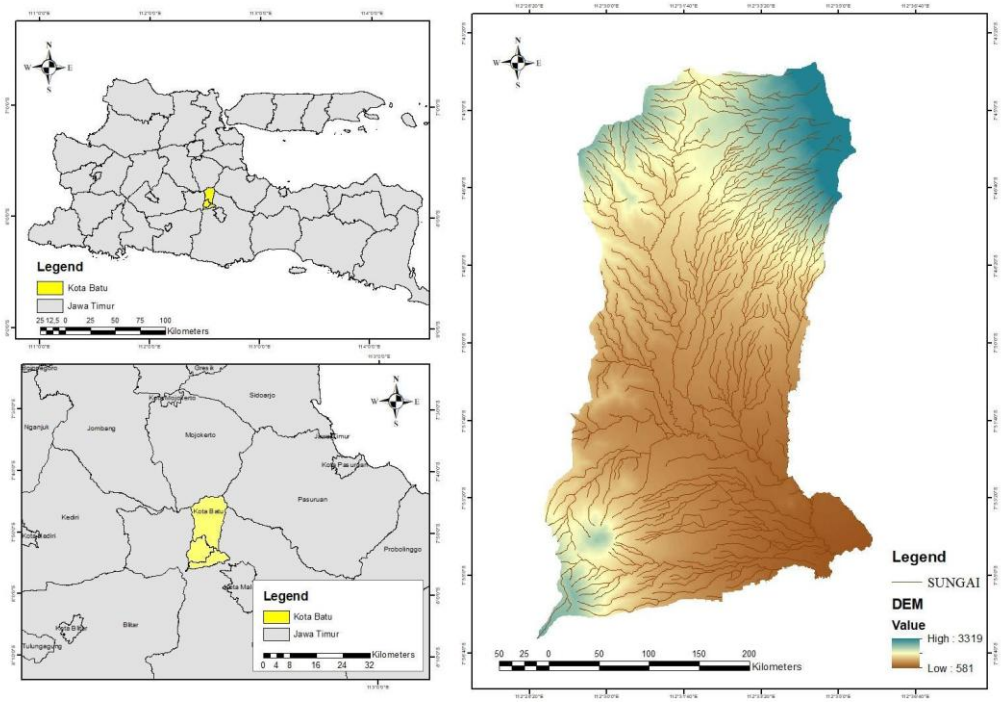
Metode *Frequency Ratio* mengintegrasikan faktor kondisi bencana longsor dengan riwayat kejadian bencana longsor, sehingga penentuan bobot mengurangi nilai subjektivitas dalam model prediksi dan dapat digunakan untuk perencanaan dan mitigasi di masa mendatang (Nugroho dan Nugroho, 2020). *Frequency Ratio* juga telah digunakan pada berbagai studi internasional dan menghasilkan tingkat akurasi yang cukup tinggi, serta mudah diinterpretasi oleh pengambil kebijakan. Meskipun Kota Batu memiliki frekuensi kejadian longsor yang tinggi, informasi terkait distribusi zona kerawanannya masih belum tersedia secara spasial dan kuantitatif. Oleh karena itu, diperlukan pemetaan kerawanan dengan pendekatan kuantitatif yang dapat memberikan dasar yang lebih objektif bagi pengambilan keputusan. Hasil pemetaan kerawanan ini membantu meminimalkan potensi kerusakan serta meningkatkan keselamatan masyarakat dan infrastruktur. Selain itu,

informasi tersebut juga mendukung penentuan lokasi pembangunan agar tidak berada pada area berisiko tinggi, mempermudah penentuan prioritas mitigasi, dan mendukung perumusan strategi tanggap darurat.

B. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kota Batu, yang berada di selatan Provinsi Jawa Timur dengan luas sekitar 199,09 km². Kota Batu terbagi menjadi tiga kecamatan yaitu Batu, Bumiaji, dan Junrejo. Secara spasial, lokasi penelitian di Kota Batu ditunjukkan pada Gambar 1. Kota ini berada pada dataran tinggi Pegunungan Bromo, Tengger, Semeru dan dikelilingi perbukitan serta lereng terjal dengan variasi ketinggian yang tinggi. Kondisi fisiografis wilayah tersebut, sebagaimana terlihat pada Gambar 1, menyebabkan perbedaan karakteristik antara area dataran tinggi dan dataran yang lebih landai, sehingga memunculkan variasi tingkat kerentanan gerakan tanah. Kondisi topografi, iklim, dan aktivitas antropogenik di Kota Batu meningkatkan risiko terjadinya tanah longsor.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian terdiri atas data inventaris berupa riwayat titik kejadian tanah longsor yang diperoleh dari instansi terkait dan dilengkapi dengan informasi kejadian yang terverifikasi dari berita pada media daring. Selain itu, digunakan juga data 9 parameter pengkondisi longsor. Parameter tersebut meliputi variabel geologi, jenis tanah,

penggunaan lahan, jarak dari sungai, dan jarak dari jalan yang diperoleh dalam format vektor/*shapefile*. Selain itu, tiga variabel morfometrik elevasi, kemiringan lereng, dan NDVI diekstraksi dari data *Digital Elevation Model* (DEM), sedangkan curah hujan diperoleh dari dataset CHIRPS yang kemudian diinterpolasi menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) untuk menghasilkan peta curah hujan kontinu. Keseluruhan parameter, kecuali titik longsor, selanjutnya diklasifikasikan menurut karakteristik masing-masing variabel dan dikonversi menjadi raster dengan resolusi seragam 30m sebagai dasar untuk analisis spasial berbasis piksel.

