

## PENENTUAN ZONA KERAWANAN GERAKAN TANAH DENGAN METODE HEURISTIK DAS SERANG KABUPATEN KULON PROGO

*(Determination of mass movement vulnerability zone using heuristic methods in Serang watershed Kulon Progo District)*

Erik Febriarta<sup>1</sup>, Ajeng Larasati<sup>2</sup>, Dhandhun Wacano<sup>3,4</sup>, Ika Afianita Suherningtyas<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Teknologi Sumber Daya Alam, Institut Teknologi Yogyakarta, Gedongkuning, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

<sup>2</sup> Palawa Karya, [www.palawakarya.co.id](http://www.palawakarya.co.id), Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

<sup>4</sup> Laboratorium Analisis Risiko Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

<sup>5</sup> Program Studi Geografi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas AMIKOM Yogyakarta, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

Email: [e.febriarta@gmail.com](mailto:e.febriarta@gmail.com)

Diterima: 30 Mei 2021, Direvisi : 8 Februari 2022, Disetujui : 10 Maret 2022

### ABSTRACT

*Landslide, one of the physical environmental disasters, can be defined as the movement of rock mass, soil, or shredded material that forms a slope down the slope Kulon Progo Regency has always been a landslide-prone area that most often occurs in the Special Region of Yogyakarta in the last three years. One way to reduce the risk of hazards is by mapping the hazard assessment of mass movement disasters. The purpose of this study is to determine the zone of vulnerability to landslides in the Serang watershed, Kulon Progo. The method used is heuristic, where the assessment of the potential for ground motion is based on a geomorphological approach with a weighting analysis of each parameter. The parameters used are slope, rock type, geological structure (distance to fault), land use, and landslide event distribution. Each parameter is assigned a value and a weight variable based on the factors that most influence slope safety. They are then calculated in a linear variable manner, resulting in an index value for soil movement vulnerability. The index value is grouped spatially into four (4) hazards with equal interval class division, very low hazard with an area of 95.93 km<sup>2</sup> (46%); low hazard with an area of 72.02 km<sup>2</sup> (34%); moderate hazard with an area of 38.56 km<sup>2</sup> (18%); and very high hazard with an area of 1.96 km<sup>2</sup> (0.01%). Based on the spatial analysis, the distribution of the existing landslide events are increasing correlatively with the higher the hazard zone.*

**Keywords: heuristics; landslides; mass movement; watershed; vulnerability**

## ABSTRAK

Bencana tanah longsor dapat didefinisikan sebagai pergerakan massa batuan, tanah atau material yang membentuk lereng menuruni lereng merupakan salah satu bencana lingkungan fisik. Dari dulu Kabupaten Kulon Progo merupakan daerah rawan longsor yang paling sering terjadi di Daerah Istimewa Yogyakarta dalam kurun waktu tiga tahun terakhir. Upaya mengurangi resiko bencana bahaya gerakan tanah salah satunya adalah dengan pemetaan penilaian kerawanan bencana gerakan tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan zona kerawanan bencana gerakan tanah (longsor) di DAS Serang Kulon Progo. Metode yang digunakan adalah metode heuristik yaitu penilaian potensi gerakan tanah didasarkan pendekatan geomorfologi (proses yang mempengaruhi bentuk lahan) dengan analisis pembobotan setiap parameter. Parameter yang digunakan adalah kemiringan lereng, jenis batuan, struktur geologi (jarak terhadap sesar), penggunaan lahan, dan distribusi kejadian longsor. Setiap parameter diberi nilai dan bobot, didasarkan atas faktor yang paling mempengaruhi faktor keamanan lereng. Hasil penilaian tersebut kemudian dihitung secara *linier variable*, sehingga diperoleh nilai indek kerawanan gerakan tanah. Nilai indek tersebut dianalisis secara keruangan (spasial) menjadi empat (4) kerawanan dengan pembagian kelas secara *equal interval*, yaitu kerawanan sangat rendah dengan luas 95,93 km<sup>2</sup> (46%), kerawanan rendah dengan luas 72,02 km<sup>2</sup> (34%), kerawanan menengah dengan luas 38,56 km<sup>2</sup> (18%) dan kerawanan sangat tinggi dengan luas 1,96 km<sup>2</sup> (0,01%). Berdasarkan analisis keruangan diketahui bahwa distribusi kejadian gerakan tanah (longsor) eksisting semakin meningkat berkorelasi dengan zona kerawanan semakin tinggi.

**Kata kunci:** daerah aliran sungai, gerakan tanah, heuristik, kerawanan, longsor

### I. PENDAHULUAN

Potensi gerakan tanah merupakan dampak dari lereng yang tidak stabil (Priyono, 2015; Thanh Thi Pham *et al.*, 2020). Miyagi (2018) juga menyebutkan bahwa faktor pemicu dari gerakan tanah atau longsor secara umum dipengaruhi oleh dinamika geologi dan sifat kelerengan. Gerakan tanah dapat didefinisikan sebagai pergerakan massa batuan atau bahan rombakan pembentuk lereng ke arah bawah lereng (BSN, 2016; PerkaBNPB, 2012). Pada skala yang lebih besar kejadian gerakan tanah atau longsor merupakan salah satu potensi bencana yang dapat menimbulkan kerusakan fisik

lingkungan, perubahan fungsi lahan, perubahan ekosistem dan dapat mengakibatkan korban jiwa.

Bencana gerakan tanah atau longsor merupakan salah satu bencana yang dipengaruhi oleh berbagai macam faktor pendorong. Hal yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak bencana gerakan longsor salah satunya adalah dengan penilaian atau pemetaan identifikasi zona potensi kerawanan gerakan tanah (Miyagi, 2018; PerkaBNPB, 2012; Titisari *et al.*, 2019). Upaya mitigasi sebagai langkah kesiapsiagaan bencana longsor dapat dilakukan dengan pemodelan identifikasi dan penentuan

zona kerawanan gerakan tanah dengan pendekatan sifat lereng statis dan lereng dinamis (BSN 2016; Febriarta & Wibowo, 2021; Pradhan & Siddique, 2020; Steger, Schmaltz, & Glade, 2020).

Daerah dengan kondisi kenampakan topografi bergelombang yang dicirikan dengan kemiringan lereng yang terjal hingga curam mempunyai potensi gaya gelincir yang tinggi yang dapat memicu gerakan tanah (Ahmad *et al.*, 2018; Lombardo & Tanyas, 2020; Lombardo, Tanyas, & Nicu, 2020). Selain faktor kemiringan lereng, Ugai *et al.* (2013) dan Sharma, Panigrahi, Sarmah, & Dubey, (2019) menyebutkan bahwa parameter stabilitas lereng merupakan faktor pendorong gerakan tanah, yang diantaranya dipengaruhi oleh kondisi jenis batuan dan struktur geologi (kekar, sesar). Menurut penelitian Pitaloka *et al.* (2018) dan (Watkins, Ehlmann, & Yin, 2020) disebutkan bahwa identifikasi daerah rawan longsor dengan pendekatan *slope morphology* dapat menghasilkan indeks kerawanan longsor dengan pembobotan perhitungan sudut kemiringan lereng. Pendekatan penilaian longsor dengan multi parameter distribusi longsor, menggunakan parameter unit geologi, zona dorong atau gelincir dan kemiringan lereng dapat menghasilkan sebaran yang menunjukkan faktor pengontrol gerakan tanah, seperti dalam penelitian Prasad Bhandari & Dhakal (2021). Tetapi kedua metode tersebut belum mempertimbangkan faktor lereng statis yang salah satunya adalah penggunaan lahan di atasnya, dimana faktor tersebut mempengaruhi faktor keamanan lereng dinamis (Ahmad *et al.*, 2018; Febriarta &

Wibowo, 2021; Syarafina & Sumunar, 2018; Tang *et al.*, 2021). Pendekatan lereng statis untuk kecenderungan gerakan tanah dapat didekati dengan pendekatan geomorfologi (Raharjo *et al.*, 2020).

