

Zonasi Kerawanan Bencana Gerakan Massa Tanah di Kabupaten Puncak, Provinsi Papua

Bayu Argadyanto Prabawa ^{a, 1*}, Erik Febriarta ^{b, 2}, Ridwan Ardiyanto ^{c, 3}, Fredi Satya Candra Rosaji ^{c, 4}

^a Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

^b Palawa Karya, www.palawakarya.co.id, Yogyakarta, Indonesia

^c PT. Mitra Geotama Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

¹ bayu.prabawa@staff.uty.ac.id*; e.febriarta@gmail.com; ridwan.ardiyanto07@gmail.com; satya.fredi@gmail.com

*korespondensi penulis

Informasi artikel	ABSTRAK
<p><i>Sejarah artikel</i> Diterima : 4 Juni 2022 Revisi : - Dipublikasikan : 31 Mei 2023</p> <p>Kata kunci: Pemetaan Bencana Kerawanan Gerakan massa tanah <i>Frequency Ratio</i></p>	<p>Kondisi geografis dan geomorfologis Kabupaten Puncak memiliki probabilitas untuk mengalami bencana tersebut, serta berdasarkan pencarian berita diperoleh bahwa gerakan massa tanah telah terjadi di Kabupaten Puncak dan menelan korban jiwa. Penelitian bertujuan untuk memetakan zonasi kerawanan gerakan massa tanah di Kabupaten Puncak dan menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhinya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah model statistik <i>Frequency Ratio</i> menggunakan beberapa variabel seperti <i>slope</i>, <i>aspect</i>, jenis batuan, kerapatan kelurusan, jarak dari struktur geologi, tekstur tanah, jarak dari sungai, dan jarak dari jalan. Hasil model divalidasi menggunakan nilai <i>Area Under Curve</i>. Hasil analisis menunjukkan menunjukkan bahwa Kabupaten Puncak didominasi oleh kelas tidak rawan hingga sedang pada bagian utara, sedangkan pegunungan Puncak Jaya memiliki kelas kerawanan tinggi-sangat tinggi. Variabel yang paling berpengaruh pada kejadian gerakan massa tanah adalah jenis batuan, kerapatan kelurusan, serta <i>slope</i>. Hasil validasi menunjukkan bahwa hasil model kerawanan gerakan massa tanah ini telah dapat diterima secara statistik.</p>
<p>Keywords: Mapping Disaster Susceptibility Landslide Frequency Ratio</p>	<p>ABSTRACT The geographical and geomorphological conditions of Puncak Regency has a probability of experiencing the disaster, and based on news, it was found that the mass movements had occurred in Puncak Regency and claimed lives. This research aims to map the mass movement susceptibility zonation in Puncak Regency and analyze the factors that influence it. Method used in this research is a statistical model <i>Frequency Ratio</i> using several variables such as slope, aspect, rock type, lineament density, distance from geological structures, soil texture, distance from rivers, and distance from roads. The model results validated using the <i>Area Under Curve</i> value. The results shows that Puncak Regency dominated by the non-susceptible to moderately susceptible in the northern part, while the Puncak Jaya mountains has a high-very high susceptibility class. The most influential variables on the occurrence of mass movement are rock type, lineament density, and slope. The validation results show that the results of the mass movement susceptibility model is statistically acceptable.</p>

Pendahuluan

Aspek kebencanaan menjadi salah satu faktor digunakan dalam menilai kemampuan suatu lahan, kawasan, dan/atau wilayah untuk dapat dikembangkan dalam perencanaan tata ruang (Kementerian Pekerjaan Umum, 2007). Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana mengamanatkan bahwa paradigma penanggulangan bencana telah bergeser orientasinya ke arah pengurangan risiko atau upaya mitigasi bencana (Pemerintah RI, 2007). Pemetaan kawasan rawan bencana geologi yang menjadi salah satu program Pemerintah Provinsi Papua yang tertuang dalam Rencana Kerja Pemerintah Daerah (RKPD) Papua baru memiliki capaian sebesar 40% pada tahun 2020 dan meningkat menjadi 50% pada tahun 2021 (BAPPEDA Provinsi Papua, 2020, 2021).

Gerakan massa tanah (*mass wasting/mass movement*) dapat diartikan sebagai sebuah seri kejadian bergeraknya sebuah massa tanah, bahan rombakan, maupun batuan menuruni lereng yang dipengaruhi gaya gravitasi, yang diakibatkan oleh instabilitas tanah maupun batuan penyusun lereng (Arabameri et al., 2020; Karnawati, 2005; Silalahi, Pamela, Arifianti, & Hidayat, 2019). Kejadian gerakan massa tanah secara umum disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor pengontrol dan pemicu (Karnawati, 2005). Faktor-faktor tersebut dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1 Faktor penyebab terjadinya gerakan massa tanah

Faktor Pengontrol	Faktor Pemicu
Kondisi geomorfologi	Curah hujan
Kondisi tanah dan batuan	Aktifitas kegempaan (getaran gempa)
Kondisi struktur geologi	Aktifitas manusia
Kondisi hidrologi	
Kondisi penutup/penutup lahan	

Sumber : (Karnawati, 2005)

Bencana gerakan massa tanah secara global masuk sebagai urutan ketiga terbesar yang menyebabkan banyak kerusakan, baik kerusakan infrastruktur, bangunan, maupun korban jiwa manusia (Zillman, 1999 dalam Javad et al., 2014). Beberapa jenis gerakan massa tanah dijabarkan oleh Highland & Bobrowsky (2008) antara lain : tipe jatuhnya (*fall*), tipe luncuran (*slide*), tipe menyebar (*spread*), dan tipe aliran (*flow*).