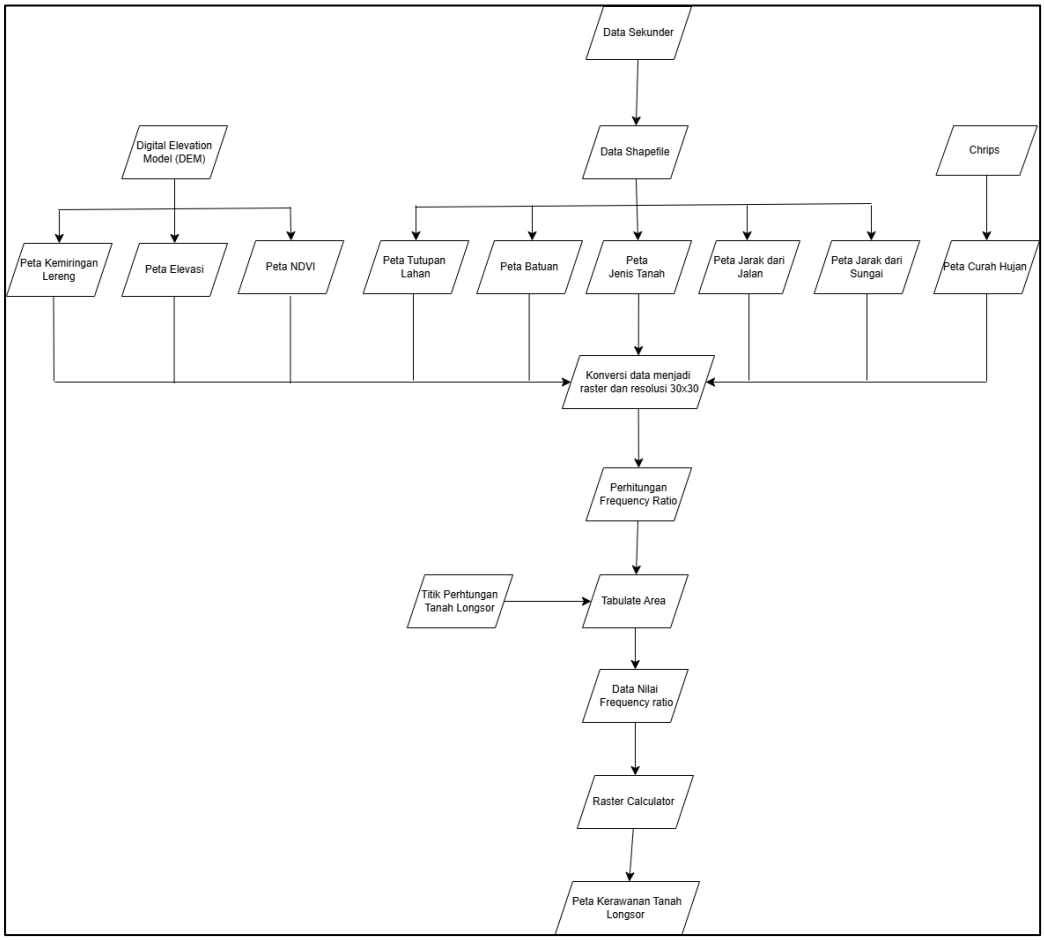
Tahapan Analisis Data

Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi proses konversi data vektor menjadi raster, *reclassify* parameter sesuai kebutuhan analisis, serta perhitungan jumlah piksel pada setiap kelas variabel untuk kemudian dibandingkan dengan distribusi piksel longsor. Analisis kerawanan dilakukan menggunakan metode *Frequency Ratio* (FR), yang menghitung tingkat hubungan antara terjadinya longsor dan karakteristik setiap kelas parameter. Perhitungan FR dilakukan dengan membagi proporsi piksel longsor pada suatu kelas dengan proporsi total piksel kelas tersebut di seluruh wilayah penelitian. Alur umum proses analisis ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan rumus perhitungan FR disajikan dalam persamaan berikut:

$$\mathrm{FR} = \frac{CP \,/\, LP}{\Sigma CP \,/\, \Sigma LP}$$

dimana FR merupakan *frequency ratio* yang menggambarkan tingkat keterkaitan antara kejadian longsor dan kelas suatu faktor; CP adalah jumlah piksel yang termasuk dalam suatu kelas pada faktor tertentu; LP adalah jumlah piksel kejadian longsor yang berada pada kelas faktor tersebut; ΣCP merupakan total seluruh piksel dari semua kelas dalam faktor tersebut; dan ΣLP adalah total keseluruhan piksel longsor pada seluruh kelas faktor yang digunakan dalam analisis. Jika rasio lebih besar dari 1,0 maka hubungan antara kejadian longsor dan faktor penyebabnya lebih tinggi, dan jika rasio kurang dari 1,0 maka hubungan antara kejadian longsor dan faktor penyebabnya rendah (Lee & Lee, 2006 dalam Soma dan Kubota, 2017).

https://journal.uns.ac.id/ijed/article/view/3072
https://doi.org/10.20961/ijed.v5i2.3072 - (Vol 5, No 2 – 2026)
available at https://journal.uns.ac.id/ijed
e-issn (2829-9140) & p-issn (2829-9418)



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Setelah nilai *frequency ratio* (FR) untuk setiap parameter dan masing-masing kelas diperoleh, seluruh nilai FR tersebut dikonversi kembali ke dalam bentuk raster sesuai kelasnya sehingga setiap piksel merepresentasikan tingkat kontribusi kerawanan dari faktor terkait. Raster FR dari seluruh parameter kemudian digabungkan melalui proses *overlay* menggunakan *Raster Calculator* untuk menghasilkan nilai FR total sebagai akumulasi pengaruh semua variabel pengkondisi tanah longsor. Nilai FR total ini selanjutnya diklasifikasikan ke dalam lima kelas tingkat kerentanan menggunakan metode *Natural Breaks (Jenks)*, sehingga menghasilkan peta kerawanan longsor yang lebih terstruktur dan mampu menggambarkan variasi tingkat risiko secara spasial

Kesesuaian hasil pada model terhadap kondisi eksisting divalidasi dengan cara menghitung hasil di lapangan (*ground check*) dan lokasi kejadian bencana dengan akurasi nilai kappa. Persamaan nilai akurasi kappa yang digunakan adalah sebagai berikut (Foody, 2002).

https://journal.uns.ac.id/ijed/article/view/3072
https://doi.org/10.20961/ijed.v5i2.3072 - (Vol 5, No 2 – 2026)
available at https://journal.uns.ac.id/ijed
e-issn (2829-9140) & p-issn (2829-9418)

$$Khat = \frac{N \sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r} (Xi + Xx + i)}{N^2 - \sum_{i=1}^{r} (Xi + Xx + i)}$$

Dimana :

x+i	: Jumlah titik hasil klasifikasi pada kelas ke-i
xi+	: Jumlah titik referensi pada kelas ke-i
xii	: Jumlah titik referensi yang sesuai dengan hasil klasifikasi
i	: Baris atau kolom
r	: Jumlah kelas bencana
N	: Jumlah keseluruhan titik referensi
Khat	: Nilai akurasi kappa

Tabel 1. Tingkat Akurasi Nilai Kappa.