Pemodelan kerentanan gerakan tanah yang berkembang saat ini, seperti metode analisis statistik hanya didasarkan atas kecenderungan terjadinya gerakan tanah dengan parameter keterkaitan distribusi gerakan tanah, sedangkan pendekatan analisis deterministik hanya berfokus pada faktor keamanan lereng. Pendekatan heuristik mempunyai kelebihan dalam teknik pengambilan keputusan pada suatu proses yang melibatkan berbagai faktor secara bersama-sama, dalam hal ini adalah parameter kecenderungan terjadinya gerakan tanah. Pendekatan metode analisis heuristik untuk penentuan zona kerentanan gerakan tanah didasarkan analisis geomorfologi dengan pembobotan setiap parameter. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada penilaian zona kerawanan gerakan tanah (longsor) dengan analisis geomorfologi, yaitu kerapatan gerakan tanah terhadap faktor pengontrol dan faktor penggunaan lahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui zona kerawanan gerakan tanah (longsor) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Serang Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY).

## II. BAHAN DAN METODE

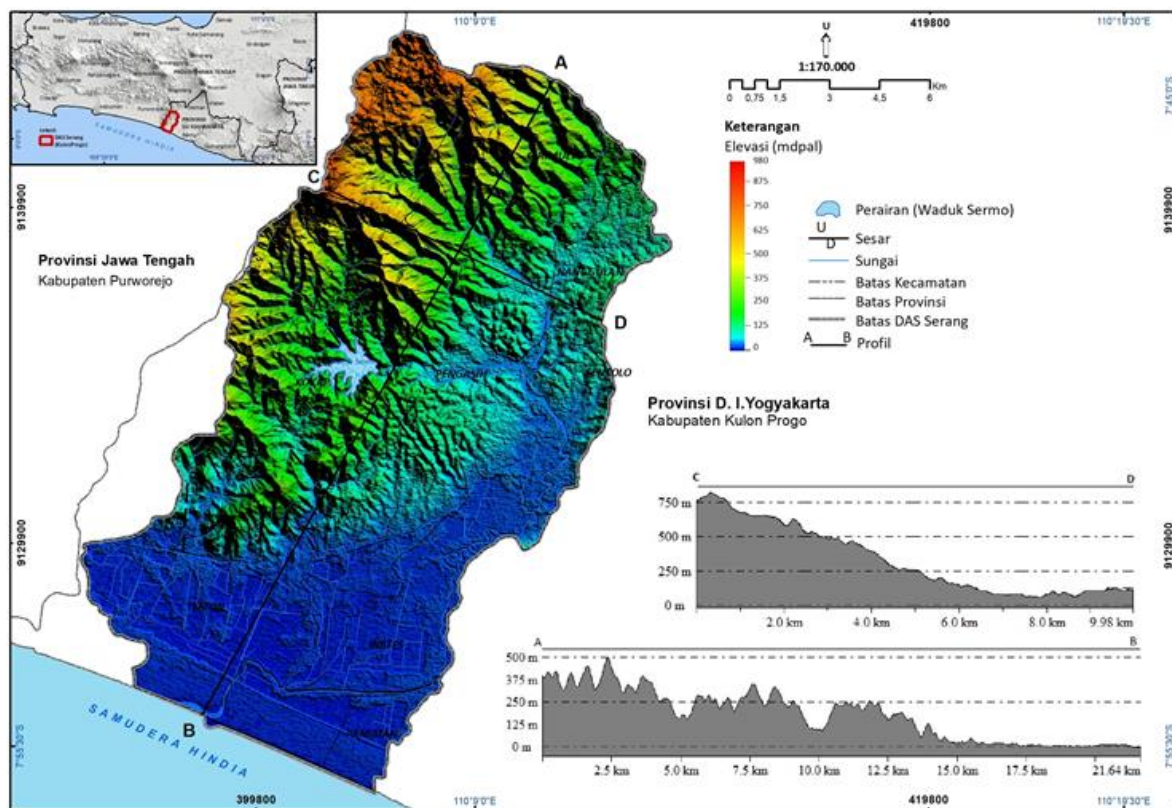
### A. Waktu dan Lokasi

Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2020 hingga Februari 2021. Lokasi kajian penentuan zona kerawanan gerakan tanah berada di wilayah DAS Serang (Gambar 1).

Lokasi tersebut secara astronomis berada di 7°43'43.82"S - 7°56'23.61"S dan 110° 7'43.18"E - 110° 7'30.67"E. Secara administrasi berada di Kabupaten Kulon Progo, Provinsi DIY, dan sebagian Kabupaten Purworejo Provinsi Jawa Tengah. Batas wilayah penelitian adalah DAS Serang seperti pada Gambar 1. Batas wilayah bagian utara berbatasan dengan Desa Purwosari dan Pendoworejo Kabupaten Kulon Progo dan berada di sebagian Desa Telogoguwo Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah. Batas wilayah sebelah barat berbatasan dengan Desa Kalirejo, Hargomulyo, Karangwuluh, Jangkar Kabupaten Kulon Progo dan Desa Donorejo, Jatirejo dan Durensari Kabupaten Purworejo Provinsi Jawa Tengah. Batas wilayah sebelah timur

berbatasan dengan Desa Tanjungharjo, Donomulyo, Kaliagung, Margosari, Giripeni, Bendungan, Depok, dan Garongan. Batas wilayah bagian selatan merupakan muara Sungai Serang yang berbatasan dengan Samudera Hindia.

Kabupaten Kulon Progo merupakan daerah dengan potensi dan kejadian bencana longsor tertinggi di Provinsi DIY pada tahun 2020 (BPBD DIY, 2020; BPBD Kab. Kulon Progo, 2019). Kerawanan bahaya gerakan tanah atau longsor tersebut banyak terdistribusi di sepanjang perbukitan bagian barat laut (BPBD Kab. Kulon Progo, 2019). Faktor kerawanan tersebut dipengaruhi oleh kondisi perbukitan dengan lereng miring hingga terjal, seperti yang disajikan pada profil melintang utara-selatan pada Gambar 1.

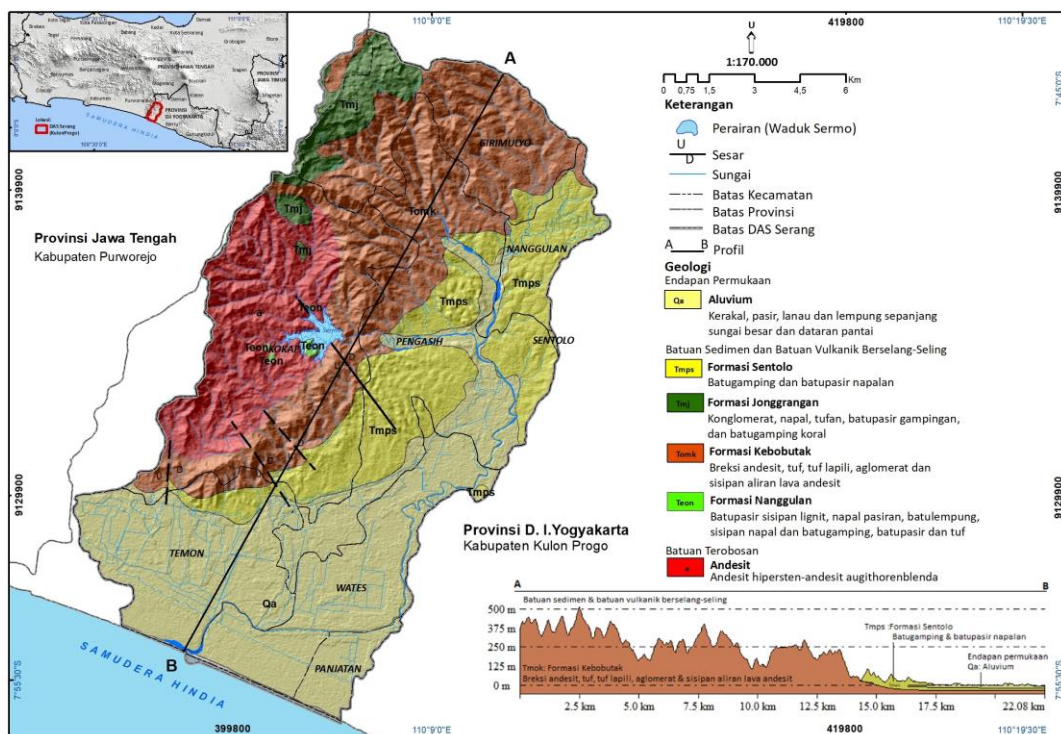


Gambar (Figure) 1. Lokasi penelitian DAS Serang (*Serang watershed research location*)  
 Sumber (Source): Analisis (analysis), 2021

Kondisi geologi DAS Serang tersusun atas enam (6) formasi batuan, yaitu Formasi alluvium (Qa), Sentolo (Tmps), Jonggrangan (Tmj), Kebobutak (Tmok), Nanggulan (Teon) dan Batuan terobosan andesit (a) seperti yang disajikan pada Gambar 2. Formasi alluvium (Qa) tersusun atas material pasir, lanau dan lempung sepanjang sungai yang besar (Sungai Serang) dan dataran pantai. Formasi alluvium (Qa) terdistribusi disepanjang sungai dengan kondisi morfologi miring hingga landai dari bagian tengah DAS Serang ke arah selatan hingga berbatasan dengan Samudera Hindia. Formasi Sentolo (Tmps) tersusun atas batu gamping dan batu pasir napalan merupakan bagian dari batuan sedimen dan batuan vulkanik berselang-seling (Raharjo *et al.*, 1995).

