

Analisis Potensi Longsor Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process pada Kecamatan Panekan, Kabupaten Magetan

Raja Susatio^{*1)}, Thema Arrisaldi²⁾, Egy Erzagian³⁾, Fathan Hanifi Mada Mahendra³⁾

¹⁾Ilmu Lingkungan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami No. 36 A, Surakarta, Jawa Tengah, 57126

²⁾ Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta

Jl. SWK (104) Lingkar Utara, Condongcatur, Depok Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55283

³⁾ Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman

Gedung A, Jl. Raya Mayjen Sungkono No.KM 5, Dusun 2, Blater, Kec. Kalimanah, Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah 53371

*susatio.raja@staff.uns.ac.id

Abstrak—BPBD Kabupaten Magetan menyatakan Kecamatan Panekan adalah salah satu kecamatan yang potensi tanah longsor perlu diwaspadai. Untuk menanggulanginya, diperlukan peta potensi tanah longsor. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun peta potensi longsor di Kecamatan Panekan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode AHP digunakan untuk menentukan bobot dan pengaruh relatif lima parameter yaitu kemiringan lereng, litologi, jarak terhadap struktur, jarak terhadap sungai, dan tata guna lahan. Analisis menunjukkan nilai bobot parameter kemiringan lereng sebesar 0,403, litologi sebesar 0,318, jarak terhadap struktur geologi sebesar 0,139, jarak terhadap sungai sebesar 0,084, dan tata guna lahan sebesar 0,056. Masing-masing parameter dianalisis dan dipetakan secara spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Hasil analisis menghasilkan peta analisis AHP dengan rentang nilai 0,99 hingga 4,31. Pembagian menggunakan metode perhitungan indeks mengacu pada Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012 dimana nilai akan dilakukan konversi melalui normalisasi berbasis skala 1. Analisis AHP menunjukkan sebagian besar wilayah Kecamatan Panekan berada pada zona potensi sedang bencana tanah longsor. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pemerintah daerah dan masyarakat untuk meningkatkan upaya mitigasi dan kesiapsiagaan bencana.

Kata Kunci: Manajemen Bencana, AHP, Magetan, GIS, Geologi Lingkungan.

Abstract – Magetan Regency Disaster Management Agency (BPBD) stated that Panekan Sub-District, is one of few areas with landslide potential that need to be monitored. To address this issue, a landslide susceptibility map is needed. This study aims to develop a landslide susceptibility map for Panekan Sub-district using the *Analytical Hierarchy Process* (AHP). AHP method was used to determine the weights and relative influence of five parameters, which are slope, lithology, distance from structures, distance from rivers, and land use. The weight scores for each parameter are as follows: slope gradient (0.403), lithology (0.318), distance from structures (0.139), distance from rivers (0.084), and land use (0.056). Each parameter was analyzed spatially using a Geographic Information System (GIS). The AHP analysis constructed a map with values ranging from 0,99 to 4,31. Zonation was classified using the index method based on Regulation of the Head of BNPB No. 2 of 2012 in which the values are converted through normalization on a scale of 1. AHP analysis found that most areas of the Panekan Sub-district are within the medium hazard zone. These findings are expected to serve as a basis for local governments and communities to strengthen disaster mitigation and preparedness efforts.

Keywords: Disaster Management, AHP, Magetan, GIS, Environmental Geology.

PENDAHULUAN

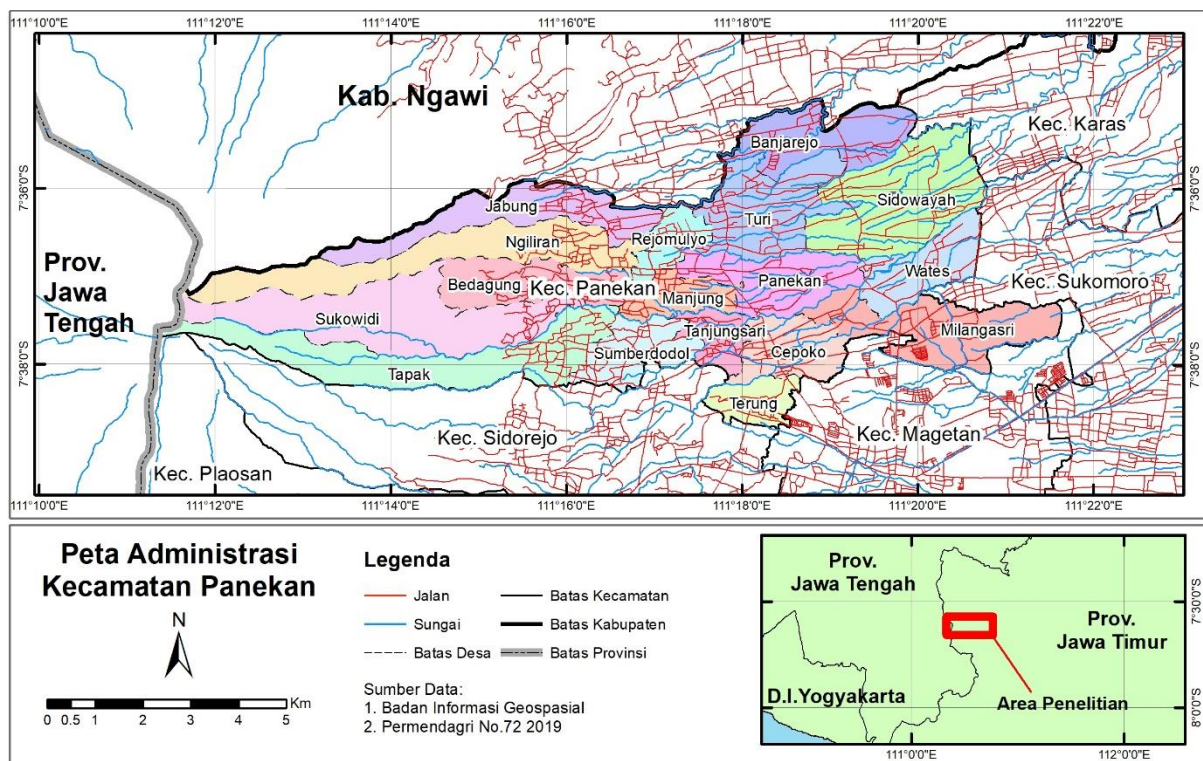
Tanah longsor adalah salah satu bencana yang paling sering ditemukan di Indonesia. Dalam kurun waktu 5 tahun (2011 – 2015), tercatat sebanyak 2.425 kejadian tanah longsor di berbagai wilayah Indonesia (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2016). Lebih dari 1.000 jiwa meninggal dalam kejadian tanah longsor tersebut. BNPB mencatat setidaknya terdapat lebih dari 14 juta jiwa yang terpapar risiko bencana tanah longsor. Secara umum, masyarakat yang terpapar risiko bencana tanah longsor tinggal di daerah pedesaan, bukan perkotaan. Salah satu daerah pedesaan yang berisiko adalah Kecamatan Panekan, Kabupaten Magetan.

