

ZONA KERENTANAN LONGSOR MENGGUNAKAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) DI DESA BANJARSARI DAN SEKITARNYA, KALIBAWANG, KULON PROGO, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Efrat N. Nainggolan¹, Muhamad Rio²

¹Magister Teknik Geologi FITB ITB, ²PT Anugerah Karya Tambang
e-mail :¹22021013@mahasiswa.itb.ac.id, ²muhamadrio20@gmail.com

ABSTRACT

Kalibawang area has 20 landslides. Therefore, a landslide vulnerability map with a scale of 1:25,000 is needed for appropriate mitigation measures and as a basis for strategic planning for the future using the AHP method. Based on the AHP method, several parameters such as slope conditions, lithology, land use, geological structure, rainfall intensity, earthquakes are factors that influence the occurrence of landslides. The purpose of this research is to identify areas that are prone to landslides in the Banjarsari area and its surroundings using this AHP method. The research location is at coordinates 110°12'30"-110°15'00" east longitude and 07°40'00"-07°42'30" latitude, located in Banjarsari Village, Kalibawang District, Kulon Progo Regency, Special Region of Yogyakarta. The research location has a moderate-strong wavy morphology with a relatively steep slope with a lithology composed of andesite breccia, calcarenite, reef limestones and alluvial deposits with a fairly high level of rock weathering, resulting a fairly thick weathered parent rock accompanied by poor land use. land on it. The high landslide vulnerability zone in the research area is mostly in the west, southwest to northeast with an area of + 35.1% of the research area. The moderate landslide vulnerability zone in the research area is mostly in the south, north and east with an area of + 61.4% of the research area. Low landslide vulnerability zone in the eastern part of the research area with an area of + 3.5% of the research area.

Keywords : Analytical Hierarchy Process, Banjarsari, slope, landslide vulnerability

INTISARI

Daerah Kalibawang terdapat 20 kejadian longsor. Oleh karena itu, peta zonasi tingkat kerentanan longsor dengan skala 1:25.000 diperlukan untuk langkah-langkah mitigasi yang tepat dan sebagai dasar perencanaan strategis untuk masa depan menggunakan metode AHP. Berdasarkan metode AHP, beberapa parameter seperti kondisi lereng, litologi, tutupan lahan, struktur geologi, curah hujan, gempabumi merupakan faktor yang berpengaruh dalam terjadinya longsor. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi daerah yang rentan longsor di wilayah Banjarsari dan sekitarnya dengan menggunakan metode AHP. Lokasi penelitian berada pada koordinat 110°12'30"-110°15'00" BT dan 07°40'00"-7°42'30" LS, terletak di Desa Banjarsari, Kecamatan Kalibawang, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi penelitian mempunyai morfologi bergelombang sedang-kuat dengan kemiringan lereng yang tergolong curam dengan litologi yang tersusun atas breksi andesit, kalkarenit dan batugamping terumbu dan endapan alluvial dengan tingkat pelapukan batuan yang cukup tinggi sehingga menghasilkan lapukan batuan induk yang cukup tebal yang disertai kurang baiknya tata guna lahan di atasnya. Zona kerentanan longsor tinggi di daerah penelitian sebagian besar di bagian barat, baratdaya menuju timur laut dengan luas area $\pm 35,1$ % dari luasan daerah penelitian. Zona kerentanan longsor sedang di daerah penelitian sebagian besar di bagian selatan, utara dan di bagian timur dengan luasan area $\pm 61,4$ % dari luasan daerah penelitian. Zona kerentanan longsor rendah di bagian timur daerah penelitian dengan luasan area $\pm 3,5$ % dari luasan daerah penelitian.

Kata kunci : Analytical Hierarchy Process, Banjarsari, kemiringan lereng, kerentanan longsor.

1. PENDAHULUAN

Menurut Cruden, 1991, longsor adalah gerakan menuruni bukit massa batuan, tanah atau puing-puing, dan material yang membentuk lereng (campuran tanah dan batuan). Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, seringkali menimbulkan kerusakan dan kerugian yang cukup besar baik dari segi harta benda, sarana dan prasarana, maupun nyawa manusia. Selain itu, kondisi alam Indonesia yang sangat

dominan dalam faktor geologi, topografi dan iklim, membuat beberapa wilayah Indonesia rawan longsor. Karena iklim tropis Indonesia, tingkat pelapukan kimia dan fisik sangat tinggi, membentuk tanah yang sangat tebal.

