

Sifat Fisik Tanah Sebagai Dasar Mitigasi Gerakan Tanah di Kelurahan Sidorejo Kapanewon Godean Kabupaten Sleman Yogyakarta

Evi Rahmawati, Sari Virgawati*

Fakultas Pertanian, Program Studi Ilmu Tanah, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Email: ¹evir509@gmail.com, ²*sari_virgawati@upnyk.ac.id

Email Penulis Korespondensi: sari_virgawati@upnyk.ac.id

Abstrak—Kerawanan gerakan tanah meningkat sejalan dengan penurunan stabilitas tanah yang dipengaruhi oleh beberapa sifat fisik tanah. Ketersediaan informasi yang lengkap dan akurat mengenai kawasan yang rawan terhadap gerakan tanah merupakan hal yang penting mengingat banyaknya dampak yang mungkin ditimbulkan akibat gerakan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hubungan sifat fisik tanah dengan potensi gerakan tanah sebagai dasar mitigasi bencana. Penelitian dilaksanakan di Kelurahan Sidorejo Kapanewon Godean Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta yang memiliki luas 544 ha. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode survei dan metode pendugaan kerawanan gerakan tanah yang mengacu pada Puslittanak (2004). Penentuan titik sampel menggunakan metode *purposive sampling* berdasarkan sistem grid, diperoleh sejumlah 20 titik sampel. Analisis faktor yang mempengaruhi terjadinya gerakan tanah dibatasi pada parameter sifat fisik tanah yaitu angka *Atterberg* (batas cair, batas plastis, indeks plastisitas), tekstur tanah, berat volume, permeabilitas, dan porositas. Hasil pemetaan potensi kerawanan gerakan tanah di Kelurahan Sidorejo menunjukkan empat klasifikasi kerawanan yaitu potensi rendah seluas 12,561 ha (2,31%), potensi sedang seluas 179,531 ha (33,01%), potensi tinggi seluas 341,367 ha (62,77%), dan potensi sangat tinggi seluas 10,400 ha (1,91%). Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa sifat fisik tanah yang berpengaruh terhadap kerawanan gerakan tanah yaitu batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, tekstur, berat volume, dan permeabilitas tanah, sedangkan porositas tanah tidak berpengaruh.

Kata Kunci: gerakan tanah; kerawanan; mitigasi; potensi; sifat fisik tanah

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Sleman (2023), kejadian gerakan tanah merupakan kejadian kebencanaan yang paling mendominasi di tahun 2022 dengan 61 titik kejadian. Kelurahan Sidorejo yang terletak di Kapanewon Godean Kabupaten Sleman merupakan salah satu wilayah yang tidak luput dari kejadian tersebut. Dilansir dari sidorejosid.slemankab.go.id (website resmi Kelurahan Sidorejo) (2023), telah terjadi gerakan tanah berupa tanah longsor di Dusun Kleben pada tanggal 23 Februari 2023 yang mengakibatkan tanah longsor menimpa dinding dan dapur salah satu rumah warga. Pada tahun sebelumnya, berdasarkan data dari PAMOR (Pusat Data *Emergency Operation*) BPBD Daerah Istimewa Yogyakarta (2022) juga tercatat kejadian gerakan tanah di Dusun Kleben, Kelurahan Sidorejo akibat hujan deras dengan durasi yang lama pada tanggal 17 November 2022 yang menyebabkan salah satu tembok rumah warga retak sepanjang 6 meter.

Menurut Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2022), Kapanewon Godean merupakan wilayah yang memiliki potensi gerakan tanah menengah-tinggi. Hal ini berhubungan erat dengan faktor internal berupa kondisi alamnya. Kapanewon Godean terdiri dari berbagai deretan perbukitan, salah satunya ialah Gunung So yang terletak di Kelurahan Sidorejo. Perbukitan tersebut tersusun oleh batuan piroklastika dan batuan beku intrusi berupa andesit porfiri-diorit mikro yang sebagian besar telah lapuk mengulit bawang, akibat pelapukan lanjut dari batuan beku tersebut menghasilkan tanah lempung yang apabila hujan maka tanah akan mudah mengalami jenuh air dan berpotensi rawan gerakan tanah seperti longsor.