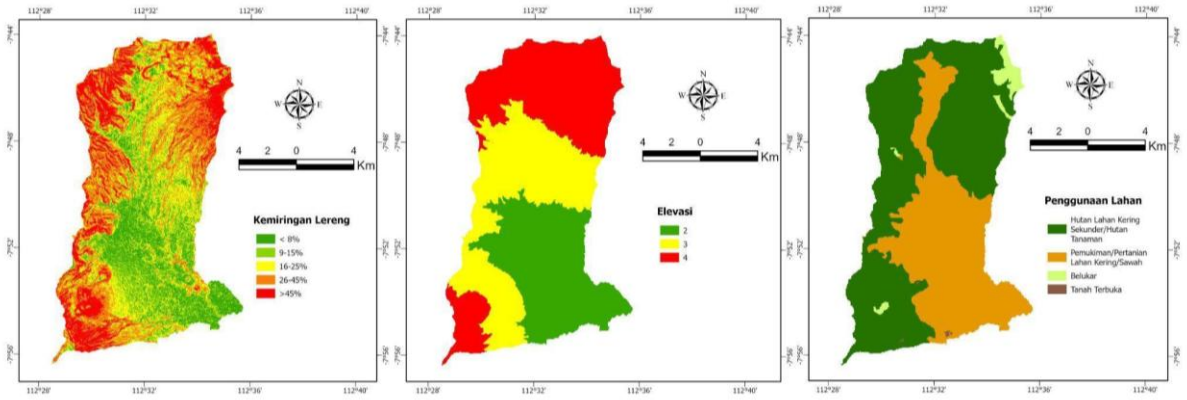
No	Nilai Kappa (K)	Tingkat Akurasi (f)
1	< 0,20	Buruk
2	0,21 – 0,40	Cukup
3	0,41 – 0,60	Sedang
4	0,61 – 0,80	Baik
5	0,81 – 100	Sangat Baik

Sumber: Foody, 2002

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

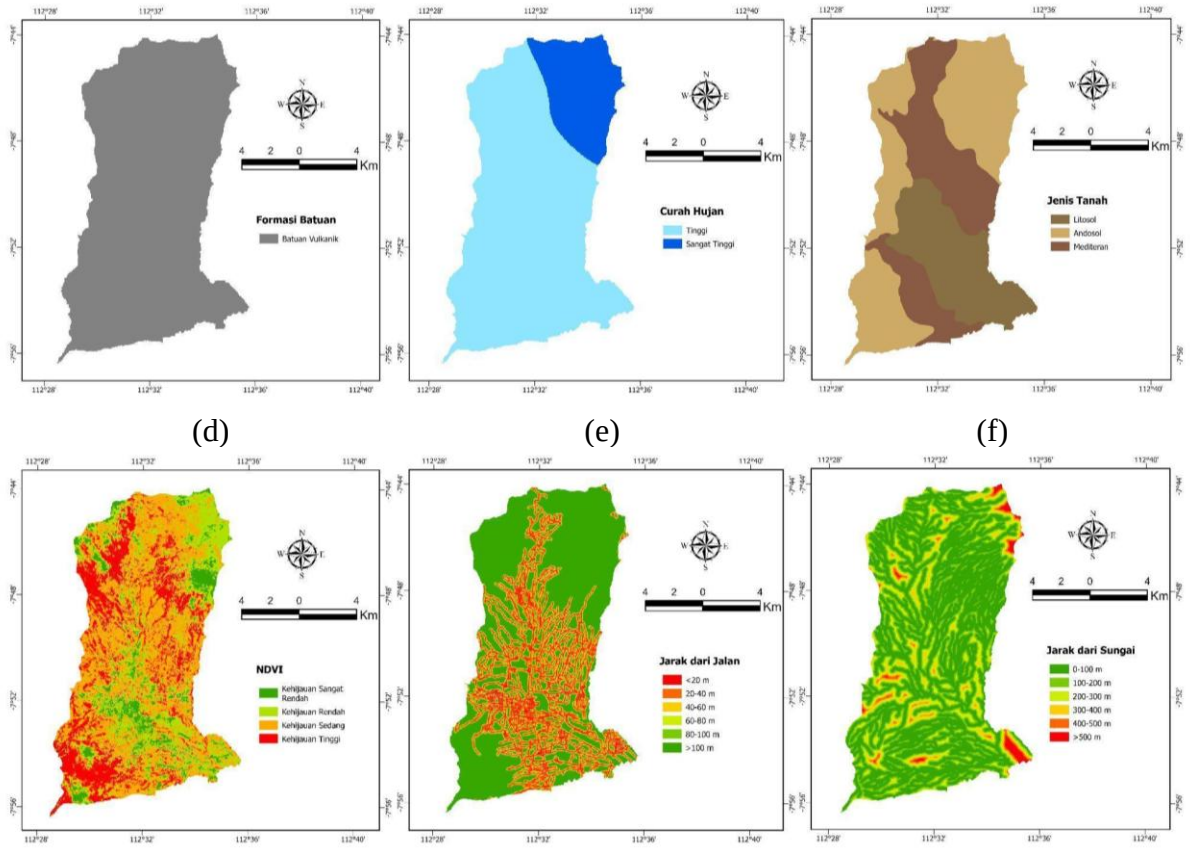
Analisis Parameter Kerawanan Longsor

Analisis parameter dilakukan untuk menilai faktor yang memicu tanah longsor di Kota Batu. Sebaran tiap parameter ditinjau untuk melihat kecenderungan awal kerawanan sebelum seluruh variabel dihitung pada model *Frequency Ratio* (FR), sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3. Parameter Pengkondisi Kerawanan Longsor. Uraian tiap parameter dan hubungannya terhadap kejadian longsor di wilayah penelitian disajikan pada Tabel 2. Interpretasi Parameter Kerawanan Longsor.



(a) (b) (c)

https://journal.uns.ac.id/ijed/article/view/3072
https://doi.org/10.20961/ijed.v5i2.3072 - (Vol 5, No 2 – 2026)
available at https://journal.uns.ac.id/ijed
e-issn (2829-9140) & p-issn (2829-9418)



(d) (e) (f)

(g) (h) (i)

Gambar 3. Parameter Pengkondisi Kerawanan Longsor: (a) Kemiringan Lereng, (b) Elevasi, (c) Penggunaan Lahan, (d) Formasi Batuan, (e) Curah Hujan, (f) Jenis Tanah, (g) NDVI, (h) Jarak dari Jalan, dan (i) Jarak dari Sungai.