Lokasi Kecamatan Panekan yang berada di sisi timur Gunung Lawu membuatnya memiliki kemiringan lereng

yang tinggi. Hal ini menjadi salah satu faktor mengapa Kecamatan Panekan menjadi salah satu kecamatan dengan tingkat paparan bencana tanah longsor yang tinggi. BPBD Kabupaten Magetan juga menyatakan Kecamatan Panekan adalah salah satu kecamatan yang potensi tanah longornya perlu diwaspadai (Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Magetan, 2021). Namun demikian, hingga kini belum ada peta kerawanan bencana tanah longsor Kecamatan Panekan yang dibuat. Oleh karena itu, penelitian ini akan melakukan kajian potensi longsor dengan menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Metode AHP dipilih karena memiliki kemampuan dalam menggabungkan data kualitatif dan kuantitatif. AHP juga cocok digunakan pada daerah yang sistem pencatatan atau inventarisasi bencana alamnya masih menerapkan sistem wilayah administrasi, bukan koordinat. Ruang lingkup yang digunakan pada penelitian ini adalah penggunaan 5 parameter, yaitu kemiringan lereng, litologi, jarak dari struktur, jarak dari sungai, dan tata guna lahan. Peta kerawanan merupakan salah satu komponen penting untuk mengidentifikasi daerah rawan bencana dan membantu pemerintah daerah dalam menentukan langkah mitigasi.

Lokasi dan Karakteristik Wilayah Penelitian

Daerah penelitian berada di Kecamatan Panekan, Kabupaten Magetan, Provinsi Jawa Timur. Kecamatan ini merupakan daerah yang berada di sisi timur lereng Gunung Lawu dengan ketinggian rata-rata 556 meter di atas permukaan laut. Luas Kecamatan Panekan adalah 64,23 km² (Badan Pusat Statistik Kabupaten Magetan, 2024) dan tersusun atas 16 desa (Gambar 1). Mengacu pada Peta Geologi Lembar Ponorogo (Sampurno & Samodra, 1997), daerah penelitian tersusun atas endapan lahar Lawu dan batuan gunung api Lawu. Endapan lahar lawu mengisi wilayah di kaki gunung api dengan material berupa pasir. Batuan gunung api Lawu tersusun atas tuf dan breksi gunung api bersisipan dengan lava dengan komposisi penyusun berupa andesit.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

METODE

Penelitian ini menggunakan data sekunder dan metode penginderaan jauh dalam akuisisi data. Parameter yang digunakan dalam pembuatan peta potensi longsor adalah kemiringan lereng, litologi, jarak dari kelurusan, jarak dari sungai, dan tata guna lahan. Peta kemiringan lereng dibuat dengan menggunakan data kontur yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial. Peta Litologi didapatkan dengan mengombinasikan data geologi regional dan tekstur permukaan tanah. Data kelurusan (*lineament*) diperoleh melalui delineasi manual berdasarkan peta

topografi. Data kelurusan yang dihasilkan akan digunakan sebagai dasar dalam pembuatan peta jarak dari kelurusan (*lineament*). Peta topografi juga digunakan dalam analisis aliran air sungai musiman yang kemudian menghasilkan peta jarak dari sungai. Data tata guna lahan didapatkan dari Badan Informasi Geospasial. Data dasar seperti jalan dan sungai didapatkan dari Badan Informasi Geospasial. Data batas desa didapatkan dari Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Metode ini memiliki tingkat reliabilitas yang tinggi dalam berbagai penelitian, termasuk bencana tanah longsor (Althuwaynee et al., 2014; Nahayo et al., 2019; Yalcin, 2008). AHP termasuk ke dalam metode multi criteria decision making (MCDM) dimana metode ini digunakan ketika pembobotan menggunakan beberapa parameter. Berbeda dengan frekuensi rasio atau weight of evidence yang menitikberatkan pada pembobotan absolut, AHP menggunakan pembobotan relatif antar parameter (hierarki). Kelebihan metode ini adalah dapat digunakan pada lokasi dengan keterjangkauan yang sulit atau pada daerah yang data gerakan tanahnya belum tertuang sebagai data spasial. Pembobotan relatif menggunakan metode AHP pada penelitian ini dituangkan pada tabel 1. Tabel 2 menunjukkan nilai yang telah dinormalisasi untuk mendapatkan nilai pembobotan masing-masing parameter.

Tabel 1. Matriks *Pairwise Comparison* menggunakan metode AHP

| | Kemiringan Lereng | Litologi | Jarak dari Struktur | Jarak dari Sungai | Tata Guna lahan |
|---------------------|-------------------|----------|---------------------|-------------------|-----------------|
| Kemiringan Lereng | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Litologi | 1/2 | 1 | 3 | 5 | 5 |
| Jarak dari Struktur | 1/3 | 1/3 | 1 | 2 | 3 |
| Jarak dari Sungai | 1/4 | 1/5 | 1/1 | 1 | 2 |
| Tata Guna Lahan | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/2 | 1 |
| Eigenvalue: 5,141 | | | | | |

Tabel 2. Skor Pembobotan Masing-Masing Parameter

| Parameter | Skor Pembobotan |
|---------------------|-----------------|
| Kemiringan Lereng | 0,403 |
| Litologi | 0,318 |
| Jarak dari Struktur | 0,139 |
| Jarak dari Sungai | 0,084 |
| Tata Guna Lahan | 0,056 |

Karena bersifat relatif, metode AHP bersifat *aksioma reciprocal* (Budianta, 2021). Contoh dari sifat *reciprocal* adalah ketika kemiringan dianggap 3 kali lebih penting dari jarak dari struktur, maka nilai pembobotan jarak dari struktur terhadap kemiringan lereng adalah 1/3. Tahap selanjutnya adalah menentukan nilai rasio konsistensi (CR). Nilai rasio konsisten yang diharapkan adalah sekecil mungkin. Semakin kecil nilai rasio konsistensi yang dihasilkan menunjukkan hierarkinya konsisten yang mengindikasikan konsisten proses pembobotannya cukup obyektif. Nilai konsistensi rasio didapatkan dengan menggunakan persamaan (1) (Saaty, 2008).

$$CR = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \bigg/ RI \quad (1)$$

Keterangan:

CR : Rasio konsistensi

λ : Nilai Eigen

n : Jumlah Parameter

CI : Rata-rata nilai indeks konsistensi (bergantung pada urutan matriks)

Perhitungan nilai konsistensi rasio konsistensi pada tabel 1 menghasilkan nilai 0,031 atau 3,1%. Sebuah pembobotan AHP dianggap bisa digunakan jika nilainya kurang dari 0,10 atau 10%.