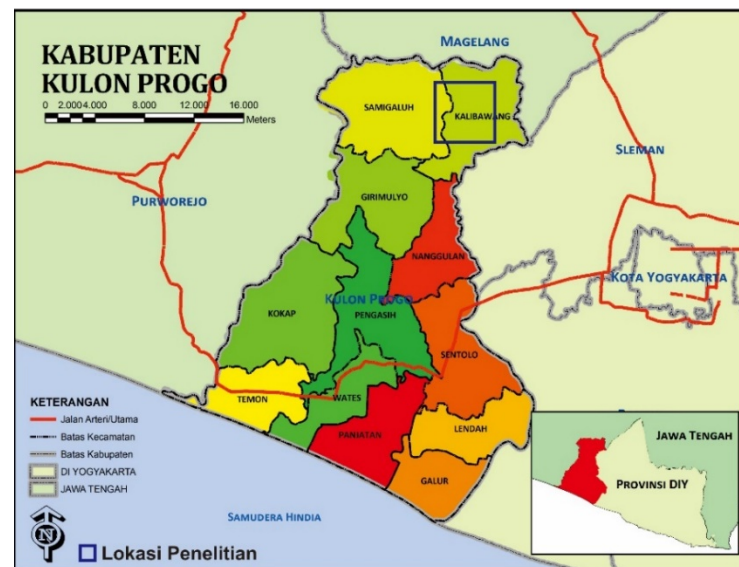
Data statistik dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Kulon Progo tahun 2021 menunjukkan bahwa kejadian longsor mencapai 155 kejadian dengan upaya mitigasi yang belum maksimal. Daerah Kalibawang terdapat 20 kejadian longsor. Jika dilihat dari rekapitulasi data longsor sebelumnya, daerah ini mengalami peningkatan kejadian longsor. Oleh karena itu, peta zonasi tingkat kerentanan longsor dengan skala 1:25.000 diperlukan untuk langkah-langkah mitigasi yang tepat dan sebagai dasar perencanaan strategis untuk masa depan menggunakan metode *analytical hierarchy process*.

Metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) pertama kali dikembangkan oleh Thomas L. Saaty di Worston School pada tahun 1970-an. Metode AHP merupakan salah satu metode yang digunakan dalam sistem pengambilan keputusan. Prinsip-prinsip penting saat menggunakan metode ini adalah dekomposisi, perbandingan berpasangan (*comparative judgement*), sintesa prioritas (*synthesis of priority*) dan konsistensi logis (*logical consistency*). Metode AHP adalah metode yang digunakan untuk membuat peta zona bahaya longsor menggunakan analisis spasial sistem informasi geografis (SIG) dari parameter pembobotan. Berdasarkan metode AHP, beberapa parameter seperti kondisi lereng, litologi, tata guna lahan, struktur geologi, curah hujan, dan gempa merupakan faktor yang mempengaruhi terjadinya longsor.

AHP adalah metode yang mempertimbangkan banyak faktor objektif dan subjektif ketika membuat peringkat alternatif. Selain itu, AHP dapat mendukung proses pengambilan keputusan menggunakan model pengambilan keputusan hierarkis. Metode AHP ini menggunakan prinsip matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*) untuk menghasilkan bobot relatif antara kriteria dan alternatif. *Eigenvalue* digunakan untuk mengakses bobot akhir kriteria dan mengukur tingkat konsistensi yang dicapai oleh indeks konsistensi (Vahidnia dkk., 2009; Saaty, 2008; Eldrandaly, 2013). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi daerah yang rentan longsor di wilayah Banjarsari dan sekitarnya dengan menggunakan metode AHP ini.

Lokasi penelitian berada pada koordinat 110°12'30"-110°15'00" BT dan 07°40'00"-7°42'30" LS, terletak di Desa Banjarsari, Kecamatan Kalibawang, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta (Gambar 1). Letak daerah penelitian yang berada di daerah mempunyai morfologi bergelombang sedang-kuat dengan kemiringan lereng dominan >16° yang tergolong curam dengan litologi yang tersusun atas breksi andesit, kalkarenit dan batugamping terumbu dan endapan alluvial dengan tingkat pelapukan batuan yang cukup tinggi sehingga menghasilkan lapukan batuan induk yang cukup tebal yang disertai kurang baiknya tataguna lahan di atasnya.