Tabel 2. Interpretasi Parameter Kerawanan Longsor

No	Faktor	Parameter	Interpretasi
1	Faktor Morfometrik	Kemiringan lereng, Elevasi	Faktor morfometrik di Kota Batu ditunjukkan oleh keterkaitan antara kemiringan lereng dan elevasi yang membentuk topografi wilayah. Lereng miring hingga sangat curam mendominasi wilayah Batu, terutama di Kecamatan Bumiaji dan barat Kecamatan Batu, sementara Junrejo memiliki intensitas lereng curam yang lebih rendah. Bagian tengah kota didominasi kemiringan 9-25% yang menjadi lokasi permukiman dan pertanian, sedangkan area <8% hanya terdapat pada lembah dan pusat aktivitas. Pola tersebut berhubungan dengan perubahan elevasi dari utara ke selatan, di mana elevasi tinggi tersebar di utara dan sebagian selatan, elevasi menengah di tengah, dan elevasi rendah pada

No	Faktor	Parameter	Interpretasi
			area tertentu. Wilayah berelevasi tinggi umumnya berada pada zona lereng curam dan memiliki tingkat erosi lebih besar (Sitepu dkk., 2017). Keterkaitan ini menunjukkan bahwa elevasi tinggi cenderung berhubungan dengan lereng lebih terjal, sehingga meningkatkan potensi pergerakan tanah pada bagian utara dan barat Kota Batu dibandingkan wilayah tengah dan selatan.
2	Faktor Antropogenik	Penggunaan lahan, Jarak dari jalan.	Faktor antropogenik di Kota Batu menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan dan keberadaan jaringan jalan saling berkaitan dalam mempengaruhi kestabilan lereng. Dominasi hutan lahan kering sekunder di utara dan barat berperan menjaga kondisi lereng, sedangkan perkembangan pertanian hortikultura, permukiman, dan lahan kering/sawah di bagian tengah serta wilayah Junrejo menunjukkan intensitas modifikasi lahan yang lebih tinggi. Perubahan tutupan lahan pada lereng menengah meningkatkan tekanan terhadap tanah dan menurunkan kestabilan lereng (Mutolif dkk., 2024). Kondisi ini berkaitan dengan pembangunan jalan yang membuka akses ke area budidaya dan permukiman, yang sering disertai pemotongan lereng, pemadatan tanah, serta gangguan drainase. Kombinasi modifikasi penggunaan lahan dan pembangunan infrastruktur tersebut meningkatkan kerentanan longsor pada area yang mengalami tekanan aktivitas manusia lebih besar, terutama pada lereng curam tanpa pengelolaan air yang memadai (Farandila dkk., 2025).
3	Faktor Geologi-Tanah	Formasi batuan, jenis tanah	Faktor geologi-tanah di Kota Batu menunjukkan keterkaitan antara karakter batuan vulkanik dan jenis tanah dalam menentukan kestabilan lereng. Dominasi material vulkanik dari kompleks Arjuno-Welirang, Panderman, dan Kawi mengalami pelapukan intensif akibat hujan tinggi dan topografi curam sehingga material menjadi gembur dan kurang kohesif (Fareka dkk., 2020). Kondisi ini berhubungan dengan perkembangan tanah Litosol, Andosol,

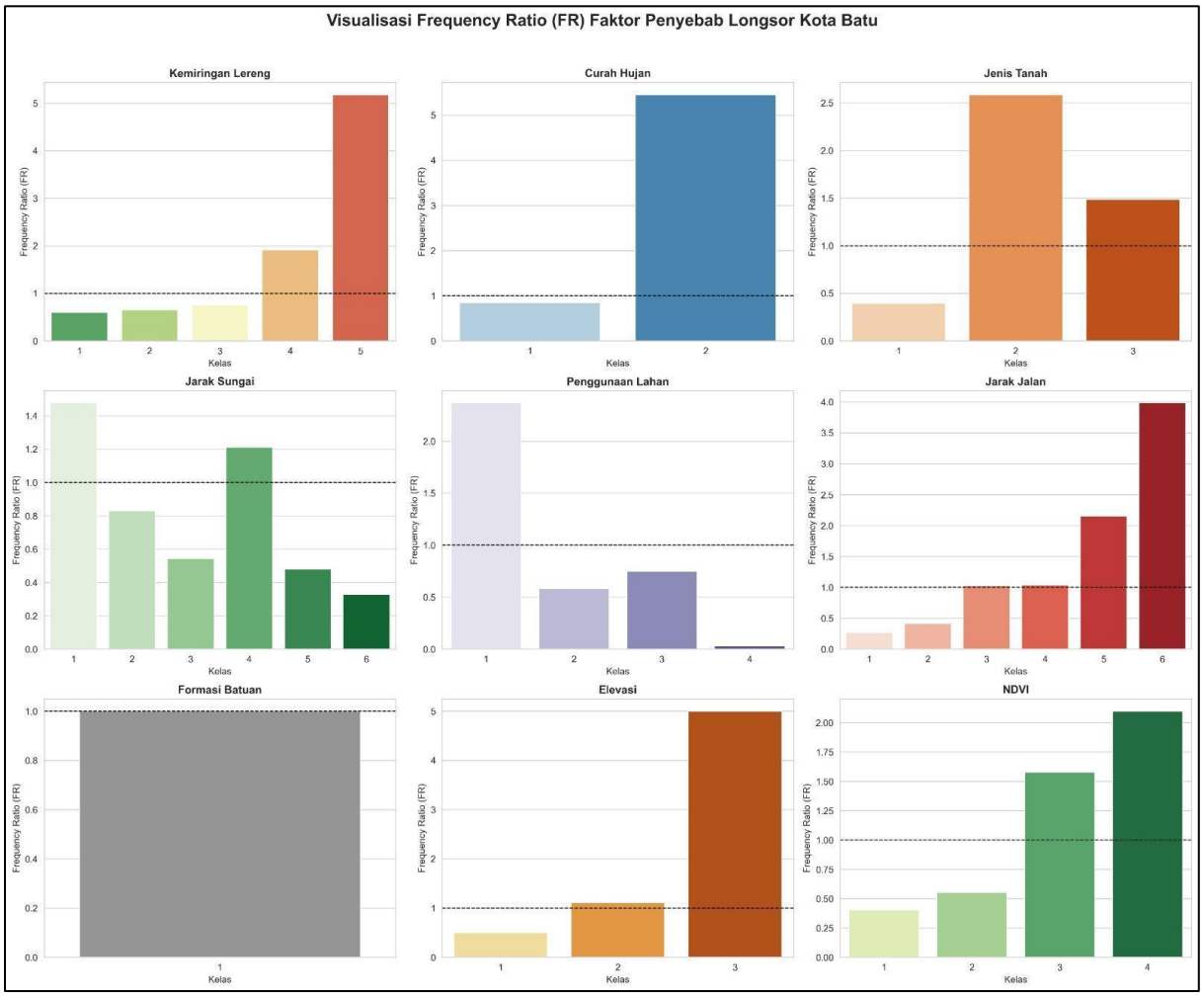
No	Faktor	Parameter	Interpretasi
			dan Mediteran yang memiliki respons berbeda terhadap kejenuhan air dan erosi. Litosol yang dangkal mudah tererosi pada lereng curam, Andosol berpori besar dan mudah jenuh sehingga kehilangan kekuatan saat basah (Putra & Wardika, 2021), sedangkan Mediteran bersifat liat dan menjadi licin pada kondisi jenuh. Kombinasi batuan vulkanik yang mudah lapuk dan jenis tanah yang peka terhadap air menunjukkan bahwa kekuatan material lereng di Kota Batu cenderung rendah, sehingga wilayah berbukit dengan curah hujan tinggi memiliki potensi pergerakan tanah yang lebih besar.
4	Faktor Hidrologi-Vegetasi	Curah hujan, Jarak dari sungai, NDVI	Faktor hidrologi-vegetasi di Kota Batu menunjukkan hubungan antara curah hujan, kedekatan terhadap sungai, dan kondisi vegetasi dalam mempengaruhi kejenuhan tanah dan kestabilan lereng. Curah hujan tinggi, terutama di Kecamatan Bumiaji, meningkatkan akumulasi air dan tekanan air pori tanah saat musim hujan (Akbar dkk., 2025). Air yang masuk ke dalam tanah dan mengalir di permukaan berinteraksi dengan proses fluvial di sekitar sungai, sehingga wilayah yang dekat sungai lebih rentan terhadap erosi tebing dan pengikisan kaki lereng (Priatna dkk., 2025). Vegetasi yang digambarkan melalui NDVI berperan menahan partikel tanah dan mengurangi limpasan (Hemmati & Alizadeh, 2025), namun vegetasi rapat tidak selalu berkaitan dengan kestabilan lereng yang lebih baik. Longsor juga terjadi pada area dengan NDVI tinggi karena vegetasi berada pada lereng curam bercurah hujan tinggi atau mengalami gangguan struktur tanah akibat aktivitas manusia (Lasaiba & Tetelepta, 2023). Keterkaitan antara intensitas hujan, proses aliran air, dan kondisi vegetasi menunjukkan bahwa dinamika air menjadi pengontrol penting dalam meningkatkan potensi pergerakan tanah di wilayah ini.