Kondisi geografis dan geomorfologis Kabupaten Puncak memiliki probabilitas untuk mengalami bencana gerakan massa tanah, sehingga kajian kerawanan bencana gerakan massa tanah menjadi penting dilakukan. Kerawanan bencana gerakan massa tanah adalah suatu penilaian probabilitas atau kecenderungan kejadian gerakan massa tanah pada suatu lokasi/wilayah di masa yang akan datang (Hervas & Bobrowsky, 2009). Zonasi kerawanan gerakan massa tanah merupakan representasi dari suatu lahan yang homogen atau memiliki kelas yang sama berdasarkan derajat aktual atau potensial dari kerawanan gerakan massa tanah. BAPPEDA Provinsi Papua (2020) dalam RKPD 2020 menggolongkan Kabupaten Puncak ke dalam unit fisiografis Pegunungan Tengah Papua yang memiliki kemungkinan untuk kejadian bencana gerakan massa tanah dalam golongan mungkin terjadi, serta berdasarkan pencarian berita diperoleh bahwa kejadian gerakan massa tanah telah terjadi di Kabupaten Puncak, tepatnya di Distrik Ilaga yang mengakibatkan 2 korban jiwa serta Distrik Gome yang menyebabkan 4 korban jiwa (Iriani, 2013); Ruqoyah & Ambarita, 2014). Tri Handayani (2014) dalam kajiannya menyatakan bahwa gerakan massa tanah yang terjadi di Kabupaten Puncak, khususnya di Distrik Ilaga terkarakterisasi menjadi rayapan tanah (*soil creep*) dan amblesan (*subsidence*). Penelitian bertujuan untuk memetakan zonasi kerawanan gerakan massa tanah di Kabupaten Puncak, Provinsi Papua dan menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Metode

Variabel pengontrol gerakan massa tanah yang digunakan dalam kajian kerawanan kali ini antara lain kelerengan, tekstur tanah, jenis

batuan (formasi geologi), jarak dari struktur geologi, kerapatan kelurusan (*lineament density*), jarak dari sungai, dan jarak dari jalan (Gambar 1).

Variabel-variabel pengontrol ini didapatkan dari hasil telaah pustaka. Variabel kelerengan menggunakan parameter kemiringan lereng (*slope*) dan arah hadap lereng (*aspect*), dimana kedua parameter kelerengan ini lazim digunakan dalam pemetaan kerawanan gerakan massa tanah. Data *slope*, kerapatan pola kelurusan, dan *aspect* diperoleh dari pemodelan data DEM. Data jalan diperoleh dari data Open Street Map yang didetilkan oleh digitasi *on screen* dari hasil interpretasi citra satelit.

Selain itu, variabel pengontrol lain yang sering digunakan adalah variabel tanah, geologi, jarak terhadap jalan, dan jarak terhadap sungai, dengan berbagai variasi kombinasi faktor yang lain (Anbalagan, Kumar, Lakshmanan, Parida, & Neethu, 2015; Javad et al., 2014; Khan et al., 2019; Putra, Ismail, & Faisal, 2015; Saha, Gupta, & Arora, 2002; Sarkar & Kanungo, 2004). Data formasi batuan dan struktur geologi diperoleh dari analisis Peta Geologi Bersistem Lembar Beoga (Panggabean et al., 1995). Klasifikasi variabel yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 2.

Model zonasi kerawanan gerakan massa tanah Kabupaten Puncak ini menggunakan analisis statistik bivariate dengan model probabilistik *Frequency Ratio*. Metode *Frequency Ratio* merupakan metode yang digunakan untuk mencari besaran probabilitas kejadian gerakan massa tanah sebagai pembobotan dari tiap variabel faktor pengontrol yang digunakan (Khan et al., 2019; Lepore, Kamal, Shanahan, & Bras, 2012; Saha et al., 2002; Silalahi et al., 2019). Rumus yang digunakan dalam metode *Frequency Ratio* dijabarkan sebagai berikut :

$$FR = \frac{Npix(1)/Npix(2)}{\Sigma Npix(3)/\Sigma Npix(4)}$$

$Npix(1)$ adalah jumlah piksel longsor yang terdapat pada klas parameter, $Npix(2)$ adalah jumlah total piksel tiap klas parameter di dalam suatu area, $Npix(3)$ adalah jumlah total piksel longsor, dan $Npix(4)$ adalah jumlah total piksel seluruh kelas parameter. Rumus kerawanan gerakan massa tanah adalah :

$$LSI : FR1 + FR2 + FR3 + \dots + FRn$$

LSI adalah *Landslide Susceptibility Index* (Indeks Kerawanan Gerakan Massa Tanah), sedangkan n adalah jumlah variabel pengontrol gerakan massa tanah yang digunakan.

Kelas kerawanan gerakan massa tanah akan dibagi menjadi 5 kelas, yaitu kerawanan sangat rendah, kerawanan rendah, kerawanan sedang, kerawanan tinggi, dan kerawanan sangat tinggi.