Bahaya longsor terjadi di daerah dengan kemiringan lereng dan kondisi topografi yang curam, daerah dengan permukaan gelincir yang kedap air pada lapisan bawah tanah dan daerah dengan air tanah di atas lapisan kedap air. Faktor yang mempengaruhi kerawanan longsor dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu faktor alam dan aktifitas manusia. Faktor alam meliputi curah hujan, kemiringan lereng, kondisi geologi atau batuan, keberadaan struktur geologi seperti patahan dan rekahan, kedalaman tanah sampai lapisan kedap air, tata guna lahan, keberadaan infrastruktur, dan aktivitas manusia seperti kepadatan penduduk, penggunaan lahan, keberadaan infrastruktur dan lainnya (Karnawati, 2005).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2. METODE PENELITIAN

Objek penelitian dalam penelitian ini adalah faktor-faktor yang menentukan tingkat kerentanan longsor yaitu kondisi lereng, litologi, penggunaan lahan, struktur geologi, curah hujan, gempa bumi. Faktor-faktor ini menjadi variabel bebas yang dikaji dan berkaitan dengan variabel terikat berupa tingkat kerentanan longsor.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah laptop, *software* pengolah data citra dan analisis SIG (ArcMp 10.8). Bahan yang digunakan adalah parameter kerentanan berupa data litologi dan struktur geologi hasil pemetaan di lapangan, citra DEM Kulon Progo, shp tutupan lahan, data curah hujan tahun 2019 dan kegempaan 10 tahun terakhir.

Analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis dari data primer dan data sekunder yang meliputi:

- Litologi, kemiringan lereng dan struktur geologi hasil pemetaan lapangan;
- Peta geologi regional lembar Yogyakarta, skala 1:100.000;
- Shp tata guna lahan dari Indonesia Geospasial skala 1:25.000;
- Peta RBI, skala 1:25.000 dari Indonesia Geospasial;
- Data curah hujan yang didapatkan dari <https://satudata.kulonprogokab.go.id/>;
- Data gempabumi yang didapatkan dari <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.

Peta tersebut kemudian diolah dengan menggunakan pertimbangan dari aplikasi GIS dan data lapangan untuk menghasilkan output sebagai berikut:

1. Peta geologi dengan skala 1:25.000

Peta ini merupakan peta geologi yang dibuat dan diplot dari hasil pemetaan lapangan berupa litologi, morfologi, struktur geologi pada bulan April 2019.

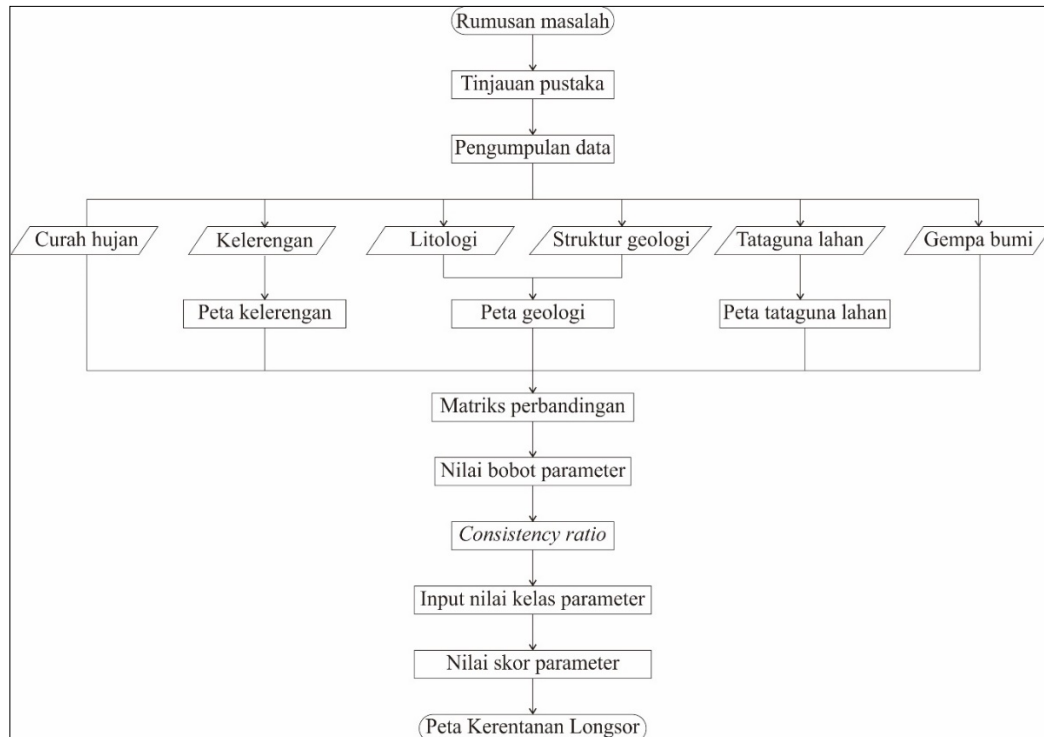
2. Peta tata guna lahan dengan skala 1:25.000

Peta ini disajikan sebagai salah satu data pada parameter kerentanan yang dikeluarkan oleh Indonesia

Geospasial tahun 2019 yang dapat diunduh melalui <https://www.indonesia-geospasial.com>.