Formasi Jonggrangan (Tmj) tersusun atas material konglomerat, napal, tufan, dan batu pasir gampingan dengan sisipan

batu gamping berlapis dan batu gamping koral. Formasi Kebobutak (Tmok) tersusun atas breksi andesit, tuf, tuf lapili, aglomerat, dan sisipan aliran lava andesit. Formasi Nanggulan (Teon) tersusun atas batu pasir dengan sisipan lignit, napal pasiran, batu lempung, sisipan napal dan batu gamping, batu pasir, dan tuf. Ketiga formasi tersebut (Tmj, Tmok, dan Teon) merupakan batuan sedimen yang pada perkembangan tanah permukaannya menjadi koluvium atau rombakan tak terpisahkan dari batu sedimen dan batuan vulkanik berselang-seling (Raharjo *et al.*, 1995). Karakteristik tersebut (rombakan koluvium) mempunyai tingkat kerawanan longsor tinggi yang dipengaruhi oleh ketebalan tanah yang sedang hingga tinggi, sudut geser dalam yang tinggi dan sifat kohesi (sifat keruntuhan tanah) (Ahmad *et al.*, 2018; Lombardo *et al.*, 2020; Rini & Ardan 2018; Sassa *et al.*, 2018).



Gambar (Figure) 2. Kondisi Geologi DAS Serang (Geological conditions of the Serang Watershed)  
Sumber (Source): Analisis (analysis), 2021; Raharjo *et al.*, 1995

## B. Bahan dan Alat

Bahan yang diperlukan untuk penilaian zona kerawanan gerakan tanah menggunakan data sekunder dan data primer dari pengamatan langsung di lapangan. Data sekunder terdiri atas data batas DAS, kemiringan lereng yang diperoleh dari konversi data elevasi *Digital Elevation Model* (DEM), jenis batuan, tata guna lahan, dan kejadian longsor terdahulu (Tabel 1). Data yang diukur secara langsung antara lain kondisi kemiringan lereng kejadian longsor eksisting. Sedangkan alat yang digunakan untuk penentuan zona kerawanan gerakan tanah antara lain *slope meter (range finder)* untuk memperoleh data kemiringan lereng dan perangkat komputer dengan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk pemetaan atau pengolahan secara keruangan (spasial).

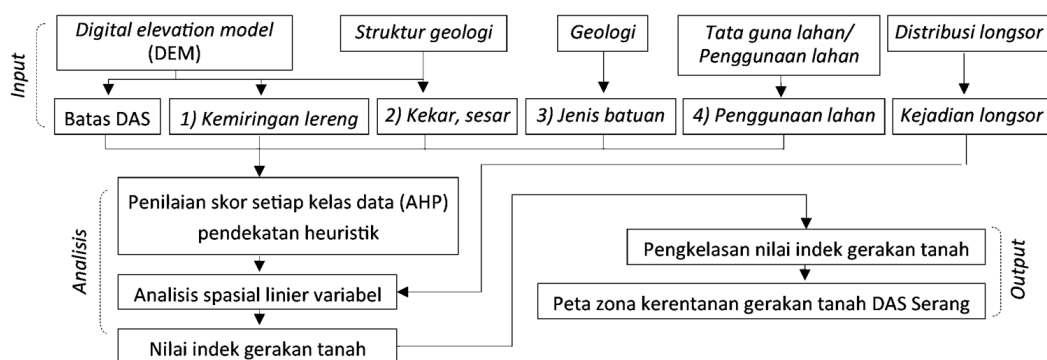
## C. Metode Penelitian

Penentuan zona gerakan tanah dengan metode heuristik berdasarkan analisis geomorfologi atau pembobotan tiap parameter faktor gerakan tanah (BSN 2016). Metode analisis heuristik menggunakan pendekatan geomorfologi dalam penilaian kecenderungan gerakan tanah dengan memberikan pembobotan setiap parameter. Penentuan zona kerawanan gerakan tanah dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu pengumpulan data parameter gerakan tanah, analisis (penilaian dan pembobotan) setiap parameter, penilaian dengan *Analytical Hierarchy Process* (AHP), pemetaan zona gerakan tanah dengan SIG, pengumpulan distribusi gerakan tanah longsor eksisting dengan survei lapangan, dan pembahasan (Gambar 3).

Tabel (Table) 1. Parameter metode heuristik (*Heuristic method parameters*)

No	Parameter ( <i>Parameters</i> )	Data ( <i>Data</i> )	Sumber ( <i>Source</i> )
1	Batas daerah aliran sungai Serang	Daerah aliran sungai (DAS)	(KLHK 2018; Menhut 2011)
2	Kemiringan lereng	<i>Digital Elevation Model</i> (DEM)	(BIG, 2018a)
3	Jenis batuan	Geologi	(KESDM 2018; Raharjo et al., 1995)
4	Struktur geologi (Kekar, sesar)	Struktur geologi	(KESDM 2018; Raharjo et al., 1995)
5	Tata guna lahan/penggunaan lahan	Tata guna lahan/penggunaan lahan	(BIG, 2018b, 2018c, dan survei lapangan, 2021)
6	Distribusi longsor eksisting	Kejadian longsor	(BPBD DIY, 2020; BPBD Kab.Kulon Progo, 2019; dan survei lapangan, 2021)

Sumber (*Source*): Analisis (*analysis*), 2021



Gambar (Figure) 3. Diagram alir penelitian (*Research flow chart*)

Sumber (*Source*): Analisis (*analysis*), 2021



### C.1. Penilaian dan Pembobotan dengan Analytical Hierarchy Process (AHP)

Penilaian skor setiap parameter gerakan tanah atau longsor dapat memberikan informasi setiap kelas parameter yang memicu gerakan tanah (Lombardo *et al.*, 2020; Martin, 2015; PerKaBNPB, 2012). Pembobotan bertingkat dengan *analytical hierarchy process* (AHP) dapat menentukan faktor dominan dari kelas yang paling mempengaruhi hingga faktor paling kecil yang mendorong atau memicu terjadinya gerakan tanah (BSN, 2016; Collico *et al.*, 2020; Febriarta & Wibowo, 2021; Viaciago, 2013). Penilaian pembobotan digunakan untuk pengambilan keputusan dengan proses pemberian nilai prioritas pada masing-masing parameter gerakan tanah.

Penilaian kerawanan dengan pemberian peringkat (hierarki) nilai kelas 1-10, dimana nilai 1 mempunyai faktor yang terbesar dalam memicu gerakan tanah atau faktor dominan yang mendorong terjadinya gerakan tanah, sedangkan bila nilai semakin besar menunjukkan nilai dengan faktor pendorong kerentanan semakin kecil atau semakin rendah (Elmoulat *et al.*, 2020; Lin & Kou, 2021; Pourghasemi *et al.*, 2020; Saaty, 2004; Setyaningrum & Febriarta, 2019).