Analisis Frequency Ratio (FR) Parameter Kerawanan Tanah Longsor

Hasil perhitungan FR pada setiap parameter menunjukkan variasi nilai yang cukup signifikan, yang menandakan tingkat keterkaitan tiap parameter terhadap kejadian longsor di

https://journal.uns.ac.id/ijed/article/view/3072
https://doi.org/10.20961/ijed.v5i2.3072 - (Vol 5, No 2 – 2026)
available at https://journal.uns.ac.id/ijed
e-issn (2829-9140) & p-issn (2829-9418)

Kota Batu tidak sama. Perbedaan ini memerlukan peninjauan untuk mengenali faktor yang paling dominan. Nilai FR seluruh parameter kemudian divisualisasikan secara terintegrasi agar perbandingan antarparameter dan faktor yang paling berpengaruh terhadap kejadian longsor di Kota Batu dapat terlihat lebih jelas.



Gambar 4. Visualisasi Nilai FR Setiap Parameter

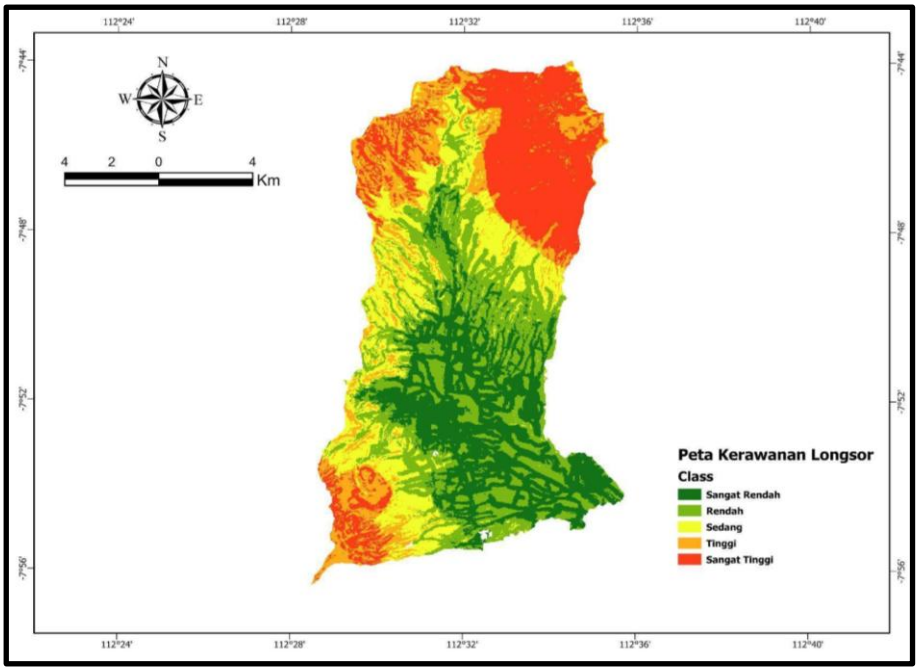
Berdasarkan hasil analisis *Frequency Ratio* (FR), kemiringan lereng menunjukkan nilai yang meningkat seiring bertambahnya kecuraman dan mencapai 5,2 pada kelas >45%. Nilai tersebut menempatkan kemiringan lereng sebagai salah satu parameter dengan tingkat keterkaitan paling kuat terhadap kejadian longsor, terutama ketika dikaitkan dengan kondisi kejenuhan tanah akibat curah hujan tinggi. Elevasi menunjukkan pola yang sejalan, dengan nilai FR tertinggi 5,00 pada kelas >1500 mdpl. Kesamaan kecenderungan antara kemiringan lereng dan elevasi menunjukkan bahwa wilayah berelevasi tinggi umumnya berasosiasi dengan lereng terjal dan kondisi iklim yang mendukung kejenuhan tanah, sehingga keduanya bekerja secara bersamaan dalam meningkatkan kerawanan. Pada parameter penggunaan lahan, hutan

lahan kering memiliki nilai FR tertinggi 2,37, sedangkan permukiman dan pertanian memiliki nilai 0,58 dan tanah terbuka 0,03. Nilai ini menunjukkan bahwa keberadaan tutupan vegetasi tidak selalu berkaitan dengan kestabilan lereng, karena banyak kawasan hutan berada pada lereng curam dan wilayah bercurah hujan tinggi. Formasi batuan tidak menunjukkan variasi nilai FR karena hanya terdiri dari satu litologi utama, sehingga perbedaan kerawanan lebih dipengaruhi parameter lain seperti kemiringan lereng dan curah hujan. Curah hujan memiliki nilai FR tertinggi 5,45 pada kelas >3000 mm/tahun, yang menempatkannya sebagai parameter dengan pengaruh paling dominan. Jika dibandingkan dengan parameter lain, nilai ini menunjukkan bahwa peningkatan tekanan air pori dan kejenuhan tanah menjadi faktor pemicu utama yang memperkuat kondisi kerentanan yang sudah terbentuk oleh topografi.