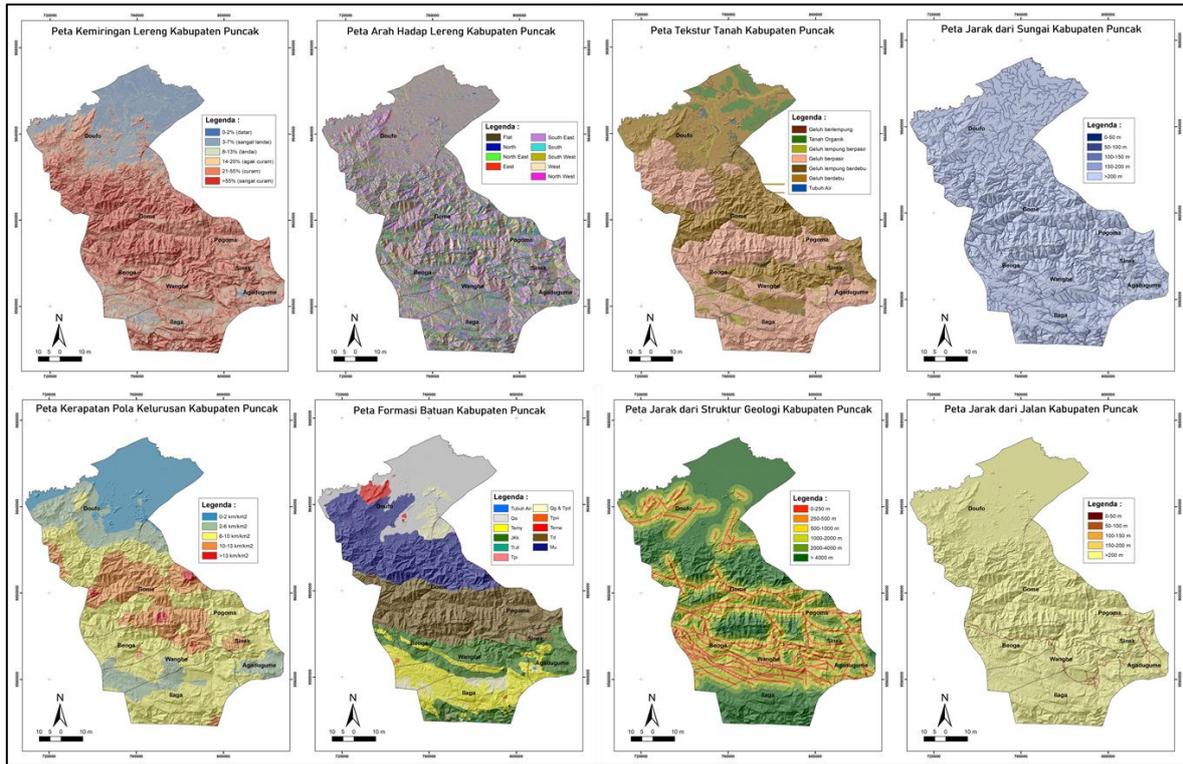
Hasil model selanjutnya divalidasi dengan metode ROC (*Receiver Operating Curve*) dengan melihat AUC (*Area Under Curve*). Model validasi statistik ini digunakan untuk mengetahui tingkat konsistensi hasil prediksi model dengan didasarkan pada plotting nilai *true positive* (rasio data gerakan massa tanah benar dengan seluruh data kerawanan) pada model *sensitivity*, dibandingkan dengan plotting model *specificity*, *true negative* (rasio area tanpa kejadian gerakan massa tanah dengan seluruh area total) (Pradhan dan Lee, 2010) pada Anbalagan et al., (2015)). menggambarkan nilai pengaruh kejadian terhadap hasil model, dengan rentang nilai 0-100%. Hasil kalkulasi AUC ditunjukkan dengan persentase daerah rawan (x) dibandingkan dengan persentase kumulatif kejadian gerakan massa tanah (y) (Pimiento, 2010), dengan rumus:

$$AUC = \sum_{i=0}^n (x_i - x_{i-1})y_i [(x_i - x_{i-1}) - (y_i - y_{i-1}) / 2]$$

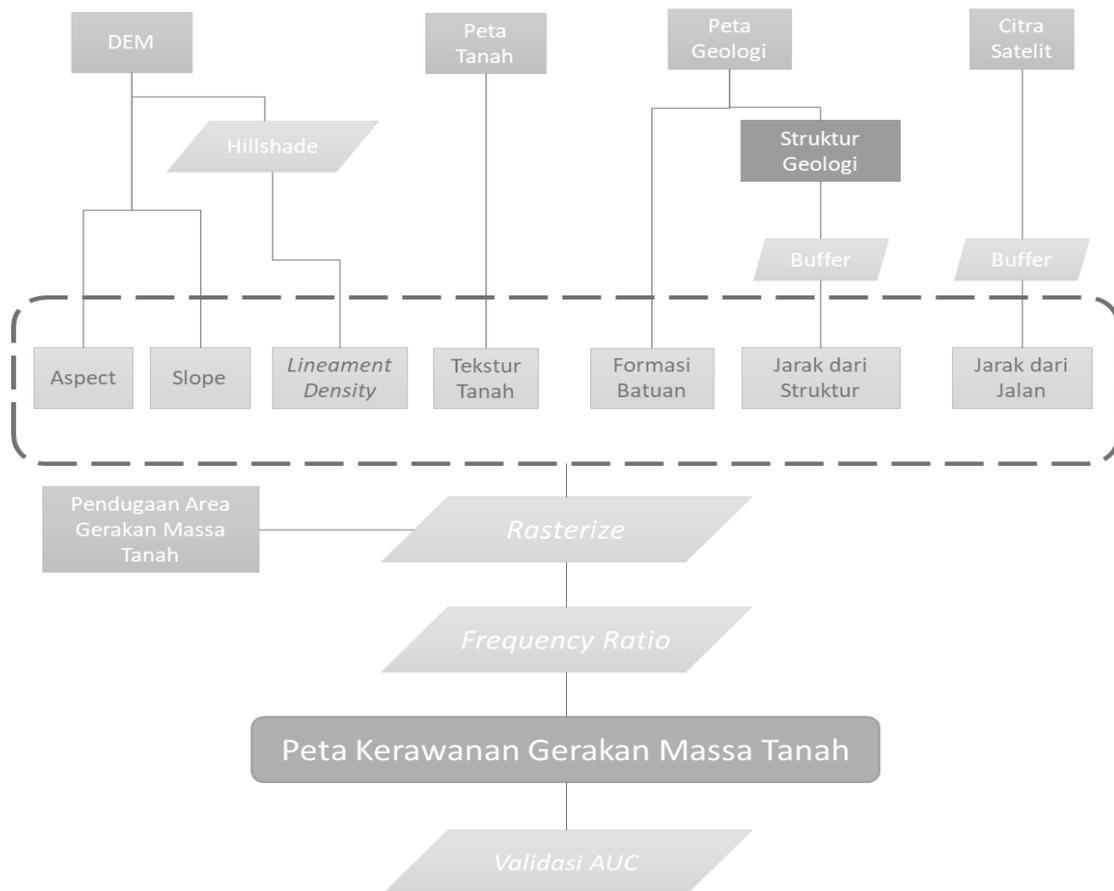
Dimana, x_i adalah persen area rawan bencana gerakan massa tanah, dan y_i = area kejadian bencana gerakan massa tanah. Nilai akurasi diperoleh dari kumulatif persentase luas area yang diprediksi rawan gerakan massa tanah pada kumulatif persen total luas area diduga gerakan massa tanah (Khan et al., 2019). Suatu model prediksi dianggap baik apabila nilai AUC adalah > 60%, yang menandakan ada pengaruh tinggi kejadian gerakan massa tanah terhadap parameter yang digunakan (Anbalagan et al., 2015; Javad et al., 2014; Mandal & Mondal, 2019; Pimiento, 2010; Pratiwi & Hadmoko, 2019; Silalahi et al., 2019). Alur pemetaan kerawanan gerakan massa tanah ditunjukkan oleh Gambar 2.