Penentuan nilai setiap parameter menggunakan pendekatan *pairwise*

*comparison judgment matrices* yang didasarkan atas sifat kelerengan statis (Febriarta, Permatasari, & Suherningtyas, 2020; Sujit & Subrata, 2019). Untuk mendapatkan nilai dengan tingkat kepercayaan yang tinggi, maka perlu dilakukan normalisasi hasil *pairwise comparison judgment matrices* tersebut dengan perbandingan nilai indeks konsistensi dan rasio konsistensi (Elmoulat *et al.*, 2020; Roma *et al.*, 2020). Nilai perbandingan tersebut menghasilkan nilai simpangan matrik. Apabila nilai simpangan (CR/ rasio konsistensi) semakin kecil maka nilai tersebut memiliki populasi yang baik dan dapat digunakan sebagai analisis dengan toleransi nilai simpangan (rasio konsistensi/ CR) sebesar 10% (Enrique & Milagros, 2017; Lin & Kou, 2021). Rumus persamaan nilai *consistency index* (CI) dan *consistency rasio* (CR) (Saaty, 2004), sebagai berikut:

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- CI : *Consistency Index*
- $\lambda$  maks : nilai dengan faktor maksimal
- n : jumlah data (populasi)

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

dimana:

- CR : *Consistency Rasio*
- CI : *Consistency Index* (persamaan rumus 1)
- RI : *Random Index* (Tabel 2)

Tabel (Table) 2. Nilai *random index* (RI) *consistency* (Value of the *random index* (RI) *consistency*)

n	Indeks Nilai Acak ( <i>Random index</i> )	n	Indeks Nilai Acak ( <i>Random index</i> )
1	0,00	6	1,24
2	0,00	7	1,32
3	0,58	8	1,41
4	0,90	9	1,45
5	0,12	10	1,49

Sumber (Source): (Saaty, 2004)

Keterangan (Remarks): n jumlah data (populasi) (*n amount of data (population)*)

## C.2. Analisis Kerawanan Gerakan Tanah Spasial Pendekatan Heuristik

Penilaian zona kerawanan gerakan tanah (longsor) menggunakan pendekatan keterkaitan gerakan tanah terhadap faktor pengontrol gerakan tanah dengan metode analisis heuristik (PerkaBNPB, 2012). Metode analisis heuristik merupakan metode pemetaan yang didasarkan atas pendekatan kerawanan gerakan tanah berdasarkan analisis geomorfologi atau pembobotan tiap parameter keamanan lereng (BSN, 2016). Pendekatan heuristik dengan pendekatan geomorfologi atau mendeskripsikan bentuk bentang alam dan proses-proses yang mempengaruhinya terdiri atas lima (5) parameter, yaitu 1) kemiringan lereng, 2) jenis batuan, 3) struktur geologi (kekar, sesar), 4) penggunaan lahan, dan 5) distribusi kejadian gerakan tanah (BSN, 2016).

Hasil dari penilaian setiap masing-masing parameter kerawanan gerakan tanah secara linier variabel, sebagai berikut:

$$PZKGT = Kl r.w + Jb r.w + Sg r.w + Pl r.w \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

PZKGT : Indeks kerawanan Penentuan Zona Kerawanan Gerakan Tanah

Kl : Kemiringan lereng

Jb : Jenis batuan

Sg : Struktur geologi (kekar, sesar)

Pl : Penggunaan lahan

r : *rating* (nilai) masing-masing parameter

w : *weight* (bobot) masing-masing parameter

Hasil perhitungan linier parameter heuristik (rumus 3) menghasilkan nilai indeks kerawanan. Untuk mendapatkan informasi kelas kerawanan maka, nilai indeks tersebut dikelompokkan menjadi 4 kelas kerawanan, yaitu kerawanan sangat

tinggi, menengah, rendah, dan sangat rendah dengan rumus pendekatan *equal interval*, sebagai berikut:

$$Kelas\ kerentanan = \frac{n\ maksimum - n\ minimum}{n} \dots\dots(4)$$

dimana:

n maksimum : nilai maksimum indeks kerawanan (rumus 3)

n minimum : nilai minimum indeks kerawanan (rumus 3)

n : jumlah kelas kerawanan (4 kelas kerawanan)

Penentuan zona kerawanan gerakan tanah dengan pemodelan heuristik diperlukan validasi hasil terhadap kondisi lingkungan yang sebenarnya, maka analisis selanjutnya adalah analisis keruangan dengan distribusi kejadian longsor. Tahap analisis dengan pendekatan tumpang susun (*overlay*) hasil pemodelan heuristik dengan distribusi kejadian longsor, kemudian dianalisis secara deskriptif.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Penilaian dan Pembobotan Parameter Kerawanan

#### A.1. Kemiringan Lereng

Faktor kemiringan lereng merupakan parameter utama yang sangat berpengaruh atau sebagai faktor pendorong utama dalam pergerakan tanah (Lu *et al.*, 2017; Miyagi, 2018; Sujit & Subrata, 2019). Nilai faktor pembobot dari empat (4) parameter dengan peringkat sebagai faktor pendorong pendekatan geomorfologi (proses pembentukan). Berdasarkan penilaian hierarki diperoleh nilai bobot kemiringan lereng sebesar 0,49 dengan nilai rasio konsistensi bobot parameter sebesar 3,2% dari nilai toleransi data populasi sebesar 10%. Nilai tersebut



termasuk ke dalam kelas dengan tingkat kepercayaan yang tinggi, sehingga dapat digunakan untuk analisis perhitungan kerawanan.

Parameter kemiringan lereng merupakan faktor yang paling besar memicu gerakan tanah (Arata, Gomi, & Sidle, 2020; Miyagi, 2018; Tian *et al.*, 2021). Penilaian kemiringan lereng terdiri atas tujuh (7) kelas dengan rentang nilai 0°-21°. Hasil analisis nilai rasio konsistensi kemiringan lereng sebesar 8,7%. Nilai tersebut memiliki nilai simpangan yang relatif tinggi tetapi masih dalam nilai toleransi yaitu <10%, sehingga nilai (r) dapat digunakan untuk analisis hasil perhitungan (Murali *et.al.*, 2018). Nilai faktor pembobot untuk parameter kemiringan lereng sebesar 0,49. Nilai (r) dan bobot (w) kemiringan lereng disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 4.

### A.2. Jenis Batuan (Geologi)

Kondisi geologi atau jenis batuan penyusun permukaan tanah dapat memicu

pergerakan tanah dari sifat kepaduan batuan, semakin bersifat lepas-lepas antar butir batuan memiliki kerawanan yang tinggi terhadap potensi gerakan tanah atau longsor (Raharjo *et al.*, 2019; Titisari *et al.*, 2019). Pengkelasan jenis batuan didasarkan atas struktur batuan, yaitu perlapisan batuan (Mulyono, 2015), sehingga diperoleh enam (6) kelas jenis batuan dengan jenis batuan sangat mudah terpicu menjadi gerakan tanah (longsor) adalah penyusun batuan breksi, andesit yang merupakan bagian dari Formasi Kebobutak. Formasi tersebut menurut Raharjo *et al.* (1995) pada perkembangan tanahnya terbentuk parafragmen koluvium dengan sifat lepas-lepas yang sangat mudah mengalami gerakan tanah. Pengkelasan jenis tanah memiliki nilai rasio konsistensi dengan tingkat kepercayaan tinggi sebesar 4% dengan faktor pembobot sebesar 0,26 disajikan pada Tabel 4 dan secara keruangan (spasial) disajikan pada Gambar 4.

Tabel (Table) 3. Nilai (r) dan bobot (w) kemiringan lereng (Value/rating (r) and weight (w) of the slope)

Kelas kemiringan lereng (Slope class)				
%	°	Peringkat (Rating)	Nilai (Value) (r)	Bobot (weight) (w)
>40	>21	1	0,33	
36-40	18,5-21	2	0,28	
31-35	16-18,5	3	0,20	
21-30	11-16	4	0,07	
16-20	7,5-11	5	0,05	0,49
9-15	5-7,5	6	0,05	
0-8	0-5	7	0,03	
		CR	8,7%	

Sumber (Source): Analisis (analysis), 2021

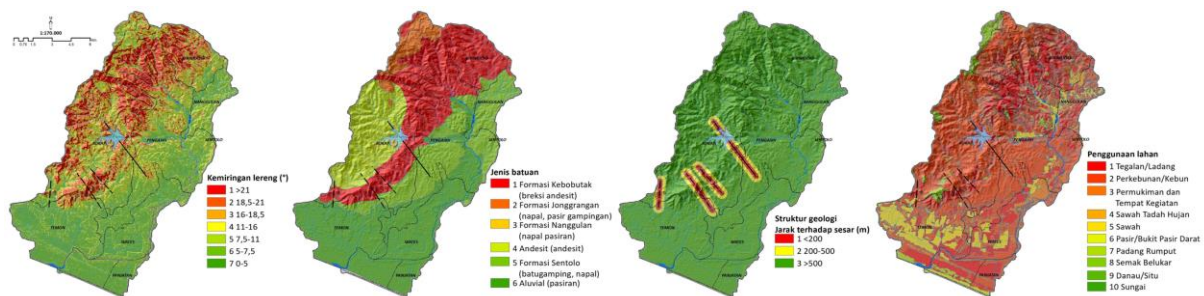
Keterangan (Remarks): CR= Consistency Rasio