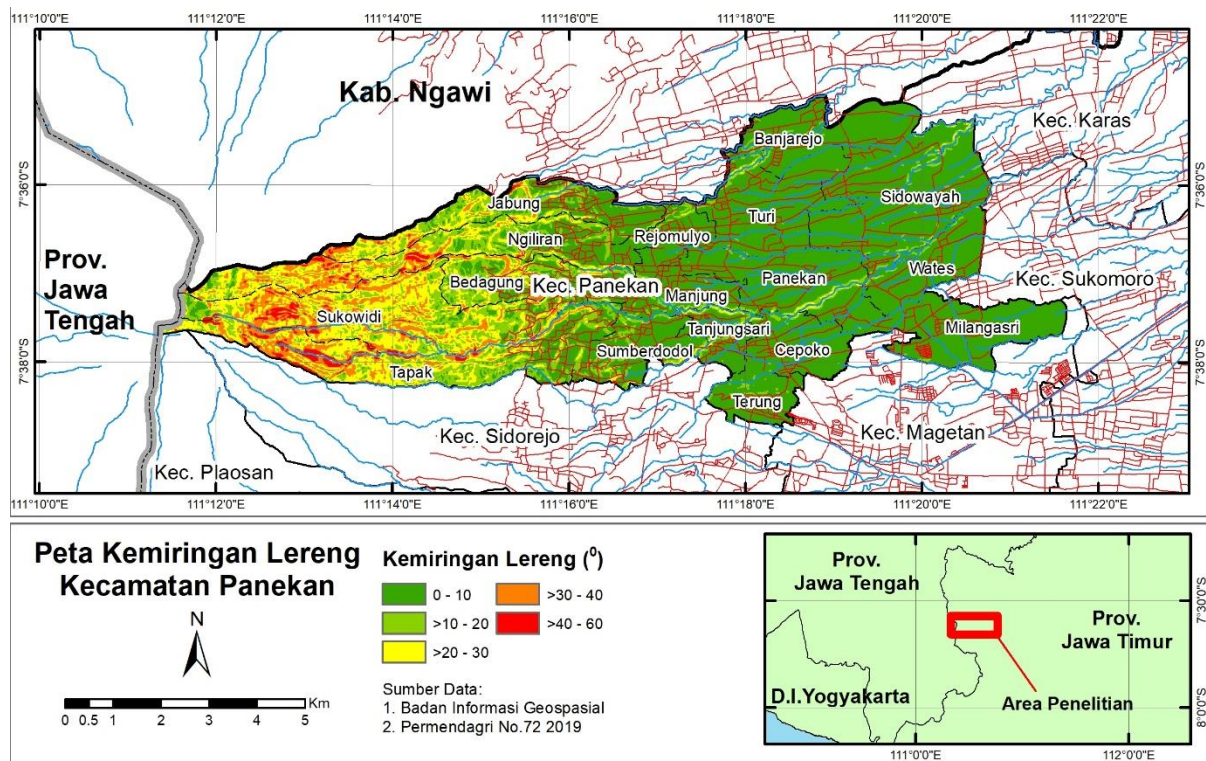
Perhitungan terakhir adalah perhitungan potensi tanah longsor. Hasil skor masing-masing parameter akan dikalikan dengan pembobotan hasil AHP dan ditambahkan nilainya seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2).

$$\begin{aligned} \text{Potensi Longsor} = & (0.403 \times \text{Skor Kemiringan Lereng}) + (0.318 \times \text{Skor Litologi}) + \\ & (0.139 \times \text{Skor Jarak dari Struktur}) + (0.084 \times \text{Skor Jarak dari Sungai}) + \\ & (0.056 \times \text{Skor Tata Guna Lahan}) \end{aligned} \quad (2)$$

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng adalah parameter utama yang digunakan ketika membuat peta potensi bencana tanah longsor. Peta potensi bencana tanah longsor yang hanya menggunakan kemiringan lereng jauh lebih akurat jika dibandingkan peta potensi bencana tanah longsor yang hanya menggunakan parameter geologi atau parameter lainnya (Marchesini et al., 2014). Gambar 2 menunjukkan persebaran kemiringan lereng pada lokasi penelitian yang dibagi menjadi lima kelas dengan interval sebesar 10 derajat. Tabel 3 menunjukkan nilai dan skor masing-masing kelas kemiringan lereng. Kelas dengan nilai pembobotan adalah kelas kemiringan lereng >30 – 40 derajat. Hal ini dikarenakan rasio kemungkinan kejadian tanah longsor paling banyak terjadi pada kelas tersebut (Hadmoko et al., 2017). Kelas paling besar kedua adalah >40 – 50. Setelah itu, nilai pembobotan relatif urut dari yang paling datar dengan nilai pembobotan paling rendah.