Tabel 2 Klas parameter dan variabel yang digunakan dalam analisis gerakan massa tanah

VARIABEL	PARAMETER	KLAS	VARIABEL	PARAMETER	KLAS
Lereng	<i>Slope</i>	0-2%	Geologi	Batuan/Formasi	Tubuh Air
		3-7%			Aluvium (Qa)
		8-13%			Batugamping (KTmn)
		14-20%			Batulumpur (JKk)
		21-55%			Batulumpur metasedimen (TrJt)
		>55%			Diorit (Tpi)
	<i>Aspect</i>	FLAT			Konglomerat (Qg & Tpd)
		N			Lava (Tpvi)
		NE			Lava intrusi (Tema)
		E			Batusabak, Filit (Td)
		SE		Ultramafik (Mu)	
		S		Jarak dari Struktur Geologi	0-250 m
		SW			250-500 m
		W			500-1000 m
NW	1000-2000 m				
Tanah	Tekstur tanah	Clay Loam	Jarak dari Struktur Geologi	2000-4000 m	
		Organic Matter		> 4000 m	
		Sandy Clay Loam		<i>Lineament Density</i>	0-2 km/km ²
		Sandy Loam	2-6 km/km ²		
		Silty Clay Loam	6-10 km/km ²		
		Silty Loam	10-13 km/km ²		
		Tubuh Air	>13 km/km ²		
Sungai	Jarak dari Sungai	<50 m	Jalan	Jarak dari Jalan	0-50 m
		50-100 m			50-100 m
		100-150 m			100-150 m
		150-200 m			150-200 m
		>200 m			>200 m



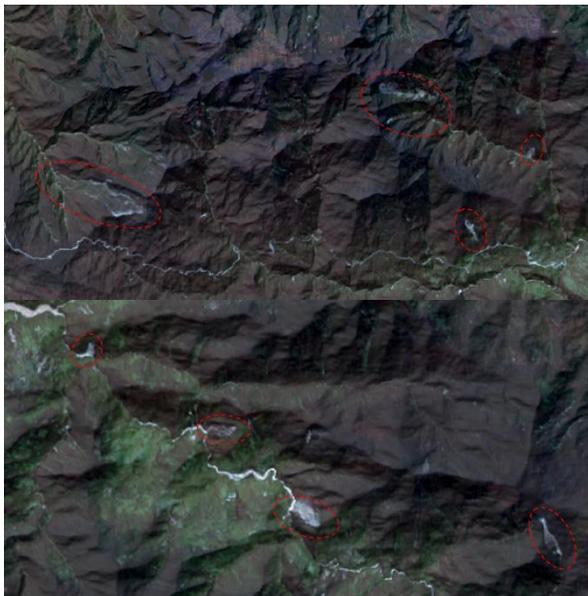
Gambar 1 Peta variabel pengontrol gerakan massa tanah