3. Peta kemiringan lereng, skala, 1:25.000

Peta ini merupakan hasil analisis perhitungan serta konversi dari data dem yang dapat diunduh melalui <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/>.



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

Tahapan-tahapan dalam metode penelitian ini (Gambar 2) meliputi:

1. Tahapan persiapan

Tahap ini terdiri dari perumusan masalah dan tujuan penelitian untuk memandu penelitian. Menggunakan metode yang sama, penulis melakukan survei literatur untuk menyelidiki penelitian sebelumnya di bidang penelitian.

2. Tahap pengumpulan data

Pada tahap ini, pengumpulan data lapangan dilakukan pada bulan April 2019 sebagai data primer berupa data litologi, kemiringan lereng dan struktur geologi. Data sekunder seperti tata guna lahan, demnas, curah hujan dan kegempaan diperlukan sebagai parameter kerentanan.

3. Tahap analisis data

Pada tahap ini, pengolahan dan analisis data yang telah terkumpul seperti data litologi, struktur geologi, kemiringan lereng, tata guna lahan, curah hujan dan kegempaan akan menghasilkan peta kemiringan lereng, peta geologi, peta tata guna lahan. Peta-peta tersebut merupakan parameter dalam analisis evaluasi metode *Analytical Hierarchi Process* (AHP) untuk zonasi kerentanan longsor di daerah Banjarsari. Saat menimbang setiap parameter, hukum *aksioma reciprocal* berlaku. Dengan kata lain, jika satu parameter

ditentukan 3 kali lebih penting dari yang lain, maka parameter tersebut 1/3 kali lebih penting. Jika suatu parameter sama pentingnya dengan parameter lainnya, masing-masing bernilai 1 (Tabel 1). Setelah proses pembobotan selesai, langkah selanjutnya adalah membuat matriks perbandingan berpasangan untuk normalisasi bobot tingkat kepentingan setiap parameter dalam setiap hierarkinya. Setelah matriks perbandingan berpasangan disusun, dilakukan uji konsistensi bobot dan tolak ukur pada indeks konsistensi (CI) menggunakan Persamaan 1 dan untuk menghitung nilai CR menggunakan perbandingan indeks rasio (RI) dengan rasio konsistensi (CR) menggunakan persamaan 2. Nilai RI ditunjukkan pada Tabel 2. Peta kerentanan longsor dibuat dengan menggunakan metode Geographic Information System (GIS) menggunakan software ArcMap 10.8.

Tabel 1. Skala Kepentingan Antara Dua Parameter (Saaty, 1977)

Scale for comparisons	
1	Equal importance
3	Moderate prevalence of one over another
5	Strong or essential prevalence
7	Very strong or demonstrated prevalence
9	Extremely high prevalence
2,4,6,8	Intermediate values

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

CI : consistency index

λ maks : maximal eigenvalue

n : jumlah parameter (6)

RI : ratio index (1,24 untuk 6 parameter)

CR : consistency ratio

Tabel 2. Indeks Acak Berdasarkan Dimensi Matriks (Saaty, 1977)