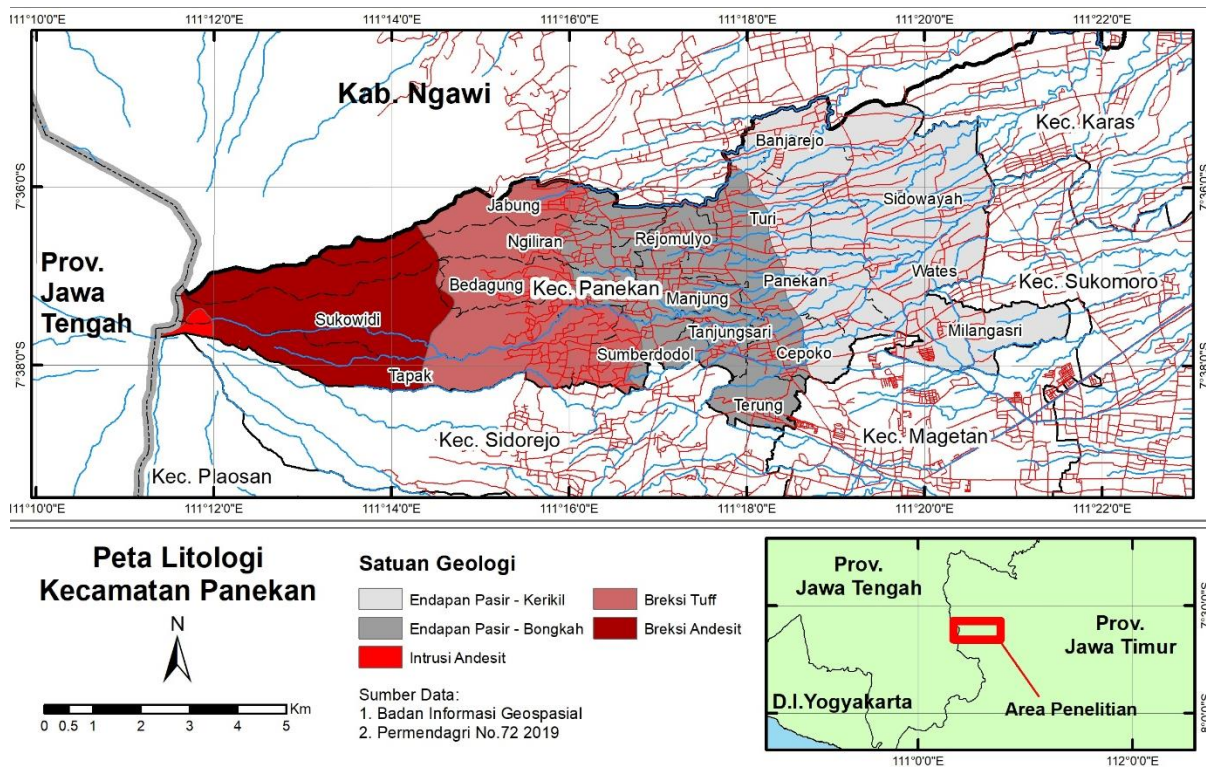
Gambar 2. Peta Kemiringan Lereng Lokasi Penelitian

Tabel 3. Nilai Pembobotan Kemiringan Lereng

| Kemiringan Lereng (°) | Nilai | Bobot | Skor |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 0 – 10 | 1 | 0,403 | 0,403 |
| >10 – 20 | 2 | | 0,806 |
| >20 – 30 | 3 | | 1,209 |
| >30 – 40 | 5 | | 2,015 |
| >40 – 50 | 4 | | 1,612 |

Litologi

Litologi memiliki peran yang penting dalam penentuan potensi tanah longsor dikarenakan sifat fisiknya seperti kekuatan, ketahanan terhadap pelapukan, dan permeabilitas (Yu et al., 2021). Daerah dengan batuan yang lebih kompak dan keras akan memiliki potensi tanah longsor yang lebih rendah. Pada area penelitian, ditemukan lima litologi, yaitu endapan pasir – kerikil, endapan pasir – bongkah, breksi tuff, breksi andesit, dan intrusi andesit. Pemberian nilai pembobotan pada lokasi didasarkan pada sifat keteknikannya (Tabel 4.). Berdasarkan sifat keteknikannya, intrusi andesit memiliki skor potensi longsor paling rendah. Hal ini dikarenakan satuan tersebut merupakan batuan yang paling kompak dan resistan terhadap pelapukan. Breksi andesit dan breksi tuf memiliki skor sedang karena meskipun kompak, resistansi satuan ini lebih rendah sehingga lebih mudah lapuk karena ukuran butir yang tidak seragam. Endapan memiliki skor paling tinggi hal ini dikarenakan endapan tidak memiliki gaya kohesi sekuat breksi dan intrusi membuatnya paling berpotensi longsor.



Gambar 3. Peta Litologi Lokasi Penelitian

Tabel 4. Nilai Pembobotan Litologi

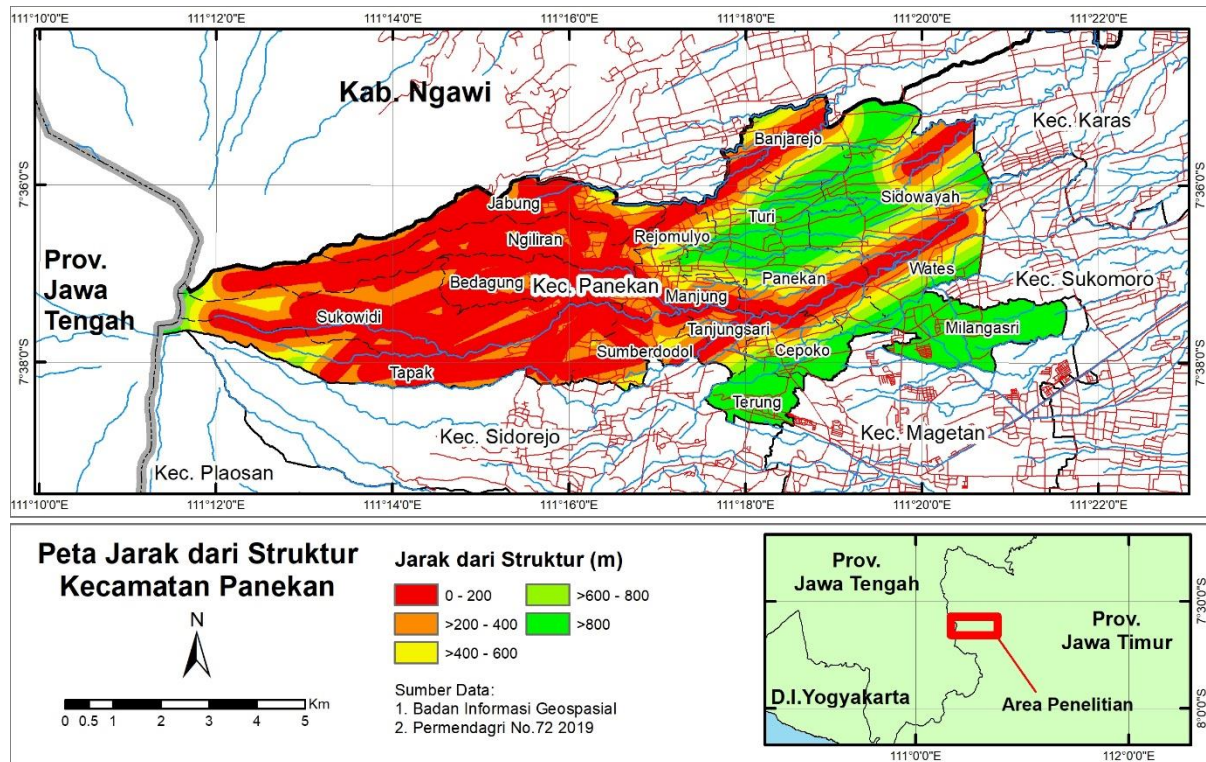
| Litologi | Nilai | Bobot | Skor |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| Endapan Pasir – Kerikil | 3 | 0,318 | 0,954 |
| Endapan Pasir – Bongkah | 3 | | 0,954 |
| Intrusi Andesit | 1 | | 0,318 |
| Breksi Tuff | 2 | | 0,636 |
| Breksi Andesit | 2 | | 0,636 |