Jenis tanah menunjukkan Andosol memiliki nilai FR tertinggi 2,58, diikuti Mediteran 1,49 dan Litosol 0,40. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah berstruktur gembur dan mudah jenuh memiliki hubungan lebih kuat terhadap kejadian longsor (Musakkir dkk., 2024), terutama ketika berada pada lereng curam dengan curah hujan tinggi. Parameter NDVI menunjukkan nilai FR meningkat pada kelas vegetasi rapat dengan nilai maksimum 2,10. Pola ini menunjukkan bahwa vegetasi tidak selalu menurunkan kerawanan, karena pada wilayah tertentu vegetasi rapat berada pada lereng curam dan zona hujan tinggi, sehingga tetap berasosiasi dengan kejadian longsor. Pada parameter jarak dari jalan, nilai FR tertinggi 3,98 terdapat pada jarak >100 meter. Pola ini menunjukkan bahwa wilayah yang lebih jauh dari jaringan jalan tidak selalu memiliki tingkat kerawanan lebih rendah, karena area tersebut sering berada pada lereng alami yang belum mengalami penguatan struktur atau pengelolaan drainase. Sebaliknya, area sangat dekat dengan jalan menunjukkan nilai FR lebih rendah yang dapat berkaitan dengan keberadaan perkuatan lereng atau infrastruktur penahan. Parameter jarak dari sungai menunjukkan nilai FR tertinggi 1,48 pada jarak 0-100 meter yang berkaitan dengan erosi tebing dan pengaruh aliran air saat hujan lebat. Nilai FR menurun seiring bertambahnya jarak, namun pada beberapa kelas menengah masih terdapat nilai yang meningkat, yang menunjukkan bahwa pengaruh sungai tidak berdiri sendiri dan tetap berkaitan dengan topografi serta curah hujan di sekitarnya.

Analisis Kerawanan Longsor

Hasil pemetaan kerawanan tanah longsor di Kota Batu menunjukkan bahwa tingkat kerawanan terbagi ke dalam lima kelas, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Perbedaan tingkat kerawanan tersebut tersebar tidak merata karena kaitannya dengan variasi kondisi fisik wilayah serta karakteristik lingkungan di Kota Batu.



Gambar 5. Peta Kerawanan Tanah Longsor Kota Batu

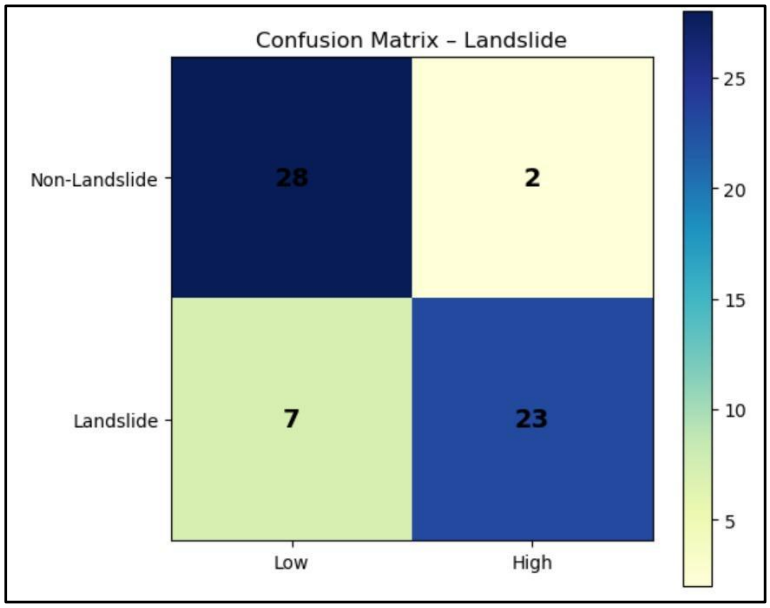
Berdasarkan hasil perhitungan *Frequency Ratio* (FR), terdapat empat faktor utama penyebab longsor di Kota Batu, yaitu kemiringan lereng, curah hujan, elevasi, dan jenis tanah. Kemiringan lereng memiliki keterkaitan sangat kuat terhadap kerawanan longsor. Nilai FR meningkat seiring bertambahnya kecuraman dan mencapai nilai tertinggi pada kelas lereng >45%. Kondisi ini berkaitan dengan dominasi gaya gravitasi pada lereng curam yang mempercepat pergerakan massa tanah saat jenuh air (Ekawati dkk., 2024). Curah hujan juga menunjukkan pengaruh besar. Wilayah dengan curah hujan >3000 mm/tahun memiliki nilai FR lebih tinggi dibandingkan kelas lainnya. Intensitas hujan tinggi meningkatkan kejenuhan tanah dan menurunkan kekuatan geser material lereng sehingga memicu longsor (Daud dkk., 2025). Elevasi menunjukkan keterkaitan serupa. Wilayah dengan elevasi >1500 mdpl memiliki nilai FR lebih tinggi dibandingkan wilayah lebih rendah. Karakter wilayah pegunungan yang memiliki lereng curam serta dinamika cuaca lebih ekstrem meningkatkan tekanan terhadap kestabilan lereng (Pangaribuan dkk., 2019). Jenis tanah juga berperan penting. Tanah Andosol memiliki nilai FR tertinggi karena sifatnya mudah menyerap air dan berstruktur lepas sehingga rentan erosi pada lereng curam dengan curah hujan tinggi (Agusman dkk., 2023). Tanah Litosol memiliki nilai FR lebih rendah karena sifatnya lebih padat dan relatif tahan terhadap erosi (Agusman dkk., 2023).