Tabel (Table) 4. Nilai (r) dan bobot (w) jenis batuan (Value (r) and weight (w) of rock type)

Kelas jenis batuan (Rock type class)			
Jenis batuan (Rock type)	Peringkat (Rating)	Nilai (Value) (r)	Bobot (weight) (w)
Kebobutak (breksi andesit)	1	0,38	0,26
Jonggrangan (napal, pasir gampingan)	2	0,25	
Nanggulan (napal pasiran)	3	0,16	
Andesit (andesit)	4	0,10	
Sentolo (batugamping, napal)	5	0,08	
Aluvial (pasiran)	6	0,04	
	CR	4,0%	

Sumber (Source): Analisis (Analysis), 2021

Keterangan (Remarks): CR= Consistency Rasio



Gambar (Figure) 4. Nilai dari masing-masing variabel kerawanan (Value of each variable of vulnerability)

Sumber (Source): Analisis, 2021

### A.3. Jarak terhadap Sesar (Struktur Geologi)

Keterdapatan sesar merupakan indikator gaya statis dalam potensi kebencanaan (PerkaBNPB, 2012). Parameter jarak terhadap sumber sesar merupakan faktor pemicu gerakan tanah yang dipengaruhi oleh tenaga endogen (Kamp, Growley, & Khattak, 2008; Ugai et al., 2013). Daerah dengan jarak semakin dekat dengan sumber sesar memiliki potensi paling besar terhadap faktor pendorong gerakan tanah dan sebaliknya bila berada semakin jauh dari sumber sesar

memiliki faktor pendorong yang semakin kecil dan memiliki dampak yang semakin kecil (Febriarta & Wibowo, 2021; Tian et al., 2021). Hasil penilaian kelas struktur geologi diperoleh nilai rasio konsistensi yang sangat kecil yaitu 1,9% yang berarti memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi dan dapat digunakan sebagai analisis dengan nilai faktor pembobot 0,18. Nilai dan bobot parameter struktur geologi berupa jarak terhadap sesar disajikan pada Tabel 5 dan secara keruangan (spasial) disajikan pada Gambar 4.

Tabel (Table) 5. Nilai (r) dan bobot (w) jarak terhadap sesar (Value (r) and weight (w) of the distance to the fault)

Kelas jarak terhadap sesar (struktur geologi) (Distance class to fault (geological structure))			
Jarak Sesar (Fault Distance) (m)	Peringkat (Rating)	Nilai (Value) (r)	Bobot (weight) (w)
<200	1	0,595	0,181
200-500	2	0,340	
>500	3	0,050	
	CR	1,9	

Sumber (Source): Analisis (analysis), 2021

Keterangan (Remarks): CR= Consistency Rasio

#### A.4. Penggunaan Lahan

Paramater penggunaan lahan merupakan salah satu faktor dinamis dalam pemicu gerakan tanah (Chikalamo *et al.*, 2020; Sujit & Subrata, 2019). Prasad Bhandari, & Dhakal (2021) juga menjelaskan bahwa jenis penggunaan lahan yang mempunyai faktor pendorong gerakan tanah dicirikan dengan rendahnya kerapatan vegetasi dan atau dengan vegetasi yang terolah seperti tegalan dan perkebunan. Berdasarkan kondisi penggunaan lahan di DAS Serang (Gambar 4) penilaian dari parameter dengan kenampakan vegetasi dengan kerapatan rendah memiliki nilai peringkat tertinggi seperti tegalan atau ladang dengan nilai 0,29 dengan nilai rasio konsistensi sebesar 4,9% dan nilai bobot penggunaan lahan terkecil yaitu 0,07. Nilai dari kelas penggunaan lahan disajikan pada Tabel 6.

#### B. Zona Kerawanan Gerakan Tanah DAS Serang

Penilaian kerawanan gerakan tanah menggunakan skala keruangan (spasial) 1: 50.000 kecuali kondisi penggunaan lahan dengan skala 1: 25.000. Hasil penilaian

tersebut dapat digeneralisasikan menjadi pemetaan dengan ketelitian kecil atau <1:100.000. Hasil dari penilaian zona kerawanan gerakan tanah dengan pendekatan geomorfologi atau pembobotan tiap parameter (heuristik) diperoleh nilai indek kerawanan 0,03 - 0,05.

Berdasarkan kelas nilai indek kerawanan tersebut diperoleh tingkat kerawanan sangat rendah seluas 95,93 km<sup>2</sup> atau 46%, tingkat kerawanan rendah seluas 72,02 km<sup>2</sup> atau 34%, tingkat kerawanan menengah seluas 38,56 km<sup>2</sup> atau 18% dan tingkat kerawanan sangat tinggi seluas 1,96 km<sup>2</sup> atau 0,01% merupakan tingkat kerentanan paling kecil.

Berdasarkan pembobotan metode heuristik diketahui empat (4) kelas zona kerawanan gerakan tanah yaitu zona kerawanan gerakan tanah sangat rendah, rendah, menengah, dan sangat tinggi. Zona kerawanan sangat rendah merupakan daerah yang hampir tidak pernah terjadi gerakan tanah kecuali pada daerah di sekitar tebing (tanggul) sungai.

Tabel (Table) 6. Nilai (r) dan bobot (w) jenis penggunaan lahan (*Value (r) and weight (w) of land use*)

Kelas penggunaan lahan ( <i>Land use class</i> )			
Jenis Penggunaan lahan ( <i>Land use</i> )	Peringkat ( <i>Rating</i> )	Nilai ( <i>Value</i> ) (r)	Bobot ( <i>weight</i> ) (w)
Tegalan/ladang	1	0,30	
Perkebunan/kebun	2	0,23	
Permukiman dan tempat kegiatan	3	0,12	
Sawah tadah hujan	4	0,12	
Sawah irigasi	5	0,08	
Pasir/bukit pasir darat	6	0,06	0,07
Padang rumput	7	0,04	
Semar belukar	8	0,03	
Danau/situ/waduk	9	0,02	
Sungai	10	0,01	
	CR	4,9%	

Sumber (*Source*): Analisis (*analysis*), 2021

Keterangan (*Remarks*): CR= *Consistency Rasio*

Zona kerawanan sangat rendah dicirikan dengan kondisi kemiringan lereng 0-7,5°, kondisi penyusun batuan berupa batu andesit yang merupakan bagian dari terobosan Formasi andesit dan pasiran yang merupakan bagian dari endapan Aluvial, berada dalam radius atau berjarak >500m dari pusat sesar dengan penggunaan lahan vegetasi kerapatan rendah, seperti sawah, padang rumput dan semak belukar.

Zona kerawanan gerakan tanah rendah merupakan kecenderungan terjadinya gerakan tanah yang secara umum jarang terjadi. Gerakan tanah berdimensi kecil dimungkinkan dapat terjadi terutama pada tebing (alur) sungai. Zona kerawanan rendah di DAS Serang dicirikan dengan kondisi kemiringan lereng <11°, kondisi jenis batuan napal pasiran yang merupakan bagian dari sebagian Formasi Sentolo dan Nanggulan, jarak dari sumber sesar >500 m dengan penggunaan lahan dengan vegetasi kerapatan rendah. Hasil survei kejadian longsor eksisting pada zona rendah terjadi 1 kali (Gambar 5) di Desa Hargomulyo dengan tipe longSORan nendatar atau gerakan tanah rotasi (*slump*) berbutir halus pada tahun 2021.



Gambar (Figure) 5. Jumlah kejadian gerakan tanah pada zona kerawanan gerakan tanah (*Number of landslide events in the vulnerability zone*)

Sumber (Source): Analisis (*analysis*), 2021

Langkah mitigasi dalam upaya antisipasi kerawanan gerakan tanah pada zona sangat rendah hingga rendah adalah dengan pengenalan atau edukasi tanda-tanda bencana longsor di sekitar zona kerentanan rendah.