Jarak dari Struktur

Struktur geologi selalu menjadi parameter yang digunakan ketika membuat peta potensi longsor. Hal ini dikarenakan struktur geologi dapat membuat batuan retak atau hancur yang mengakibatkan kekuatannya berkurang. Semakin banyak struktur ditemukan, umumnya semakin besar potensi suatu lokasi terhadap bencana longsor (Sisay et al., 2024). Menurut geologi regional lembar Ponorogo (Sampurno & Samodra, 1997), tidak terdapat struktur geologi regional pada daerah penelitian. Oleh karena itu, struktur geologi pada penelitian ini merupakan hasil analisis. Peta struktur yang dihasilkan diolah kembali untuk mendapatkan peta jarak dari struktur

(Gambar 4).

Sebagian besar bencana tanah longsor terjadi pada jarak kurang dari 1.000 meter dari struktur (Bloom et al., 2022). Oleh karena itu, peneliti memutuskan untuk membagi angka 1000 meter menjadi 5 kelas, yaitu 200 meter (Tabel 5). Tabel 5 menunjukkan nilai pembobotan jarak dari struktur pada lokasi penelitian. Dan mengacu pada Bloom et al. (2022), semakin dekat jarak dari struktur, semakin tinggi juga nilai skornya.



Gambar 4. Peta Jarak dari Struktur Lokasi Penelitian

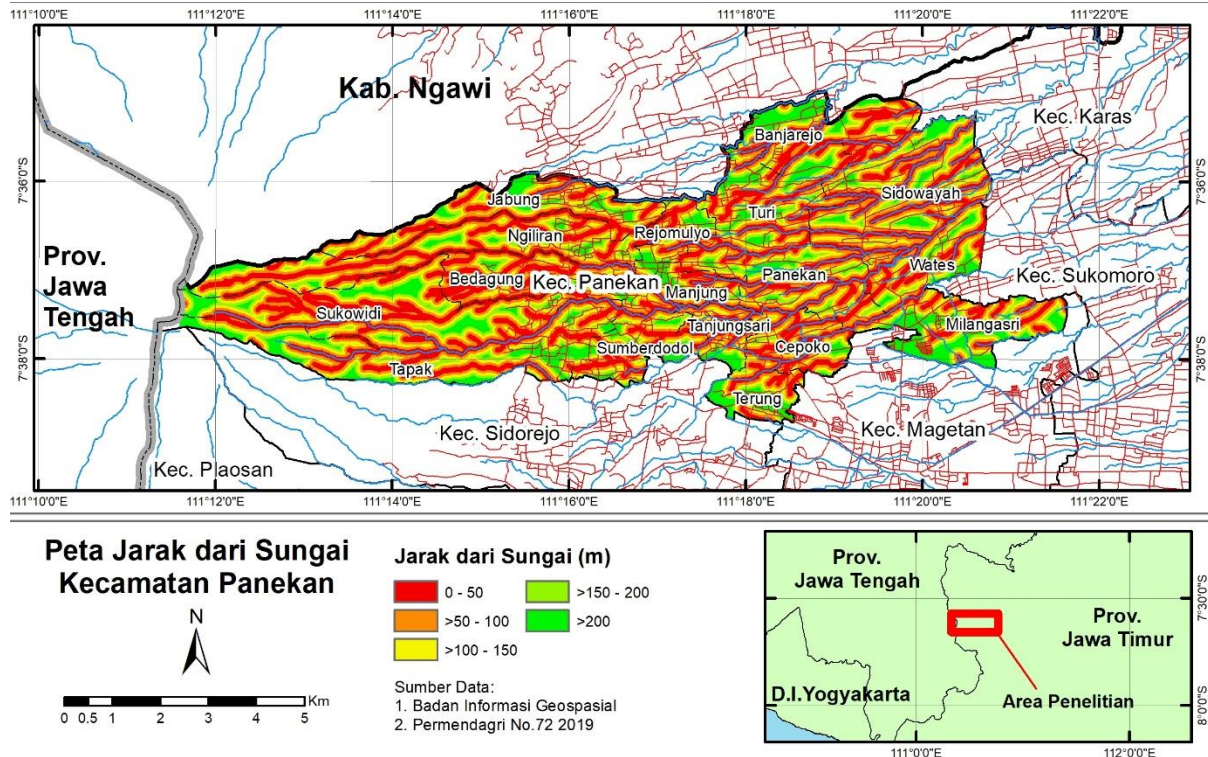
Tabel 5. Nilai Pembobotan Jarak dari Sturktur

| Klasifikasi | Nilai | Bobot | Skor |
|-------------|-------|-------|-------|
| 0 – 200 | 5 | 0,139 | 0.695 |
| >200 – 400 | 4 | | 0.556 |
| >400 – 600 | 3 | | 0.417 |
| >600 – 800 | 2 | | 0.278 |
| >800 | 1 | | 0.139 |

Jarak dari Sungai

Keberadaan sungai menjadi salah satu parameter yang sering dipertimbangkan dalam membuat peta potensi longsor. Hal ini dikarenakan aliran air permukaan berhubungan dengan tingkat erosi dan kekuatan tanah. Semakin tinggi tingkat erosi, semakin lemah juga kekuatan material. Selain itu, semakin dekat dengan sungai, tanah diperkirakan akan semakin basah dan mengurangi gaya kohesinya. Dua hal itu akan membuat potensi longsor semakin tinggi (Samodra et al., 2017). Data yang dirilis oleh Badan Informasi Geospasial tidak mencakup sungai musiman di kawasan pegunungan. Oleh karena itu, data kontur digunakan untuk melakukan analisis sungai musiman. Jarak dari sungai menggunakan interval kelas 50 meter dikarenakan wilayah lokasi yang tidak terlalu luas (Çellek, 2023) (Gambar 5).