Hasil pemetaan menunjukkan variasi kerawanan longsor di tiga kecamatan di Kota Batu. Kecamatan Bumiaji di bagian utara memiliki tingkat kerawanan sangat rendah hingga sangat tinggi akibat topografi bergunung, elevasi di atas 1000 mdpl, serta curah hujan paling

tinggi di wilayah ini. Kombinasi lereng curam, tanah vulkanik yang mudah lapuk, dan aktivitas pertanian pada area miring meningkatkan kerentanan longsor. Kecamatan Batu di bagian tengah juga memiliki kerawanan sangat rendah hingga sangat tinggi yang berkaitan dengan aktivitas permukiman dan pertanian yang memodifikasi lahan dan menurunkan kestabilan lereng, terutama pada area pinggiran perbukitan. Kecamatan Junrejo di bagian selatan umumnya berada pada zona kerawanan sangat rendah hingga sedang karena topografi lebih landai dan elevasi lebih rendah dibandingkan dua kecamatan lainnya. Pola kerawanan menunjukkan perbedaan dari utara ke selatan, di mana Bumiaji memiliki kerawanan tertinggi, diikuti Kecamatan Batu, sedangkan Junrejo berada pada tingkat kerawanan paling rendah.

Hasil Uji Akurasi

Penelitian ini menggunakan uji akurasi koefisien Kappa untuk mengevaluasi kinerja model klasifikasi dalam mendeteksi titik longsor dan non-longsor, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil Akurasi Model Kappa. Koefisien Kappa digunakan untuk menilai tingkat kesesuaian antara hasil prediksi model dan kelas sebenarnya sekaligus mengoreksi kemungkinan kesepakatan yang terjadi secara acak, sehingga penilaian keandalan model tidak hanya bergantung pada akurasi keseluruhan. Hasil perhitungan menunjukkan nilai Kappa sebesar 0,7 yang termasuk kategori baik menurut interpretasi Foody (2002), serta akurasi keseluruhan sebesar 85% yang menunjukkan sebagian besar titik uji telah terklasifikasi secara tepat pada kelas longsor maupun non-longsor. Kesalahan prediksi masih ditemukan, terutama pada kasus *false negative*, yaitu kejadian longsor yang masuk ke dalam kelas kerawanan rendah. Kondisi tersebut berkaitan dengan karakteristik wilayah yang memiliki perbedaan kondisi fisik yang tidak terlalu menonjol atau keterbatasan data inventaris longsor pada tahap validasi. Keberadaan *false negative* menunjukkan bahwa pada lokasi tertentu model belum sepenuhnya mengenali potensi longsor secara tepat, meskipun nilai Kappa 0,7 dan akurasi keseluruhan 85% tetap menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi antara hasil klasifikasi kerawanan tanah longsor dan data kejadian longsor yang digunakan sebagai acuan. Pada beberapa lokasi, kejadian longsor tercatat berada pada kelas kerawanan rendah sehingga area tersebut tetap memerlukan verifikasi lapangan dan perhatian dalam penentuan prioritas penanganan di lapangan.



Gambar 6. Hasil Akurasi Model Kappa

D. KESIMPULAN

Analisis menunjukkan bahwa distribusi kerawanan longsor di dataran tinggi vulkanik berkaitan dengan interaksi kemiringan lereng, curah hujan, elevasi, serta jenis tanah dalam satu sistem lereng. Nilai Frequency Ratio (FR) memperlihatkan hubungan paling kuat pada lereng curam di elevasi tinggi dan wilayah bercurah hujan tinggi, sedangkan variasi penggunaan lahan bertindak sebagai faktor penguat pada kondisi tertentu. Peran faktor morfometrik dan hidrologi menunjukkan bahwa konfigurasi topografi serta pergerakan air menjadi pengontrol utama pergerakan massa tanah di wilayah vulkanik tropis. Pendekatan FR berbasis piksel resolusi 30 m menghitung kekuatan relatif tiap parameter secara kuantitatif sekaligus memperlihatkan perbedaan tingkat pengaruh antarparameter dalam satu sistem geomorfologi, sehingga keterkaitan karakter fisik lereng dan kejadian longsor dapat dinilai secara lebih terukur.

Penerapan metode Frequency Ratio berbasis Sistem Informasi Geografis menilai hubungan spasial antara parameter pengkondisi dan distribusi kejadian longsor tanpa pembobotan subjektif. Nilai Kappa sebesar 0,70 dan akurasi keseluruhan 85% menunjukkan tingkat ketelitian model yang baik dalam merepresentasikan pola kerawanan pada wilayah perbukitan, meskipun keterbatasan masih muncul pada deteksi kejadian di kelas kerawanan rendah yang berkaitan dengan resolusi data serta ketersediaan data longsor. Pola pengaruh faktor morfometrik dan hidrologi pada wilayah vulkanik tropis juga terlihat pada wilayah pegunungan lain yang memiliki lereng curam, curah hujan tinggi, serta material mudah

lapuk. Metode Frequency Ratio digunakan untuk menilai kekuatan pengaruh tiap parameter fisik terhadap sebaran longsor pada wilayah yang memiliki karakter geomorfologi sejenis.

E. DAFTAR PUSTAKA

Aeni, P., & Anwar, M. K. (2024). Hydrometeorological disaster: Challenges and mitigation in Indonesia. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, *5*(1). https://doi.org/10.59141/jist.v5i01.888

Agusman, R., Hayana, N. H., & Setiano, D. D. (2023). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk pemetaan tingkat rawan longsor menggunakan metode skoring dan overlay di Kabupaten Serang, Banten. *Jurnal Sains Geografi*, *1*(2), 1-10. https://doi.org/10.21009/JSG.v1i2.01

Akbar, W. N., Dwinagara, B., & Saptono, S. (2025). Analisis metode numerik pengaruh hujan terhadap kestabilan lereng tunggal timbunan di tambang terbuka batubara. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, Pusat Teknologi Mineral dan Batubara, Badan Geologi ESDM*. https://jurnal.tekmira.esdm.go.id/index.php/minerba/article/view/1599

Alalade, S., Seng, C., Chheun, D., & others. (2025). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression and K-means clustering algorithms: A case study in Inje, South Korea. *Environmental Earth Sciences*, 84, 369. https://doi.org/10.1007/s12665-025-12376-0

Arifin. (2006). Implementasi Penginderaan Jauh dan SIG untuk Inventarisasi Daerah Rawan Bencana Longsor (Provinsi Lampung). *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital*, 77-86. https://doi.org/10.30536/inderaja.v3i1.3181

Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Batu. (2023). *Data kejadian bencana Kota Batu [Laporan]*. Pemerintah Kota Batu.