n	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

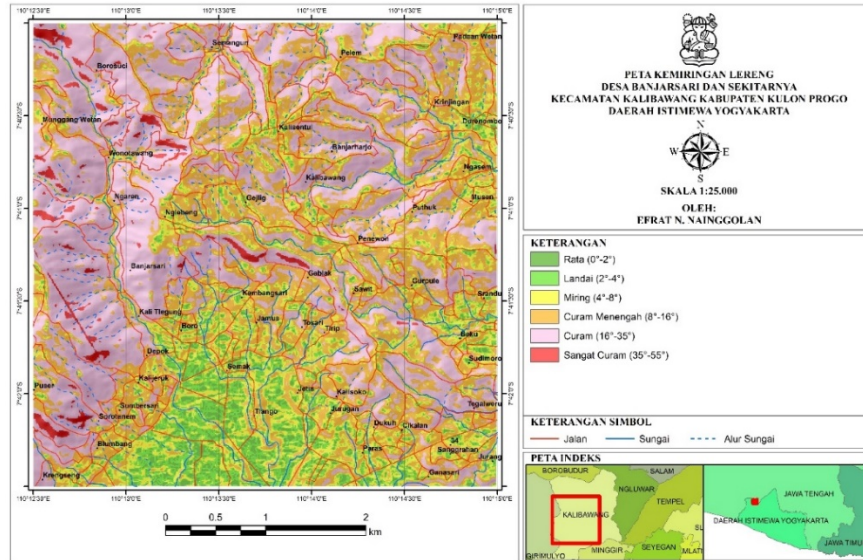
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis dari penelitian ini meliputi tiga peta yaitu peta geologi, peta tata guna lahan, peta kemiringan lereng, data curah hujan dan data kegempaan, kemudian pembuatan peta kerentanan longsor.

3.1 Peta Lereng

Gambar 3 adalah hasil analisis komputasi dan transformasi data dem, diplot dalam zona berdasarkan sudut kemiringan dan merupakan hasil validasi data lapangan bulan pada April 2019. Zona sudut kelerengan dibagi menjadi 3 zona, yakni:

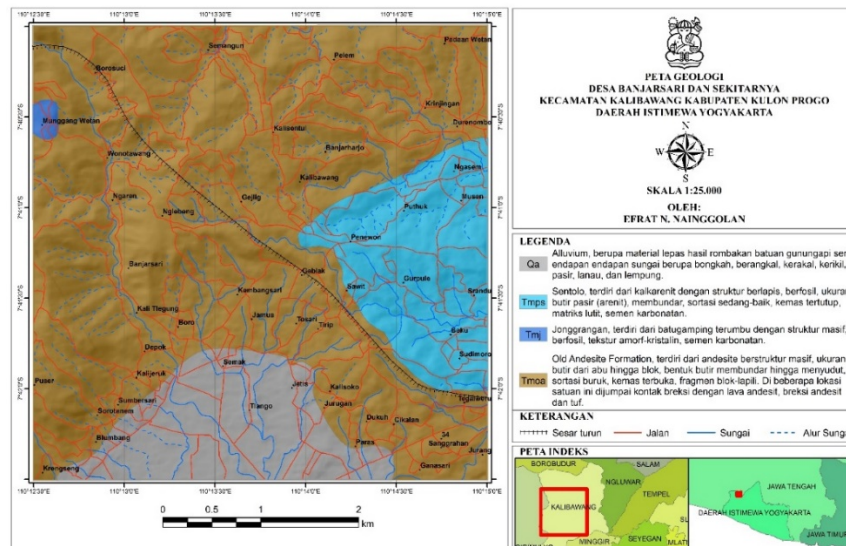
1. Zona kemiringan tinggi dengan sudut kemiringan lereng > 16°
2. Zona kemiringan sedang dengan sudut kemiringan lereng 8°– 16°
3. Zonasi kemiringan rendah dengan sudut kemiringan lereng < 8°



Gambar 3. Peta Kemiringan Lereng Daerah Penelitian

3.2 Peta geologi

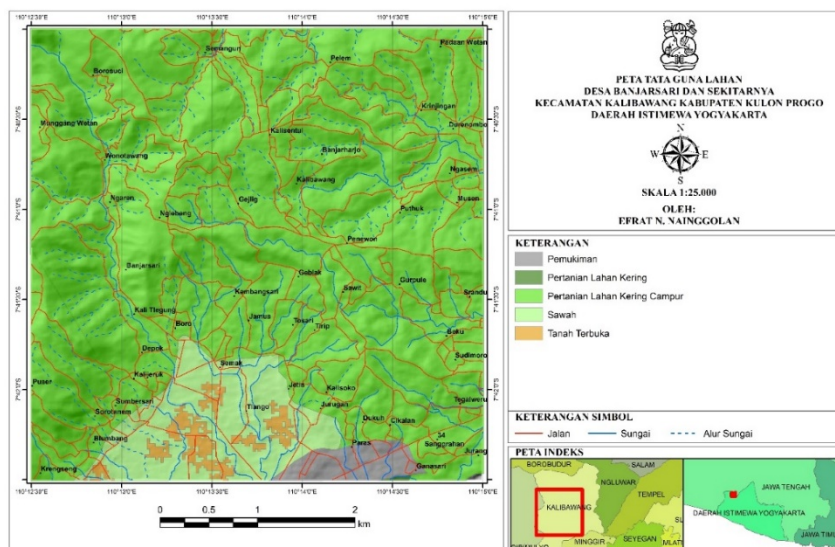
Peta geologi (Gambar 4) merupakan yang dibuat dan diplot dari hasil pemetaan lapangan berupa litologi, morfologi, struktur geologi peta geologi yang didapatkan dari hasil pemetaan lapangan yang dilakukan pada April 2019. Litologi yang terdapat di lokasi penelitian berupa breksi andesit, kalkarenit, batugamping terumbu dan endapan aluvial.