Mengacu pada Çellek (2023), semakin dekat jarak dari sungai, maka potensi longsor semakin tinggi. Oleh karena itu, skor pembobotan paling tinggi berada pada jarak 0 – 50 meter dari sungai dan skor paling rendah adalah wilayah dengan jarak lebih dari 200 meter dari sungai (Tabel 6).



Gambar 5. Peta Jarak dari Sungai Lokasi Penelitian

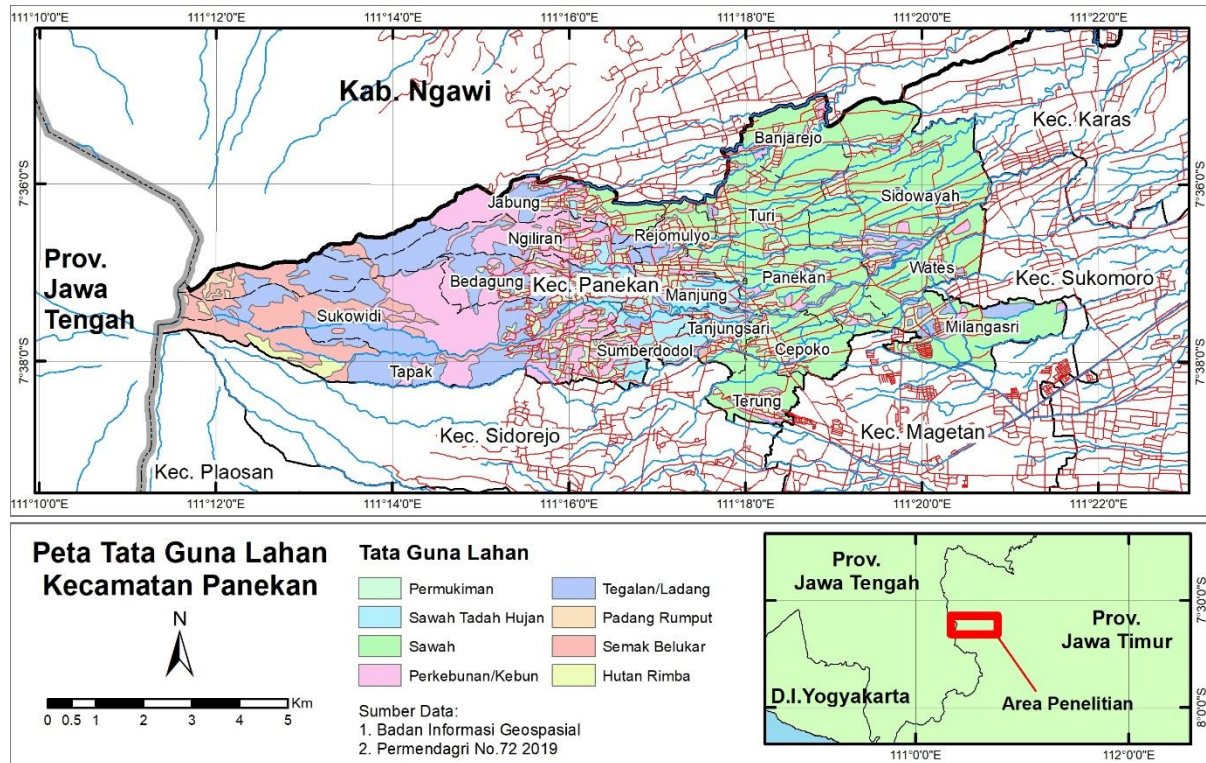
Tabel 6. Nilai Pembobotan Jarak dari Sungai

| Klasifikasi | Nilai | Bobot | Skor |
|-------------|-------|-------|-------|
| 0 – 50 | 5 | 0,084 | 0.42 |
| >50 – 100 | 4 | | 0.336 |
| >100 – 150 | 3 | | 0.252 |
| >150 – 200 | 2 | | 0.168 |
| >200 | 1 | | 0.084 |

Tata Guna Lahan

Gambar 6 menunjukkan tata guna lahan lokasi penelitian yang tersusun atas Permukiman, Sawah, Sawah Tadah Hujan, Perkebunan/Kebun, Ladang/Tegalan, Padang Rumput, Semak Belukar, dan Hutan. Tata guna lahan adalah parameter potensi longsor dikarenakan tata guna lahan yang berbeda akan mempengaruhi kondisi fisik di alam juga. Beberapa hal yang akan terpengaruh dari perbedaan tata guna lahan adalah berat yang ditopang lahan, kestabilan lahan, tingkat erosi, atau infiltrasi air hujan (Li et al., 2024).

Tabel 7 menunjukkan skor pembobotan terhadap potensi longsor. Pembobotan mengacu pada penelitian terdahulu (Hadmoko et al., 2017) dimana lokasi yang paling sering ditemui longsor adalah kebun kering seperti perkebunan/kebun dan ladang/tegalan sehingga memiliki nilai paling tinggi, yaitu 4. Setelah perkebunan/kebun kering, sawah menjadi tata guna lahan kedua dengan kejadian longsor paling tinggi. Hal ini menjadi dasar pemberian skor untuk sawah adalah 3. Pemukiman memiliki kejadian relatif rendah dibanding sawah dan perkebunan, tapi masih relatif tinggi dibanding lahan terbuka sehingga mendapat nilai 2. Bobot nilai 1 diberikan untuk tata guna lahan terbuka seperti semak belukar, padang rumput, dan hutan karena frekuensi longsor yang paling jarang.