Zona kerawanan gerakan tanah menengah merupakan daerah dengan kecenderungan kejadian atau dapat mengalami gerakan tanah. Hal tersebut secara kemiringan lereng memiliki topografi yang bergelombang yang memicu gerakan tanah yang utama (Arata *et al.*, 2020; Miyagi, 2018; Yu *et al.*, 2021). Zona kerawanan gerakan tanah menengah di DAS Serang dicirikan dengan kondisi kemiringan lereng hingga 21°, kondisi jenis batuan penyusun berupa napal dan pasiran dengan tekstur lepas-lepas, jarak dari sumber sesar 200-500 m dan penggunaan lahan lahan dengan kerapatan vegetasi sedang.

Distribusi kejadian gerakan tanah (longsor) pada zona menengah mengalami peningkatan yaitu berjumlah 4 kejadian dalam kurun waktu 3 tahun (2019-2021). Tipe gerakan tanah secara umum termasuk tipe yang sama pada zona rendah yaitu tipe longSORan nendatan atau gerakan tanah rotasi (*slump*) berbutir halus-sedang, dan tipe pencaran atau gerak lateral (*lateral spread*) yang dicirikan dengan pergerakan masa tanah atau batuan dengan perpindahan transisi pada kemiringan landai sampai datar dan dapat berbentuk pencaran ke segala arah. Lokasi kejadian tersebut terdistribusi di perbukitan Kebobutak dengan kemiringan lereng 5-11°, yang secara administrasi terdapat di Desa Temon Wetan Kecamatan Temon, Desa Hargomulyo, Hargowilis Kecamatan

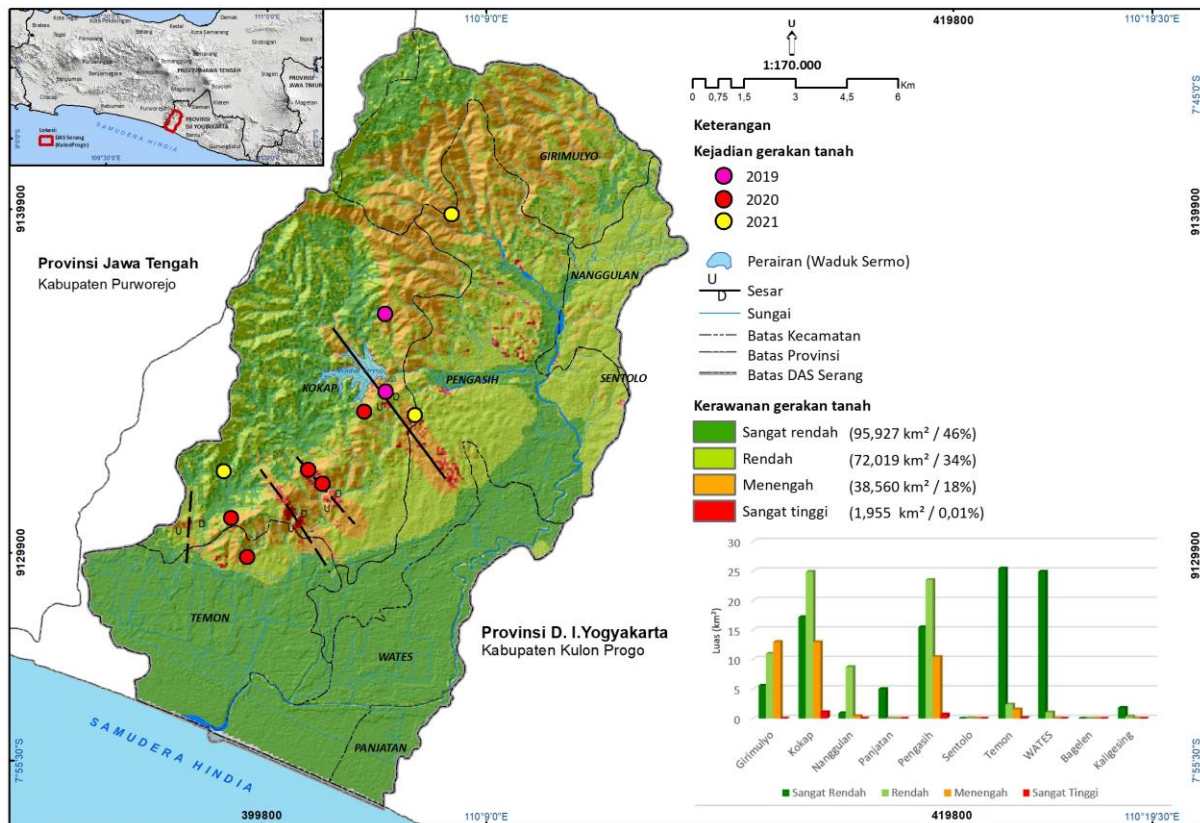
Kokap dan Desa Sidomulyo Kecamatan Pengasih. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa distribusi kejadian gerakan tanah (longsor) berkorelasi dengan zona yang semakin rawan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan secara keruangan (spasial) disajikan pada Gambar 6. Hasil tersebut serupa dengan hasil penelitian Febriarta & Wibowo, (2021) dan Titisari *et al.*, (2019) yang menunjukkan daerah semakin terjal dengan faktor keamanan lereng tidak kompak memiliki tingkat kerawanan gerakan tanah yang tinggi dan kejadian longsor yang intensif.

Langkah mitigasi dalam upayaantisipasi kerawanan gerakan tanah pada zona menengah dengan intensitas 4 kejadian gerakan tanah atau longsor, seperti pada Gambar 5 antara lain adalah pemberian informasi atau edukasi kepada masyarakat disekitar zona kerawanan menengah tentang ciri-ciri potensi daerah rawan bencana dan tanda-tanda pemicu longsor, pemberian tanda atau marka potensi bahaya longsor dan pembuatan jalur mitigasi berupa titik kumpul pada area terbuka dari zona kerawanan menengah.

Zona gerakan tanah sangat tinggi dapat didefinisikan dengan daerah yang sering mengalami kejadian gerakan tanah. Seperti pada grafik kejadian di DAS Serang (Gambar 5) ditunjukkan kejadian gerakan tanah (longsor) tertinggi kejadian gerakan tanah (longsor) sejumlah lima (5) kali dalam kurun waktu tiga (3) tahun. Wilayah

yang sering terjadi berada di di Desa Hargorejo dan Hargowilis Kecamatan Kokap dengan lokasi yang berdekatan dan di Desa Kaligintung Kecamatan Temon. Tipe longsor berupa longsor transisi, yaitu masa batuan atau tanah yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk kurang lebih rata (*planar*) atau bergelombang landai. Zona gerakan tanah sangat tinggi tersebut dicirikan atau dipengaruhi kondisi kemiringan lereng  $>21^\circ$  atau dengan sudut miring hingga terjal, penyusun jenis batuan pembentuk kolumium dimana secara geologi regional tersusun atas napal pasiran dengan struktur lepas-lepas yang merupakan bagian dari Formasi Nanggulan, Jonggrangan dan Kebobutak, memiliki jarak dengan sumber sesar  $<200\text{m}$  dan jenis penggunaan lahan dengan vegetasi kerapatan rendah dan terolah seperti tegalan, kebun dan permukiman.

Distribusi zona kerentanan gerakan tanah (longsor) sangat tinggi disajikan pada Gambar 6. Langkah mitigasi pada zona gerakan tanah sangat tinggi antara lain pemberian pemahaman kepada masyarakat disekitar zona kerawanan sangat tinggi dengan ciri-ciri longsor, pendampingan pembentukan satuan penanggulangan bencana pada tingkat desa, pembuatan jalur evakuasi berserta marka (seperti arah jalur evakuasi dan titik kumpul), pembuatan rencana pengelolaan dan perlindungan potensi bencana longsor yang ditetapkan oleh undang-undang.