Gambar 4. Peta Geologi Daerah Penelitian

3.3 Peta tata guna lahan

Peta tata guna lahan (Gambar 5) sebagai salah satu data pada parameter kerentanan untuk area penelitian yang dikeluarkan oleh Indonesia Geospasial tahun 2019 daerah penelitian, dibagi dalam 5 satuan yaitu pemukiman, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering campur, sawah, tanah terbuka.



Gambar 5. Peta Tata Guna Lahan Daerah Penelitian

3.4 Data curah hujan

Data mengenai curah hujan daerah penelitian diperoleh Badan Pusat Statistik Kulon Progo tahun 2019. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa curah hujan daerah penelitian yang berada di Kecamatan Kalibawang dan sekitarnya, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta berkisar 1.604,9 mm/tahun (Tabel 3).

Tabel 3. Data Curah Hujan Kulon Progo Tahun 2019

Uraian Elemen	2019	
	CH (mm)	HH (hari)
1. Januari	4712	275
2. Februari	3410	199
3. Maret	6391	247
4. April	911	78
5. Mei	206	21
6. Juni	16	8
7. Juli	1	8
8. Agustus	7	7
9. September	0	0
10. Oktober	0	0
11. November	648	84
12. Desember	2957	218
Jumlah	19.259	1.145
Rata-rata/ Tahun	1.604,9	95,4

3.5 Data kegempaan

Data mengenai gempa di daerah penelitian diperoleh dari katalog gempa *United States Geological Survey* (USGS). Berdasarkan data tersebut (Tabel 4), dapat diketahui bahwa selama 10 tahun terakhir, tidak terjadi

gempa pada daerah penelitian. Gempa yang terjadi di sekitar daerah penelitian terletak sekitar 7,5 Km dari daerah penelitian.

Tabel 4. Data Kegempaan Di Sekitaran Kulon Progo 10 Tahun Terakhir (USGS, 2022)

Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	Location
2016-07-17 T22:59:04.050Z	-7,55	110,2483	12,01	4,4	4 km SE of Mertoyudan
2013-02-06 T16:26:46.840Z	-7,604	110,101	138,1	4,1	7 km of Kebon Gunung

3.6 Pembobotan

Pembobotan parameter dilakukan dengan menggunakan pendekatan yang mengubah nilai kualitatif menjadi nilai kuantitatif (Tabel 5). Pendekatan ini dilakukan dengan mengestimasi nilai prioritas untuk setiap parameter metode AHP. Pembobotan meliputi enam parameter, yaitu kemiringan lereng, litologi, penggunaan lahan, curah hujan, struktur geologi, dan aktivitas gempa. Pembobotan dilakukan dengan menentukan skala kepentingan yang menggambarkan aspek *judgement* atau rasionalitas (Tabel 6), menghitung matriks perbandingan berpasangan dan menentukan nilai bobot untuk matriks perbandingan berpasangan (Tabel 7). Nilai CR yang diperoleh dapat diterima karena spesifikasi perhitungan AHP memungkinkan pembobotan $\leq 0,1$ untuk nilai CR.

Tabel 5. Nilai pembobotan dari setiap parameter

Parameter	Sensitivitas tingkat kerawanan	Deskripsi	Kelas	Nilai Bobot Tertimbang	Bobot
Kelerengan	Tinggi	Kemiringan lebih curam ($>16^\circ$)	3	1,2	0,41
	Sedang	Kemiringan $8^\circ-16^\circ$	2	0,8	
	Rendah	Kemiringan $<8^\circ$	1	0,4	
Litologi	Tinggi	Lereng tersusun oleh litologi breksi andesit, endapan aluvial dengan bidang diskontinuitas atau struktur retakan/ kekar pada batuan tersebut.	3	0,8	0,26
	Sedang	Lereng tersusun oleh litologi kalkarenit dengan bidang diskontinuitas atau ada struktur retakan/kekar, tapi perlapisan tidak miring kearah luar lereng.	2	0,5	
	Rendah	Lereng tersusun oleh litologi batugamping terumbu dengan bidang diskontinuitas atau ada struktur retakan/sesar.	1	0,3	
Curah hujan	Tinggi	>2500 mm/tahun	3	0,5	0,16
	Sedang	$1000-2500$ mm/tahun	2	0,8	
	Rendah	< 1000 mm/tahun	1	0,2	
Struktur geologi	Tinggi	Struktur mayor	3	0,3	0,10
	Sedang	Struktur minor	2	0,8	
	Rendah	Tidak ada struktur	1	0,1	