Gambar 6. Peta Tata Guna Lahan Lokasi Penelitian

Tabel 7. Nilai Pembobotan Tata Guna Lahan

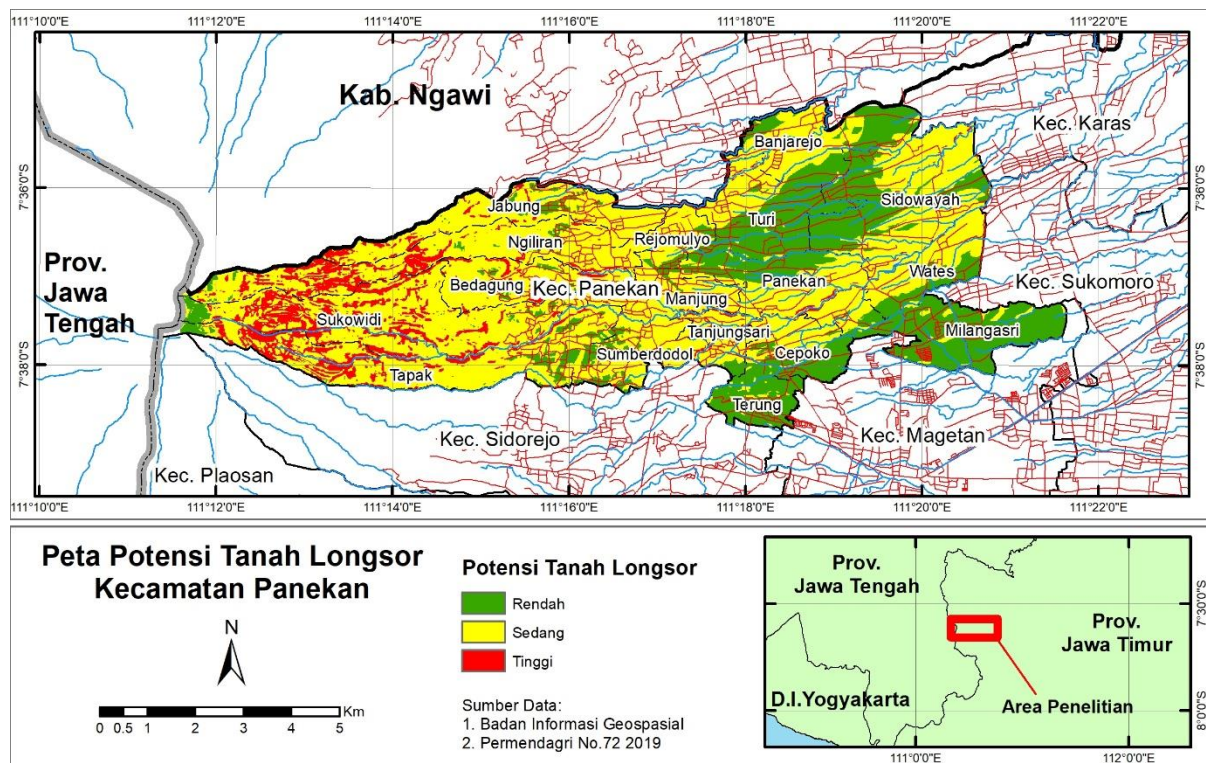
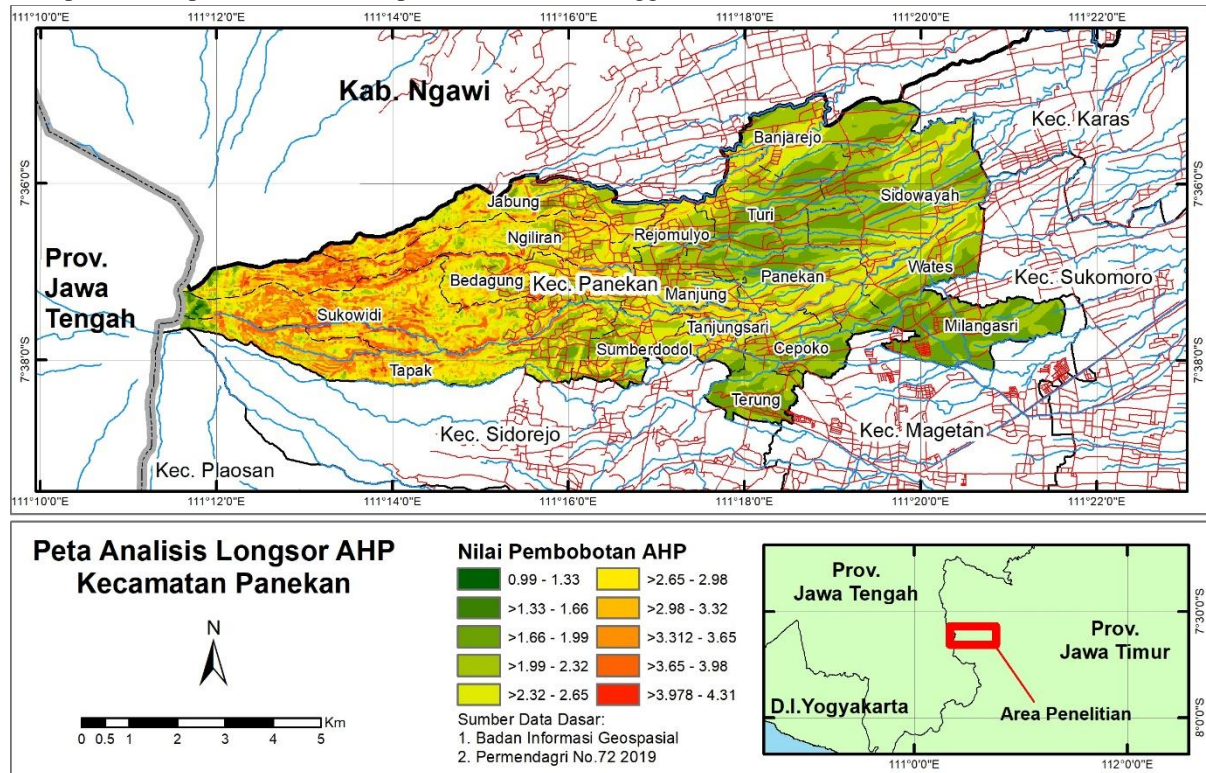
| Klasifikasi | Nilai | Bobot | Skor |
|-------------------|-------|-------|-------|
| Permukiman | 2 | 0,056 | 0,112 |
| Sawah Tadah Hujan | 3 | | 0,168 |
| Sawah | 3 | | 0,168 |
| Perkebunan/Kebun | 4 | | 0,224 |
| Tegalan/Ladang | 4 | | 0,224 |
| Padang Rumput | 1 | | 0,056 |
| Semak Belukar | 1 | | 0,056 |
| Hutan Rimba | 1 | | 0,056 |

Peta Potensi Bahaya Tanah Longsor

Peta-peta yang dihasilkan dihitung dengan menggunakan Persamaan (2) untuk menghasilkan peta analisis AHP. Peta analisis AHP yang dihasilkan memiliki rentang nilai 0,99 – 4,31 (Gambar 7). Semakin tinggi nilai hasil analisis, maka semakin tinggi pula potensi lokasi tersebut mengalami bencana tanah longsor, begitu juga sebaliknya.