Gambar 2 Diagram alir pemetaan kerawanan gerakan massa tanah

Hasil dan pembahasan

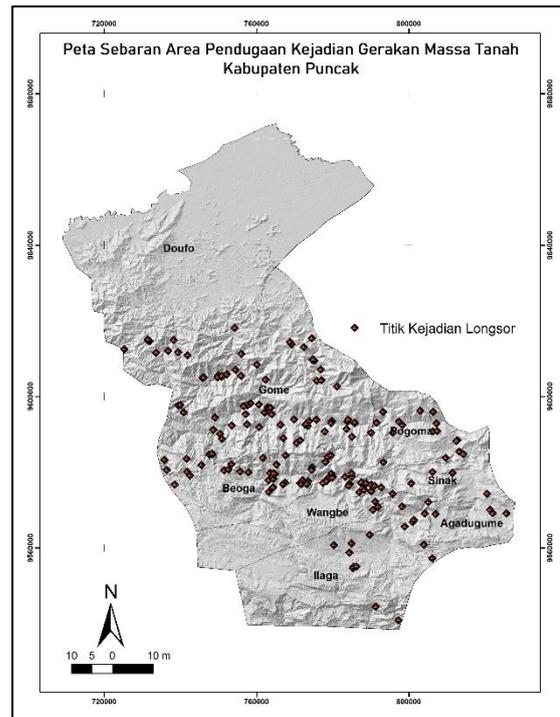
Hasil interpretasi pendugaan diperoleh sebanyak 180 lokasi yang diduga sebagai area kejadian gerakan massa tanah. Lokasi area diduga gerakan massa tanah terdapat di sepanjang perbukitan dan pegunungan pada sisi tengah hingga sisi selatan Kabupaten Puncak. Kenampakan area yang diduga sebagai area gerakan massa tanah ditunjukkan pada Gambar 3. Area kejadian gerakan massa tanah ini digunakan dalam model *Frequency Ratio* sebagai faktor pembobot parameter-parameter yang digunakan, semakin banyak piksel area gerakan massa tanah yang ada di dalam piksel klas parameter, maka skor klas parameter akan semakin tinggi. Sebaran area pendugaan kejadian gerakan massa tanah di Kabupaten Puncak ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 3 Ilustrasi area yang diduga sebagai area kejadian gerakan massa tanah (lingkaran bergaris putus-putus warna merah)

Hasil analisis parameter faktor kerawanan gerakan massa tanah dari perhitungan *Frequency Ratio* (**Error! Reference source not found.**) didapatkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap kejadian gerakan massa tanah di Kabupaten Puncak secara berurutan adalah faktor batuan/geologi, kerapatan kelurusan (*lineament density*), tekstur tanah, dan kemiringan lereng (*slope*). Variabel geologi memiliki bobot (*prediction rate*) sebesar 7,515. Piksel gerakan massa tanah banyak terdapat

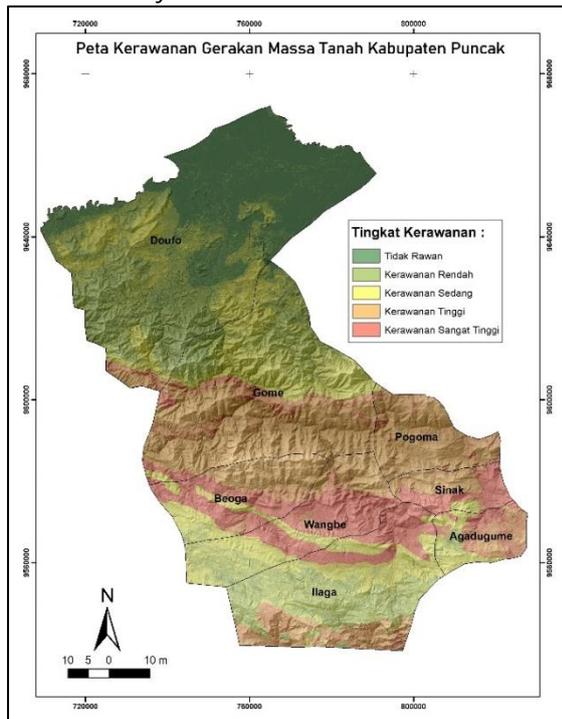
pada area batuan metamorf yang masuk sebagai formasi Batuan Malihan Derewo (Td) yang berumur Oligosen, yang terdiri atas batusabak, filit, batu pasir malih kuarsa, batuan gunungapi malih basa-intermediet, dan fasies sekis hijau rendah. Formasi batuan ini mengisi fisiografi pegunungan bagian tengah Kabupaten Puncak.



Gambar 4 Peta sebaran area pendugaan kejadian gerakan massa tanah di Kabupaten Puncak

Analisis kerawanan gerakan massa tanah di Kabupaten Puncak didapatkan bahwa kerawanan gerakan massa tanah didominasi oleh kelas tidak rawan hingga kerawanan sedang pada bagian utara di sekitar dataran rendah lembah Sungai Tariku, meliputi Distrik Doufo dan sisi utara Distrik Gome. Zona kerawanan tinggi hingga sangat tinggi berada pada pegunungan bagian tengah, yang meliputi bagian selatan Distrik Gome, Distrik Pogoma, sebagian besar Distrik Beoga, sisi timur dan tengah Distrik Wangbe, sebagian besar Distrik Sinak, dan Adadugume bagian timur. Hal ini dikarenakan sebagian besar kejadian gerakan massa tanah yang terdeteksi terletak pada fisiografi pegunungan bagian tengah ini. Sedangkan sebagian sisi barat daya Distrik Wangbe, bagian selatan dan tengah

Distrik Ilaga, dan sebagian sisi barat Distrik Agadugume memiliki kelas kerawanan sedang hingga sangat tinggi, terutama kelas kerawanan sangat tinggi pada sisi barat daya Distrik Wangbe. Fisiografi Pegunungan Puncak Jaya di sisi utara kabupaten Puncak umumnya memiliki kelas kerawanan sedang, dan kelas kerawanan tinggi pada sisi selatannya. Peta tingkat kerawanan gerakan massa tanah di Kabupaten Puncak ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5 Peta zonasi kerawanan gerakan massa tanah di Kabupaten Puncak

Kurang lebih sebanyak 44 lokasi berada pada formasi ini. Formasi ini menempati sisi tengah Kabupaten Puncak. Area gerakan massa tanah juga banyak terdapat pada formasi Grup Kembelangan (JKk) berumur Jura-Kapur yang merupakan kompleks batuan tertua di Kabupaten Puncak. Formasi yang terdiri atas batulumpur dan batupasir ini terletak di sisi selatan Kabupaten Puncak berselingan dengan kelompok batugamping Nugini (KTmn). Sebanyak 34 lokasi gerakan massa tanah terdapat dalam formasi ini. Hasil analisis kejadian gerakan massa tanah terhadap kerapatan pola kelurusan diperoleh bahwa semakin tinggi kerapatan pola kelurusan, maka semakin banyak pula kejadian gerakan massa tanah yang terjadi. Kerapatan pola kelurusan memiliki nilai *prediction rate* sebesar 4,875.