Gambar (Figure) 6. Zona kerawanan gerakan tanah (longsor) di DAS Serang (*Landslide vulnerability zone in the Serang watershed*)

Sumber (Source): Analisis (analysis), 2021

#### IV. KESIMPULAN

Metode heuristik dalam penentuan zona gerakan tanah (longsor) dapat menyajikan nilai indek kerawanan dengan nilai panjang sehingga dapat mengidentifikasi secara spesifik distribusi zona kerawanan. Hasil analisis heuristik dapat menyajikan kerawanan longsor dari sifat kelerengan dan sifat kemiringan lereng, yaitu faktor dominan pendorong gerakan tanah yaitu kemiringan lereng dan jenis batuan. Hasil nilai kerentanan tinggi mempunyai korelasi dengan kejadian longsor aktual dengan intensitas yang tinggi (3 kejadian) seperti di Kecamatan Kokap pada tahun 2020 dengan kondisi kemiringan lereng miring hingga curam, sedangkan semakin kecil atau rendah kerawanan longsor

menunjukkan kejadian longsor yang semakin sedikit hingga tidak terjadi kejadian longsor. Secara umum kerentanan sangat rendah terdapat di sebagian kecamatan Girimulyo, Kokap, Panjatan, Pengasih, Temon, Wates dan Kaligesing, kerentanan rendah terdapat di sebagian Kecamatan Girimulyo, Kokap, Nanggulan, Pengasih, Temon, dan Wates. kerentanan menengah terdapat dibagian Kecamatan Girimulyo, Kokap, Pengasih dan Temon, dan kerentanan tinggi terdapat di Sebagian Kecamatan Kokap dan Pengasih.

#### V. SARAN

Pemodelan secara heuristik penentuan zona gerakan tanah (longsor) dapat dikembangkan dengan menambahkan

perhitungan sifat kelerengan dinamis untuk merepresentasikan kondisi lingkungan (di lapangan), yaitu 1) parameter ketebalan tanah pelapukan, 2) sifat geoteknik, dan 3) dampak dari nilai kegempaan PGA (*Peak Ground Acceleration*).

### UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan lanjutan dari Pengembangan Sistem Informasi yang difasilitasi oleh Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Kulon Progo DIY pada tahun 2021. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Kulon Progo dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Kulon Progo DIY yang telah mendukung dan memfasilitasi penelitian ini.

### KONTRIBUSI PENULIS

**Penulis Pertama**, Erik Febriarta: mendisain metode penelitian, analisis data dan membuat naskah publikasi.

**Penulis Kedua**, Ajeng Larasati: melakukan analisis dan interpretasi hasil.

**Penulis Ketiga**, Dhandhun Wacano: melakukan pengolahan/pemodelan dengan system informasi geografis.

**Penulis Keempat**, Ika Afianita Suherningtyas: melakukan perhitungan skoring pemodelan dan mereview naskah publikasi.

### DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, Asmita, Christianto Lopulisa, A. Imran, and Sumbangan Baja. 2018. "Mineral Tanah Sebagai Indikator Stabilitas Tanah Pada Daerah

Berlereng: Studi Kasus Tombolopao Kabupaten Gowa." *Jurnal Ecosolum* 7(1):33. doi: 10.20956/ecosolum.v7i1.5214.

Arata, Yohei, Takashi Gomi, and Roy C. Sidle. 2020. "Topographic Features and Stratified Soil Characteristics of a Hillslope with Fissures Formed by the 2016 Kumamoto Earthquake." *Geoderma* 376(July). doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114547.

Asep Mulyono, Prahara Iqbal. 2015. "Karakteristik Fisik Tanah Longsorang Di Jalur Transek Liwa-Bukit Kemuning Lampung Barat." *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi* 6(1):9-18. doi: <http://dx.doi.org/10.34126/jlbg.v6i1.72>.

BIG. 2018a. *Rupa Bumi Indonesia: Vegetasi Kabupaten Kulon Progo*. Cibinong, Inonesia: Badan Informasi Geospasial (BIG).

BIG. 2018b. *Rupa Bumi Indonesia: Vegetasi Kabupaten Purworejo*. Cibinong, Inonesia: Badan Informasi Geospasial (BIG).

BPBD. 2019. *Laporan Kinerja Instansi Pemerintah Tahun 2019*. Kulon Progo, Yogyakarta: Badan Penanggulangan Bencana Daerah.

BPBD. 2020. *Infografis Daerah Istimewa Yogyakarta Tahunan 2020*. Yogyakarta, Indonesia: Badan Penanggulangan Bencana Daerah.

BSN. 2016. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 8291:2016 Tentang Penyusunan Dan Penentuan Zona Kerentanan Gerakan Tanah*. Jakarta, Indonesia: Badan Standardisasi Nasional (BSN).

Chikalomo, Elias E., Olga C. Mavrouli, Janneke Ettema, Cees J. van Westen, Agus S. Muntohar, and Akhyar Mustofa. 2020. "Satellite-Derived Rainfall Thresholds for Landslide Early Warning in Bogowonto Catchment,



- Central Java, Indonesia.” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 89(March):102093. doi: 10.1016/j.jag.2020.102093.
- Collico, Stefano, Marcos Arroyo, Roger Urgeles, Eulàlia Gràcia, Marcelo Devincenzi, and Norma Pérez. 2020. “Probabilistic Mapping of Earthquake-Induced Submarine Landslide Susceptibility in the South-West Iberian Margin.” *Marine Geology* 429(July). doi: 10.1016/j.margeo.2020.106296.
- DPU. 2007. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22/PRT/M/2007 Tentang Pedoman Kawasan Rawan Bencana Longsor*. Jakarta, Indonesia: Departemen Pekerjaan Umum (DPU).
- Elmoulat, Meryem, Olivier Debauche, Saïd Mahmoudi, Sidi Ahmed Mahmoudi, Pierre Manneback, and Frédéric Lebeau. 2020. “Edge Computing and Artificial Intelligence for Landslides Monitoring.” *Procedia Computer Science* 177:480–87. doi: 10.1016/j.procs.2020.10.066.
- Enrique, M., and P. R. Milagros. 2017. *Practical Decision Making: An Introduction to the Analytic Hierarchy Process (AHP) Using Super Decisions*. Springer International Publishing: Springer Briefs in Operations Research.
- Febriarta, Erik, Afrinia Lisditya Permatasari, and Ika Afianita Suherningtyas. 2020. *Modul 01 Penilaian & Penentuan Zona Kerentanan Gerakan Tanah (Longsor) Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Yogyakarta, Indonesia: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas AMIKOM Yogyakarta.
- Febriarta, Erik, and Yunus Aris Wibowo. 2021. “Kerentanan Gerakan Tanah Menggunakan Teknik Geospasial Statistik Di Macang Pacar, Nusa Tenggara Timur.” *Jurnal Geografi* 18(1):9–20. doi: <https://doi.org/10.15294/jg.v18i1.26234>.
- Kamp, U., B. Growley, and G. Khattak. 2008. “GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping for the 2005 Kashmir Earthquake Region.” *Geomorphology* 101(4):631–42.
- KESDM. 2018. *Geologi*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- KLHK. 2018. *Klasifikasi Daerah Aliran Sungai (DAS)*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).
- Lin, Changsheng, and Gang Kou. 2021. “A Heuristic Method to Rank the Alternatives in the AHP Synthesis.” *Applied Soft Computing* 100:106916. doi: 10.1016/j.asoc.2020.106916.
- Lombardo, Luigi, and Hakan Tanyas. 2020. “Chrono-Validation of near-Real-Time Landslide Susceptibility Models via Plug-in Statistical Simulations.” *Engineering Geology* 278(August). doi: 10.1016/j.enggeo.2020.105818.
- Lombardo, Luigi, Hakan Tanyas, and Ionut Cristi Nicu. 2020. “Spatial Modeling of Multi-Hazard Threat to Cultural Heritage Sites.” *Engineering Geology* 277(July). doi: 10.1016/j.enggeo.2020.105776.
- Lu, Yan, Hongwen Xu, Yuexiang Wang, and Yang Yang. 2017. “Evaluation of Water Environmental Carrying Capacity of City in Huaihe River Basin Based on the AHP Method: A Case in Huai’an City.” *Water Resources and Industry* 18(October):71–77. doi: 10.1016/j.wri.2017.10.001.
- Martin, Klose. 2015. *Landslide Databases as Tools for Integrated Assessment of Landslide Risk*. Springer.