Tata guna lahan	Tinggi	Tanah terbuka	3	0,2	0,05
	Sedang	Pertanian, sawah	2	0,8	
	Rendah	Pemukiman	1	0,1	
Gempabumi	Tinggi	Kawasan gempa (terjadi gempa >2 kali pertahun)	3	0,09	0,03
	Sedang	Gempa jarang terjadi (terjadi gempa 1-2 kali pertahun)	2	0,00	
	Rendah	Tidak rawan gempa (tidak terjadi gempa tiap tahun)	1	0,03	

Tabel 6. Matriks Perbandingan

Matrix Perbandingan						
Parameter	Kelerengan	Litologi	Curah Hujan	Struktur	Tata Guna Lahan	Gempabumi
Kelerengan	1	2	4	5	7	9
Litologi	0,5	1	2	4	5	9
Curah Hujan	0,25	0,5	1	2	5	7
Struktur	0,2	0,25	0,5	1	3	5
Tata Guna Lahan	0,143	0,2	0,2	0,333	1	3
Gempabumi	0,111	0,111	0,143	0,2	0,333	1
Total	2,204	4,061	7,843	12,533	21,333	34

Tabel 7. Normalisasi Data

Parameter	Normalise						Priority	
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Total	Priority Matrix
V1	0,454	0,492	0,510	0,399	0,328	0,265	2,448	0,41
V2	0,227	0,246	0,255	0,319	0,234	0,265	1,546	0,26
V3	0,113	0,123	0,128	0,160	0,234	0,206	0,964	0,16
V4	0,091	0,062	0,064	0,080	0,141	0,147	0,584	0,10
V5	0,065	0,049	0,026	0,027	0,047	0,088	0,301	0,05
V6	0,050	0,027	0,018	0,016	0,016	0,029	0,157	0,03
Total	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	6,000	1,00

V1: Kelerengan, V2: Litologi, V3: Curah hujan, V4: Struktur geologi, V5: Tata guna lahan, V6: Gempabumi