Variabel tanah memiliki *prediction rate* sebesar 4,49. Kelas tanah yang mendominasi area terjadinya gerakan massa tanah adalah tanah dengan tekstur geluhan, terutama geluh berdebu (*silty loam*) dan geluh lempung berpasir (*sandy clay loam*). Kemiringan lereng memiliki nilai *prediction rate* sebesar 4,425 dengan kejadian gerakan massa tanah banyak terjadi pada lahan-lahan dengan kemiringan lereng landai (8-13%) dan agak curam (14-20%), lalu diikuti oleh lahan dengan kemiringan lereng sangat curam (>55%). Kejadian gerakan massa tanah yang terjadi pada lereng-lereng landai umumnya dapat berupa *lateral spread*, *earthflow*, atau *creep*, sedangkan kejadian gerakan massa tanah pada lereng agak curam-sangat curam umumnya dapat berupa *landslide*, *debris flow*, *debris avalanche*, hingga *rockfall* (Highland & Bobrowsky, 2008).

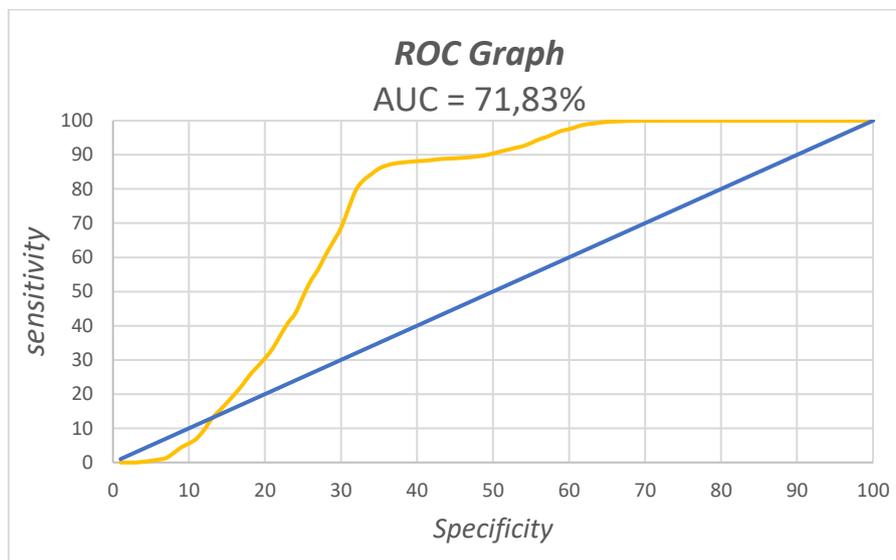
Arah hadap lereng berpengaruh terhadap intensitas pelapukan batuan dan deformasi agregat tanah akibat intensitas cahaya matahari dan curah hujan. Area kejadian gerakan massa tanah sebagian besar berada pada lahan dengan arah hadap lereng berarah ke timur (NE-E-SE). Hal ini menunjukkan bahwa intensitas matahari dan curah hujan lebih tinggi pada sisi timur dibandingkan dengan sisi barat, sehingga mempengaruhi intensitas proses pelapukan batuan yang menyebabkan instabilitas lereng.

Struktur geologi cukup menentukan keberadaan kejadian gerakan massa tanah, dimana semakin dekat dengan struktur geologi akan semakin berpotensi terjadi gerakan massa tanah. Kejadian gerakan massa tanah yang terdeliniasi terdistribusi semakin banyak pada lokasi lahan yang semakin dekat dengan struktur geologi. Hasil analisis jarak dari jalan menunjukkan bahwa semakin dekat dengan jalan, semakin banyak kejadian gerakan massa tanah yang terdeteksi, walaupun jumlahnya cukup terdistribusi pada semua klas jarak dari jalan diakibatkan ketersediaan jalan yang tidak merata di seluruh wilayah Kabupaten Puncak. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pemotongan lereng untuk jalan dapat meningkatkan potensi kejadian gerakan massa tanah di sekitar jalan. Hasil perhitungan skor (FR) dan bobot (PR) parameter pengontrol kerawanan gerakan massa tanah ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3 Hasil perhitungan skor dan bobot parameter kerawanan gerakan massa tanah