Daud, A. Y., Syafri, S., & Jaya, B. (2025). Analisis Mitigasi Bencana Tanah Longsor Di Kecamatan Kalukku Kabupaten Mamuju. *Urban and Regional Studies Journal*, *7*(2), 190-203. https://doi.org/10.35965/ursj.v7i2.6043

Ehsan, M., Anees, M. T., Bakar, A. F. B. A., & Ahmed, A. (2025). A review of geological and triggering factors influencing landslide susceptibility: Artificial intelligence-based trends in mapping and prediction. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *22*, 17347–17382. https://doi.org/10.1007/s13762-025-06741-6

Ekawati, R., Wahda, S. K., & Adi, N. P. (2024). Mekanisme Terjadinya Tanah Longsor Desa Tieng Kejajar Analisis Interaksi Gaya Gravitasi dan Kestabilan Lereng. *Lamda: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA dan Aplikasinya*, *4*(3), 202-210. https://doi.org/10.58218/lambda.v4i3.952

Farandila, B., Muda, N. R. S., Fadilah, M. F., & Nabila, D. S. (2025). Analisa Daerah Rawan Bencana Longsor di Kota Batu Jawa Timur Berdasarkan GIS dan Penggunaan Sensor Berbasis IoT. *CENDEKIA: Jurnal Penelitian dan Pengkajian Ilmiah*, *2*(2), 226-239. https://doi.org/10.62335/cendekia.v2i2.938

Fareka, M. A., Sutarto, N. R., & Pamungkas, T. D. (2020). Analisis stabilitas lereng pada pelapukan batuan vulkanik di Cikalongwetan Kabupaten Bandung Barat. *GEA: Jurnal Geografi dan Pendidikan Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia*. https://ejournal.upi.edu/index.php/gea/article/view/22144

Foody, G.M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sens Environ.*, 80: 185-201. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4

Hemmati, F., & Alizadeh, A. (2025). Assessment of Slope Instability Hazard Potential Using Logistic Regression Model in the Shahrchay Watershed, Urmia. *Quantitative Geomorphology Journal*. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_214894_en.html

Hendrawan, V. S. A., Rahardjo, A. P., Mawandha, H. G., Aldrian, E., Muhari, A., & Komori, D. (2025). Past and future climate-related hazards in Indonesia. *EGUsphere*. https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-584

Kurniawan, R., Fitriani, H., Sutejo, Y., & Adhitya, B. B. (2025). The landslide risk level evaluation in South Sumatra Province. *International Conference on Engineering, Applied Science and Technology.*

Madani, I., Ekstyarin, I., Maghfiroh, L., Krisnaayu, R., Lestari, D., Karina, H. A., & Ferdiansyah, R. (2023). Analisis Spasial Tingkat Kerawanan Tanah Longsor di Kecamatan Wagir, Kabupaten Malang Melalui Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geosaintek*, *9*(2), 80-87.10.12962/j25023659.v9i2.17431

Musakkir, M., Tjoneng, A., & Syarif, M. (2024). MENENTUKAN NILAI ERODIBILITAS TANAH (K) PADA JENIS TANAH DI SUB DAS JENELATA. *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Peranian*, *5*(2), 203-213. https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v5i2.611

Muttaqin, I., & Febriani, P. (2024). Knowledge of disaster risk and perceptions of climate change among college students. *Jurnal Psikologi Teori dan Terapan*, *15*(2), 208–217. https://doi.org/10.26740/jptt.v15n02p208-217

Mutolif, M., Prabawa, S. E., & Yahya, F. (2024). Analisis pembobotan satuan kemampuan lahan kestabilan lereng dengan menggunakan metode skoring di Kota Batu. *EL-JUGHRAFIYAH: Jurnal Geografi dan Ilmu Sosial, UIN Sultan Syarif Kasim Riau.* https://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/jughrafia/article/view/37666

Nugroho, D. D., & Nugroho, H. (2020). Analisis Kerentanan Tanah Longsor Menggunakan Metode Frequency Ratio di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. *Geoid*, *16*(1), 8. https://doi.org/10.12962/j24423998.v16i1.7680

Pangaribuan, J., Sabri, L. M., & Amarrohman, F. J. (2019). Analisis Daerah Rawan Bencana Tanah Longsor Di Kabupaten Magelang Menggunakan Sistem Informasi Geografis Dengan Metode Standar Nasional Indonesia Dan Analytical Hierarchy Process. *Jurnal Geodesi Undip*, *8*(1), 288–297. DOI: https://doi.org/10.14710/jgundip.2019.22582

Pradhan, B., & Lee, S. (2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio

and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling & Software*, 747-759. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.10.016

Priatna, A., Surya, B., & Syafri, S. (2025). Analisis Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Potensi Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Tallo. *Urban and Regional Studies Journal, 7*(2), 113-125. https://doi.org/10.35965/ursj.v7i2.6060

Putra, I. K. A., & Wardika, I. G. (2021). Analisis kerentanan lahan terhadap potensi bencana tanah longsor pada wilayah Kaldera Batur Purba. *Media Komunikasi Geografi, Universitas Pendidikan Ganesha*. https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/MKG/article/view/36925

Riestu, I. M., & Hidayat, H. (2022). Landslide susceptibility mapping using random forest algorithm and its correlation with land use in Batu City, Jawa Timur. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,* 1127, 012017. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1127/1/012017

Saputra, G. T., Azizi, A., & Salim, M. A. (2024). Landslide vulnerability analysis Sarwodadi Village, Pejawaran District Banjarnegara Regency with scoring methods. *Calamity: A Journal of Disaster Technology and Engineering, 2(*1), 40–52. https://doi.org/10.61511/calamity.v2i1.2024.1833

Sitepu, F., Selintung, M., & Harianto, T. (2017). Pengaruh intensitas curah hujan dan kemiringan lereng terhadap erosi yang berpotensi longsor. *Jurnal Penelitian Enjiniring, Universitas Hasanuddin*. https://cot.unhas.ac.id/journals/index.php/jpe/article/view/29

Soma, A. S., & Kubota, T. (2017). The Performance of Land Use Change Causative Factor on Landslide Susceptibility Map in Upper Ujung-Loe Watersheds South Sulawesi, Indonesia. *Journal of Geomatics and Planning*, 157-170. https://doi.org/10.14710/geoplanning.4.2.157-170

Susanti, Pranatasari Dyah. Arina Miardini, Arina dan Harjadi Beny. 2017. Analisis Kerentanan Tanah Longsor Sebagai Dasar Mitigasi di Kabupaten Banjarnegara. *Journal of Watershed Management Research.* Vol. 1 No. 1: 49-59. https://doi.org/10.20886/jppdas.v1i1.2502.g2073

Yang S, Li D, Sun Y, She X (2024) Effect of landslide Spatial representation and raster resolution on the landslide susceptibility assessment. *Environ Earth Sci 83*(132). https://doi.org/10.1007/s12665-024-11442-3