Peta analisis AHP diklasifikasikan ulang untuk mendapatkan zonasi potensi longsor kualitatif. Nilai AHP akan diubah menjadi indeks dimana nilai paling tinggi adalah 1 dan nilai paling rendah adalah 0. Hasil perubahan nilai menjadi indeks akan dibagi 3 dengan area potensi rendah adalah skor 0 – 0,33, area potensi sedang dengan skor >0,33 – 0,66, dan area potensi tinggi dengan skor >0,66 – 1 (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2012). Seperti yang telah disampaikan pada pendahuluan, metode AHP dipilih dikarenakan inventarisasi masih berdasarkan wilayah administratif, bukan koordinat. Hal ini menjadi batasan penelitian yang mengakibatkan tidak bisa dilakukannya evaluasi keakuratan peta bahaya tanah longsor. Dari hasil analisis, terlihat sebagian besar wilayah Kecamatan Panekan berada pada zona potensi sedang bencana tanah longsor (64%). Luas zona potensi tinggi bencana tanah longsor relatif rendah dengan persentase sebesar 8% yang bisa ditemukan pada Desa Sukowidi, Tapak, Ngiliran, dan Jabung. Zona potensi rendah bencana tanah longsor mencakup sebesar 28% area penelitian dan dapat ditemukan pada Desa Desa Terung, Desa Milangsari, Desa Turi, sisi utara Desa Panekan,

dan sisi selatan Desa Cepoko. Dengan zona potensi sedang tanah longsor mendominasi, pemerintah dan rakyat harus meningkatkan kesiapsiagaan. Beberapa langkah yang bisa diambil adalah pemasangan sistem peringatan dini, pembuatan peta evakuasi, atau pembentukan desa tangguh bencana (destana).



PENUTUP

Berdasarkan analisis AHP yang dilakukan pada Kecamatan Panekan, ditemukan sebagian besar wilayahnya berada pada zona potensi sedang bahaya tanah longsor. Parameter utama yang menjadi faktor utama potensi bencana tanah longsor pada kecamatan Panekan adalah Kemiringan Lereng. Kondisi potensi longsor sedang yang mendominasi Kecamatan Panekan membuat pemerintah dan masyarakat harus meningkatkan kesiapsiagaan seperti pemasangan sistem peringatan dini, pembuatan peta evakuasi, atau pendirian desa tangguh bencana. Penelitian lanjutan disarankan untuk menggunakan data primer serta metode statistik guna meningkatkan akurasi peta potensi longsor. Selain itu, validasi dengan data kejadian longsor historis akan memperkuat hasil analisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Althuwaynee, O. F., Pradhan, B., Park, H.-J., & Lee, J. H. (2014). A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *CATENA*, 114, 21–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.10.011>
- Badan Informasi Geospasial. (2022). *RBI per Wilayah*. <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh/rbi-wilayah>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2012). *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Tentang Daftar Isi Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko 2*.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2016). Risiko Bencana Indonesia. In *International Journal of Disaster Risk Science*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana Indonesia.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Magetan. (2021). *Apel Gelar Pasukan dan Peralatan sebagai Antisipasi Hadapi Bencana Alam Tahun 2021 Kabupaten Magetan*. <https://bpbdbd.magetan.go.id/apel-gelar-pasukan-dan-peralatan-sebagai-antisipasi-hadapi-bencana-alam-tahun-2021-kabupaten-magetan/>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Magetan. (2024). *Kecamatan Panekan Dalam Angka*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Magetan.
- Bloom, C. K., Howell, A., Stahl, T., Massey, C., & Singeisen, C. (2022). The influence of off-fault deformation zones on the near-fault distribution of coseismic landslides. *Geology*, 50(3), 272–277. <https://doi.org/10.1130/G49429.1>
- Budianta, W. (2021). Pemetaan Kawasan Rawan Tanah Longsor di Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (Indonesian Journal of Community Engagement)*, 6(2), 68. <https://doi.org/10.22146/jpkm.45637>
- Çellek, S. (2023). Linear Parameters Causing Landslides: A Case Study of Distance to the Road, Fault, Drainage. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 6(2), 94–113. <https://doi.org/10.34088/kojose.1117817>
- Hadmoko, D. S., Lavigne, F., Sartohadi, J., Gomez, C., & Daryono, D. (2017). Spatio-Temporal Distribution of Landslides in Java and the Triggering Factors. *Forum Geografi*, 31(1), 1. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v31i1.3790>
- Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia. (2019). *Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 72 Tahun 2019 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 137 Tahun 2017 tentang Konde dan Tata Wilayah Administrasi Pemerintahan*. Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia.
- Li, P., Wang, H., Li, H., Ni, Z., Deng, H., Sui, H., & Xu, G. (2024). Refined Landslide Susceptibility Mapping Considering Land Use Changes and InSAR Deformation: A Case Study of Yulin City, Guangxi. In *Remote Sensing* (Vol. 16, Issue 16). <https://doi.org/10.3390/rs16163016>
- Marchesini, I., Ardizzone, F., Alvioli, M., Rossi, M., & Guzzetti, F. (2014). Non-susceptible landslide areas in Italy and in the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(8), 2215–2231. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-2215-2014>
- Nahayo, L., Kalisa, E., Maniragaba, A., & Nshimiyimana, F. X. (2019). Comparison of analytical hierarchy process and certain factor models in landslide susceptibility mapping in Rwanda. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(3), 885–895. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00575-1>
- Saaty, T. (2008). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *Int. J. Services Sciences Int. J. Services Sciences*, 1, 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Samodra, G., Chen, G., Sartohadi, J., & Kasama, K. (2017). Comparing data-driven landslide susceptibility models based on participatory landslide inventory mapping in Purwosari area, Yogyakarta, Java.

- Environmental Earth Sciences*, 76(4), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6475-2>
- Sampurno, & Samodra, H. (1997). *Peta Geologi Lembar Ponorogo, Jawa* (2nd ed.). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sisay, T., Tesfaye, G., Jothimani, M., Reda, T. M., & Tadese, A. (2024). Landslide susceptibility mapping using combined geospatial, FR and AHP models: a case study from Ethiopia's highlands. *Discover Sustainability*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00730-4>
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *CATENA*, 72(1), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.01.003>
- Yu, X., Zhang, K., Song, Y., Jiang, W., & Zhou, J. (2021). Study on landslide susceptibility mapping based on rock–soil characteristic factors. *Scientific Reports*, 11(1), 1–27. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94936-5>