VARIABEL	PARAMETER	KLAS	(Npix(1))	(Npix(2))	FR	PR
Lereng	Slope	0-2% (datar)	4.574	3.252.017	0,24	4,425
		3-7% (sangat landai)	14.364	3.688.329	0,66	
		8-13% (landai)	25.072	2.213.909	1,92	
		14-20% (agak curam)	22.178	2.542.866	1,48	
		21-55% (curam)	75.877	13.978.578	0,92	
		>55% (sangat curam)	67.329	9.761.944	1,17	
	Aspect	FLAT	-	965	0	3,199
		N	33.991	5.740.133	1	
		NE	24.408	4.936.984	0,84	
		E	22.419	4.360.276	0,87	
		SE	33.764	3.717.781	1,54	
		S	27.997	4.287.457	1,1	
		SW	16.198	3.923.906	0,7	
		W	24.131	4.195.966	0,97	
NW	26.584	4.273.970	1,05			
Tanah	Jenis Tanah	<i>Clay Loam</i>	2.606	673.297	0,66	4,49
		<i>Organic Matter</i>	-	1.527.196	0	
		<i>Sandy Clay Loam</i>	5.904	902.558	1,11	
		<i>Sandy Loam</i>	81.770	15.179.924	0,91	
		<i>Silty Clay Loam</i>	4.775	1.216.366	0,66	
		<i>Silty Loam</i>	114.370	15.905.965	1,22	
		Tubuh Air	-	64.625	0	
Geologi	Batuan/ Formasi	Tubuh Air	-	9.286	0	7,515
		Aluvium (Qa)	-	5.842.858	0	
		Batugamping (KTmn)	8.453	4.871.185	0,29	
		Batulumpur (JKk)	86.270	5.840.451	2,5	
		Batulumpur metasedimen (TrJt)	-	16.103	0	
		Diorit (Tpi)	-	13.155	0	
		Konglomerat (Qg & Tpd)	6.010	1.528.775	0,67	
		Lava (Tpvi)	-	45.297	0	
		Lava intrusi (Tema)	-	466.067	0	
		Metamorf Batusabak, Filit (Td)	98.370	8.684.914	1,92	
		Ultramafik (Mu)	10.321	8.119.473	0,22	
		Buffer Struktur Geologi	0-250 m	27.511	2.703.564	
	250-500 m		31.387	2.600.861	2,04	
	500-1000 m		54.671	4.561.090	2,03	
	1000-2000 m		45.291	6.260.072	1,22	
	2000-4000 m		27.132	6.642.347	0,69	
	> 4000 m		23.349	12.669.644	0,31	
	Lineament Density	0-2 km/km ²	27.722	29.855.419	0,23	4,875
		2-6 km/km ²	64.438	8.706.286	1,85	
6-10 km/km ²		105.527	14.453.449	1,82		
10-13 km/km ²		26.264	5.055.784	1,3		

VARIABEL	PARAMETER	KLAS	(Npix(1))	(Npix(2))	FR	PR
Sungai	Buffer Sungai	>13 km/km ²	14.810	1.508.418	2,45	1,00
		0-50 m	11.934	1.679.320	1,2	
		50-100 m	11.266	1.587.848	1,2	
		100-150 m	11.655	1.587.493	1,24	
		150-200 m	11.831	1.541.312	1,3	
		>200 m	162.738	29.041.586	0,95	
Jalan	Buffer Jalan	0-50 m	1.503	179.942	74,7	1,991
		50-100 m	977	163.296	53,48	
		100-150 m	731	153.020	42,74	
		150-200 m	752	145.980	46,04	
		>200 m	205.461	34.795.343	52,81	



Gambar 6 Grafik ROC dan nilai AUC hasil analisis kerawanan gerakan massa tanah Kabupaten Puncak dengan metode *Frequency Ratio*

Perhitungan validasi model pemetaan kerawanan gerakan massa tanah menggunakan metode ROC, berdasarkan nilai AUC didapatkan nilai AUC pada model FR ini sebesar 71,83%. Syarat model diterima dari metode ROC ini apabila $AUC > 60\%$ (Anbalagan et al., 2015; Javad et al., 2014; Mandal & Mondal, 2019; Pimiento, 2010; Pratiwi & Hadmoko, 2019; Silalahi et al., 2019). Nilai AUC ini menunjukkan bahwa 71,83% prediksi gerakan massa tanah telah sesuai dengan kejadian gerakan massa tanah eksisting, sehingga distribusi kejadian gerakan massa tanah pada tiap tingkat kerawanan yang berbeda telah diterima. Grafik ROC dan nilai AUC ditunjukkan oleh Gambar 6.

Hasil uji validasi model prediksi diatas menunjukkan bahwa pemetaan kerawanan gerakan massa tanah di Kabupaten Puncak dengan model *Frequency Ratio* telah dapat diterima secara statistik, sehingga hasil model prediksi ini nantinya dapat digunakan sebagai referensi masukan bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Puncak untuk merencanakan upaya mitigasi bencana gerakan massa tanah dalam sebuah kegiatan perencanaan penataan ruang. Penyusunan RTRW Kabupaten Puncak hendaknya mempertimbangkan tingkat kerawanan bencana alam, khususnya gerakan massa tanah dalam merencanakan pengembangan wilayah, seperti pembangunan infrastruktur wilayah dan

pembangunan fasilitas-fasilitas pelayanan. Hal ini mengingat kondisi fisik wilayah Kabupaten Puncak yang memiliki tingkat kerawanan terhadap bencana. Pertimbangan ini digunakan untuk mencapai perencanaan dan pembangunan wilayah yang aman, tangguh terhadap bencana, serta berkelanjutan.

Simpulan

Hasil analisis kerawanan gerakan massa tanah di Kabupaten Puncak menunjukkan bahwa kerawanan gerakan massa tanah didominasi oleh kelas tidak rawan hingga kerawanan sedang pada bagian utara di sekitar dataran rendah lembah Sungai Tariku, meliputi Distrik Doufo dan sisi utara Distrik Gome. Zona kerawanan tinggi hingga sangat tinggi berada pada pegunungan Puncak Jaya bagian tengah, yang meliputi bagian selatan Distrik Gome, Distrik Pogoma, sebagian besar Distrik Beoga, sisi timur dan tengah Distrik Wangbe, sebagian besar Distrik Sinak, dan Adadugume bagian timur. Hal ini dikarenakan sebagian besar kejadian gerakan massa tanah yang terdeteksi terletak pada fisiografi pegunungan bagian tengah ini. Faktor/variabel yang paling berpengaruh pada kejadian gerakan massa tanah adalah kondisi geologi (jenis batuan), kerapatan pola kelurusan, serta kemiringan lereng. Hasil validasi menunjukkan nilai $AUC > 60\%$ yang menandakan bahwa hasil model kerawanan gerakan massa tanah ini telah dapat diterima secara statistik.