- Menhut. 2011. *Keputusan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor SK.11/Menhut-V/2011 Tentang Penetapan Peta Daerah Aliran Sungai*. Jakarta, Indonesia: Menteri Kehutanan, Republik Indonesia.
- Miyagi, T. 2018. *Landslide Dynamic Volume 1: Fundamental, Mapping and Monitoring, Landslide Mapping Through The Interpretation Of Aerial Photographs*. Switzerland: Springer.
- Murali, R. Mani, Ankita M., and Vethamony P. 2018. "A New Insight to Vulnerability of Central Odisha Coast, India Using Analytical Hierarchical Process (AHP) Based Approach." *Journal of Coastal Conservation* 22(4):799–819. doi: 10.1007/s11852-018-0610-4.
- PerkaBNPB. 2012. *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana No.02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana*. Jakarta, Indonesia: Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- PerKaBNPB. 2012. *Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana Nomor 02 Tahun 2012*. Jakarta, Indonesia: Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB).
- Pitaloka, I., A. Suprayogi, and A. Nugraha. 2018. "Identifikasi Daerah Rawan Longsor Dengan Menggunakan Metode Smorph Dan Sig (Studi Kasus : Kecamatan Semarang Barat)." *Jurnal Geodesi Undip* 7(4):176–84.
- Pourghasemi, Hamid Reza, Narges Kariminejad, Amiya Gayen, and Marko Komac. 2020. "Statistical Functions Used for Spatial Modelling Due to Assessment of Landslide Distribution and Landscape-Interaction Factors in Iran." *Geoscience Frontiers* 11(4):1257–69. doi: 10.1016/j.gsf.2019.11.005.
- Pradhan, Sarada Prasad, and Tariq Siddique. 2020. "Stability Assessment of Landslide-Prone Road Cut Rock Slopes in Himalayan Terrain: A Finite Element Method Based Approach." *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 12(1):59–73. doi: 10.1016/j.jrmge.2018.12.018.
- Prasad Bhandari, Bharat, and Subodh Dhakal. 2021. "A Multidisciplinary Approach of Landslide Characterization: A Case of the Siwalik Zone of Nepal Himalaya." *Journal of Asian Earth Sciences*: X 5:100061. doi: 10.1016/j.jaesx.2021.100061.
- Priyono. 2015. "Hubungan Klasifikasi Longsor, Klasifikasi Tanah Rawan Longsor Dan Klasifikasi Tanah Pertanian Rawan Longsor." *GEMA* 1(1):1602–16.
- Raharjo, P. D., K. Widiyanto, S. Winduhutomo, and M. Al' Afif. 2019. "Peranan Geomorfologi Dalam Perencanaan Bangunan Zona Ancaman Longsor Tinggi Di Kawasan Geopark Karangsambung-Karangbolong Bagian Utara." *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi* 10(3):139–48.
- Raharjo, Puguh D., Kritiawan Widiyanto, Sueno Winduhutomo, and Mohammad Al' Afif. 2020. "Peranan Geomorfologi Dalam Perencanaan Bangunan Pada Zona Ancaman Longsor Tinggi Di Kawasan Geopark Karangsambung-Karangbolong Bagian Utara." *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi* 10(3):139. doi: 10.34126/jlbg.v10i3.274.
- Raharjo, Wartono, Sukandarrumidi, and H. M. D. Rosidi. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta*. Bandung, Indonesia: Badan Geologi.
- Rini, Rini, and Melloukay Ardan. 2018. "Analisa Nilai Kohesi Dan Sudut Geser Tanah Lempung Yang Distabilisasi

- Dengan Arang Kayu." *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation* 1(2):105. doi: 10.31289/jcebt.v1i2.1681.
- Roma, T. I. S., D. Nemchinov, D. Martiyahin, A. Mikhailov, A. Kostsov, and M. Nemchinov. 2020. "A Fuzzy Methodology to Evaluate the Landslide Risk in Road Lifelines." *Transportation Research Procedia* 45(2019):13–20.
- Saaty, Thomas L. 2004. "Decision Making — the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP)." *Journal of Systems Science and Systems Engineering* 13(1):1–35. doi: 10.1007/s11518-006-0151-5.
- Sassa, Kyoji, Fausto Guzzetti, Hiromitsu Yamagishi, Željko Arbanas, Nicola Casagli, Mauri McSaveney, and Khang Dang, eds. 2018. *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*. Cham: Springer International Publishing.
- Setyaningrum, Agustina, and Erik Febriarti. 2019. "Analisis Kesesuaian Dan Daya Dukung Ekowisata Pantai Kategori Rekreasi Pantai Kuwaru Kabupaten Bantul Yogyakarta." *Seminar Nasional Pengelolaan Pesisir Dan Daerah Aliran Sungai Ke-5* 5(March):36–41. doi: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/82PTU>.
- Sharma, Hari Bhakta, Sagarika Panigrahi, Ajit K. Sarmah, and Brajesh K. Dubey. 2019. "Landslide Size Matters: A New Data-Driven, Spatial Prototype." *Science of the Total Environment* 135907. doi: [doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106288](https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106288).
- Steger, Stefan, Elmar Schmaltz, and Thomas Glade. 2020. "The (f)Utility to Account for Pre-Failure Topography in Data-Driven Landslide Susceptibility Modelling." *Geomorphology* 354:107041. doi: 10.1016/J.GEOMORPH.2020.107041.
- Sujit, Mandal, and Mondal Subrata. 2019. *Geoinformatics and Modeling of Landslide Susceptibility and Risk, An RS and GIS Based Model Building Approach Inthe Eastern Himayala*. Switzerland: Springer.
- Syarafina, Akalili Zafirah, and Dyah Respati Suryo Sumunar. 2018. "TINGKAT DAN SEBARAN RISIKO BENCANA TANAH LONGSOR DI KECAMATAN WINDUSARI KABUPATEN MAGELANG." *Geomedia: Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian* 15(2). doi: 10.21831/gm.v15i2.19559.
- Tang, Chongjun, Yu Liu, Zhongwu Li, Liping Guo, Aizhen Xu, and Jiading Zhao. 2021. "Effectiveness of Vegetation Cover Pattern on Regulating Soil Erosion and Runoff Generation in Red Soil Environment, Southern China." *Ecological Indicators* 129:107956. doi: 10.1016/J.ECOLIND.2021.107956.
- Thanh Thi Pham, Nga, Duy Nong, Archana Raghavan Sathyan, and Matthias Garschagen. 2020. "Vulnerability Assessment of Households to Flash Floods and Landslides in the Poor Upland Regions of Vietnam." *Climate Risk Management* 28(July 2019). doi: 10.1016/j.crm.2020.100215.
- Tian, Pei, Zhanliang Zhu, Qimeng Yue, Yi He, Zhaoyi Zhang, Fanghua Hao, Wenzhao Guo, Lin Chen, and Muxing Liu. 2021. "Soil Erosion Assessment by RUSLE with Improved P Factor and Its Validation: Case Study on Mountainous and Hilly Areas of Hubei Province, China." *International Soil and Water Conservation Research* 9(3):433–44. doi: 10.1016/J.ISWCR.2021.04.007.
- Titisari, Anastasia Dewi, Hitznaiti Zaidini', Khul Husna, Ilham Dharmawan Putra,

- and I. Gde Budi Indrawan. 2019. "Penentuan Zona Kerentanan Longsor Berdasarkan Karakteristik Geologi Dan Alterasi Batuan." *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (Indonesian Journal of Community Engagement)* 4(2):141. doi: 10.22146/jpkm.35935.
- Ugai, Keizo, Hiroshi Yagi, and Akihiko Wakai, eds. 2013. *Earthquake-Induced Landslides*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Viaciogo, G. 2013. *Landslide Science Adn Practice, Volume 3, Spasial Analysisi Adn Modeling Geomechanical Basis of Lansdlide Classification and Modeling of Triggering*. Berlin: Springer.
- Watkins, Jessica A., Bethany L. Ehlmann, and An Yin. 2020. "Spatiotemporal Evolution, Mineralogical Composition, and Transport Mechanisms of Long-Runout Landslides in Valles Marineris, Mars." *Icarus* 350(May). doi: 10.1016/j.icarus.2020.113836.
- Yu, Ye, Changmin Zhang, Li Wang, Shaohua Li, Andrew Hursthouse, Yanran Huang, and Taotao Cao. 2021. "Sedimentary Characteristics and Genetic Mechanism of a Deep-Water Channel System in the Zhujiang Formation of Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin." *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 168:103456. doi: 10.1016/j.dsr.2020.103456.

Halaman ini sengaja dibiarkan kosong