λ_{max} : 6,266

SCI : 0,0532

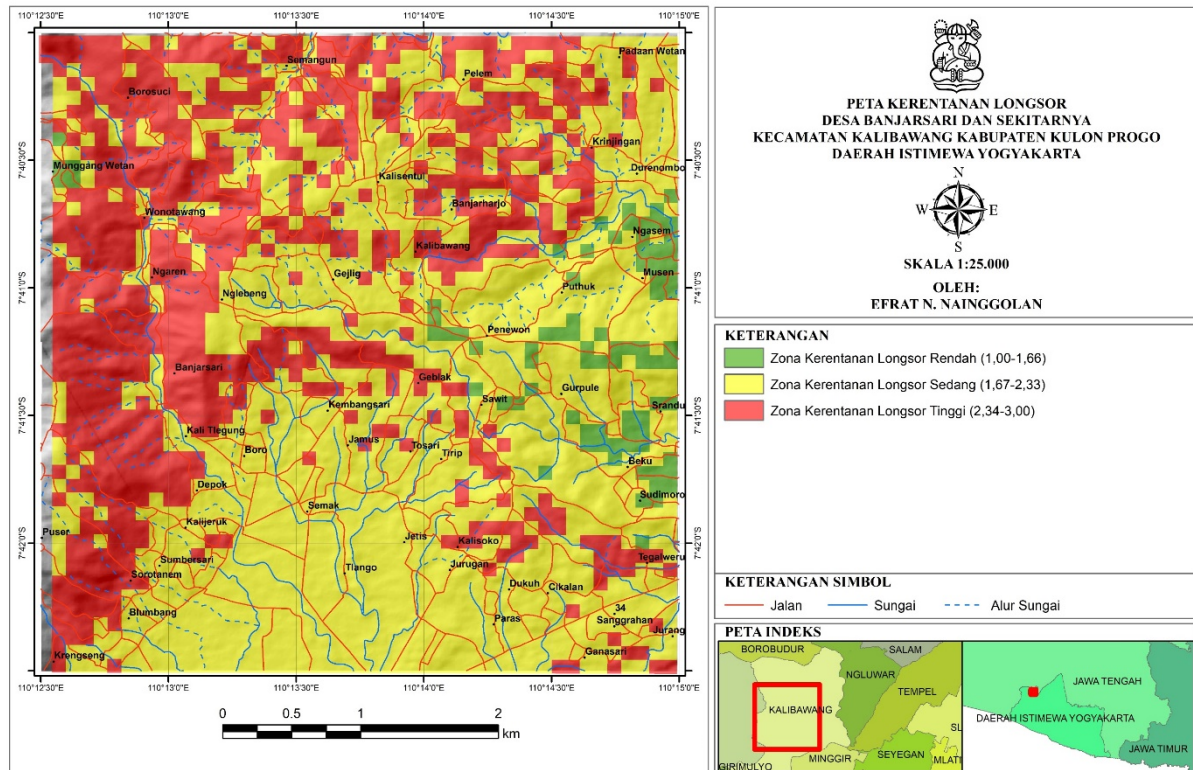
RI : 1,24

CR : 0,042903226

3.7 Peta kerentanan longsor

Peta kerentanan longsor adalah representasi spasial atau visualisasi dari hasil skoring yang dilakukan pada Tabel 5. Peta ini menunjukkan potensi longsor di wilayah studi penelitian (Gambar 6). Peta kerentanan longsor memiliki tiga zona yaitu:

1. Zona kerentanan longsor rendah dengan bobot nilai 1,00-1,66
2. Zona kerentanan longsor sedang dengan bobot nilai 1,67-2,33
3. Zona kerentanan longsor tinggi dengan bobot nilai 2,34-3,00



Gambar 6. Peta Kerentanan Longsor Daerah Penelitian

4. KESIMPULAN

Zona kerentanan longsor tinggi di daerah penelitian sebagian besar di bagian barat, baratdaya menuju timur laut dengan luas area $\pm 35,1$ % dari luasan daerah penelitian. Zona kerentanan longsor sedang di daerah penelitian sebagian besar di bagian selatan, utara dan di bagian timur dengan luasan area $\pm 61,4$ % dari luasan daerah penelitian. Zona kerentanan longsor rendah di bagian timur daerah penelitian dengan luasan area $\pm 3,5$ % dari luasan daerah penelitian. Peta kerentanan longsor daerah penelitian ini dapat dijadikan acuan oleh masyarakat dan pemerintah daerah sebagai dasar untuk langkah-langkah mitigasi dan pengembangan wilayah di masa mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena selalu memberikan kesehatan yang baik untuk penyelesaian studi penelitian ini dengan baik. Tak lupa kepada kedua orangtua yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan moral dan materi. Kepada partner penulis, Muhammad Rio yang sudah membantu agar penelitian ini bisa terealisasikan dengan tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43(1), 27–29. <https://doi.org/10.1007/BF02590167>
- Dinas Pertanian dan Pangan (2022). *Data Rata - Rata Curah Hujan Kabupaten Kulon Progo*. Diakses tanggal 28 Oktober 2022 pukul 21.30 WIB dari <https://satudata.kulonprogokab.go.id/data-rata-rata-curah-hujan-kabupaten-kulon-progo>
- Eldrandaly, K. (2013). *Developing a GIS-Based MCE Site Selection Tool in ArcGIS Using COM Technology*. 10(3), 7.
- Indonesia Geospasial (2022). *Download Kumpulan Shapefile (SHP) Terlengkap dan Terbaru Seluruh Indonesia*. Diakses tanggal 28 Oktober 2022 pukul 14.10 WIB dari <https://www.indonesia-geospasial.com/2020/05/download-data-peta.html>
- Karnawati, D. (2005). *Bencana alam gerakan massa tanah di Indonesia dan upaya penanggulangannya*. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Tanah Air Indonesia (2022). *Seamless Digital Elevation Model (DEM) dan Batimetri Nasional*. Diakses tanggal 27 Oktober 2022 pukul 15.47 WIB dari <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/demnas>
- USGS (2022). *Search Earthquake Catalog*. Diakses tanggal 29 Oktober 2022 pukul 17.15 WIB dari <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., Alimohammadi, A., & Hosseinali, F. (2009). *Landslide Hazard Zonation Using Quantitative Methods in GIS*. 7(3), 14.