Ucapan terima kasih

Artikel ini merupakan bagian dari hasil Kajian Kerawanan Multi-Bencana Kabupaten Puncak yang difasilitasi oleh BAPPEDA dan BPBD Kabupaten Puncak. Ucapan terimakasih disampaikan kepada BAPPEDA dan BPBD Kabupaten Puncak yang telah memfasilitasi dan mendukung dalam penelitian ini.

Referensi

Anbalagan, R., Kumar, R., Lakshmanan, K., Parida, S., & Neethu, S. (2015). Landslide Hazard Zonation Mapping Using Frequency Ratio And Fuzzy Logic Approach, A Case Study Of Lachung Valley, Sikkim. *Geoenvironmental Disasters*, 2(1).

<https://doi.org/10.1186/s40677-014-0009-y>

Arabameri, A., Saha, S., Roy, J., Chen, W., Blaschke, T., & Bui, D. T. (2020). Landslide Susceptibility Evaluation and Management Using Different Machine Learning Methods in The Gallicash River Watershed, Iran. *Remote Sensing*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/rs12030475>

BAPPEDA Provinsi Papua. (2020). *Rencana kerja Pemerintah Daerah Provinsi Papua Tahun 2020*. Jayapura: BAPPEDA Provinsi Papua.

BAPPEDA Provinsi Papua. (2021). *Rencana Kerja Pemerintah Daerah Provinsi Papua Tahun 2021*. Jayapura.

Hervas, J., & Bobrowsky, P. (2009). *Mapping: Inventories, Susceptibility, Hazard and Risk*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). The landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides. *US Geological Survey Circular*, (1325), 1–147. <https://doi.org/10.3133/cir1325>

Iriani, A. (2013). Dua Tewas Akibat Longsor di Puncak Papua. Retrieved February 15, 2022, from KBR website: https://kbr.id/nusantara/04-2013/dua_tewas_akibat_longsor_di_puncak_papua/65564.html

Javad, M., Baharin, A., Barat, M., & Farshid, S. (2014). Using Frequency Ratio Method for Spatial Landslide Prediction. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(15), 3174–3180. <https://doi.org/10.19026/rjaset.7.658>

Karnawati, D. (2005). *Bencana Alam: Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2007). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 20/PRT/M/2007 Tentang

- Pedoman Teknik Analisis Aspek Fisik dan Lingkungan, Ekonomi, serta Sosial Budaya dalam Penyusunan Rencana Tata Ruang. *Modul Terapan Direktorat Jendral Penataan Ruang*, pp. 3–235. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Khan, H., Shafique, M., Khan, M. A., Bacha, M. A., Shah, S. U., & Calligaris, C. (2019). Landslide Susceptibility Assessment Using Frequency Ratio, A Case Study of Northern Pakistan. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *22*(1), 11–24.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.03.004>
- Lepore, C., Kamal, S. A., Shanahan, P., & Bras, R. L. (2012). Rainfall-induced landslide susceptibility zonation of Puerto Rico. *Environmental Earth Sciences*, *66*(6), 1667–1681.
<https://doi.org/10.1007/s12665-011-0976-1>
- Mandal, S., & Mondal, S. (2019). Probabilistic approaches and landslide susceptibility. In *Environmental Science and Engineering* (pp. 145–163). Switzerland: Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10495-5_6
- Panggabean, H., Amiruddin, Kusnama, Kustina, K., Situmorang, R. ., Turkandi, T., & Hermanto, B. (1995). *Peta Geologi Lembar Beoga - 3212 Skala 1:250.000*. Bandung.
- Pemerintah RI. (2007). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Pimiento, E. (2010). *Shallow Landslide Susceptibility Modelling and Validation*. Lund University.
- Pratiwi, E. S., & Hadmoko, D. S. (2019). Penerapan Model Statistik Multivariat dalam Studi Kerawanan Longsoran di Daerah Aliran Sungai Kodil, Jawa Tengah. *Jurnal Geografi*, *16*(1), 16–24.
<https://doi.org/10.15294/jg.v16i1.4961>
- Putra, Y. A., Ismail, N., & Faisal. (2015). Analisis Penentuan Faktor Penyebab Gerakan Tanah di Kabupaten Aceh Tengah, Provinsi Aceh. *Jurnal Ilmu Kebencanaan (JIKA), Pascasarjana Universitas Syiah Kuala*, *2*(2), 96–103.
- Ruqoyah, S., & Ambarita, B. (2014). Longsor di Papua, Empat Orang Tewas Tertimbun. Retrieved February 15, 2022, from Viva website:
<https://www.viva.co.id/berita/nasional/522187-longsor-di-papua-empat-orang-tewas-tertimbun>
- Saha, A. K., Gupta, R. P., & Arora, M. K. (2002). GIS-based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. *International Journal of Remote Sensing*, *23*(2), 357–369.
<https://doi.org/10.1080/01431160010014260>
- Sarkar, S., & Kanungo, D. P. (2004). An Integrated Approach for Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, *70*(5), 617–625.
<https://doi.org/10.14358/PERS.70.5.617>
- Silalahi, F. E. S., Pamela, Arifianti, Y., & Hidayat, F. (2019). Landslide susceptibility assessment using frequency ratio model in Bogor, West Java, Indonesia. *Geoscience Letters*, *6*(1).
<https://doi.org/10.1186/s40562-019-0140-4>
- Tri Handayani, P. (2014). *Identifikasi Perayapan Tanah (Soil Creeping) Penyebab Longsor Di Distrik Ilaga Kabupaten Puncak, Papua* ABSTRAK. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.