Kerawanan terhadap gerakan tanah dapat menghambat perkembangan suatu daerah, bencana tersebut tentunya akan mengakibatkan berbagai dampak yang merugikan. Banyaknya kerugian yang dialami oleh masyarakat akibat gerakan tanah, salah satunya dikarenakan kurangnya informasi pada masyarakat akan bencana yang terjadi di sekitarnya. Oleh karena itu diperlukan upaya-upaya yang komprehensif untuk menyediakan informasi bagaimana tingkat potensi kerawanan gerakan tanah serta hubungan karakteristik sifat fisik tanah terhadap potensi gerakan tanah. Pemetaan terkait potensi serta risiko bencana dapat menjadi media informasi yang dapat digunakan sebagai pendidikan dasar tanggap bencana bagi masyarakat (Rahmad et al., 2018).

Dalam kajian penelitian terkait sifat fisik tanah dan kerawanan tanah longsor, sejumlah studi terkini menawarkan perspektif beragam berdasarkan lokasi dan metodologi yang berbeda. Penelitian terdahulu yang mengeksplorasi karakteristik sifat fisik tanah residual lereng rawan longsor di Sidamukti menemukan bahwa sifat plastis dan porositas tanah yang tinggi mempengaruhi kestabilan lereng yang mengakibatkan tanah mudah longsor ketika terjadi hujan dengan intensitas yang lebat (Lisaa Auliya et al., 2021). Penelitian mengenai hubungan antara beberapa sifat fisik tanah dan risiko tanah longsor di daerah pegunungan juga mengungkapkan bahwa tanah yang didominasi fraksi debu dan liat yang tinggi dengan kandungan C-organik tanah yang rendah akan menyebabkan permeabilitas tanah menurun dan memicu terjadinya longsor (Patandung & Ahmad, 2020).

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan di jalan raya Sumbar Riau menunjukkan bahwa jenis tanah di lokasi penelitian secara umum bersifat lempung dan tanah liat berpasir yang memiliki sifat permeabilitas yang buruk dengan nilai kadar air jenuh lebih dari 40% memiliki potensi yang besar akan terjadinya longsor (Kristie & Budiman, 2021). Sementara penelitian mengenai karakteristik sifat fisik tanah di Kampung Cibitung menunjukkan bahwa berdasarkan

hasil uji ayak, persentase tanah lolos sebesar 62,92%, yang menandakan bahwa tanah di lokasi penelitian didominasi oleh partikel halus dengan nilai batas Atterberg yaitu batas cair 71,5%, batas plastis 51,81%, dan indeks plastisitas 19,68%. Tanah tersebut merupakan tanah lanau yang memiliki plastisitas dan porositas yang tinggi sehingga mudah mengalami penjujukan saat hujan lebat dan menyebabkan lereng di wilayah tersebut rentan terhadap longsor (Almira Salsabila et al., 2021).

Ketersediaan informasi yang lengkap dan akurat mengenai kawasan yang rentan terhadap gerakan tanah merupakan hal yang sangat penting. Adanya informasi tersebut untuk mencegah dan meminimalisir korban jiwa serta dampak ekonomi dan sosial yang mungkin ditimbulkan. Informasi ini juga dapat menjadi acuan dalam upaya perencanaan tata ruang berdasarkan zona sensitivitas suatu kawasan terhadap gerakan tanah (Prastowo et al., 2018).

Sistem Informasi Geografi (SIG) membantu dalam menyediakan informasi melalui penyusunan peta risiko kawasan rawan longsor dalam upaya mitigasi bencana (Saputri et al., 2022). Penelitian ini memanfaatkan metode skoring, pembobotan, serta *overlay* yang terdapat pada SIG dalam melakukan pemetaan zona rawan longsor dengan mengacu terhadap nilai dan parameter yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah Agroklimat (2004). Kajian sifat fisik tanah terhadap potensi kerawanan gerakan tanah dapat menjadi informasi pendukung untuk menguatkan hasil pemetaan zona kerawanan gerakan tanah di suatu wilayah. Karakteristik sifat fisik tanah dapat memberikan gambaran kondisi tanah pada berbagai tingkat potensi kerawanan gerakan tanah, dengan mengetahui sifat fisik tanahnya maka dapat dilakukan tindakan mitigasi yang tepat untuk mencegah atau mengurangi potensi gerakan tanah.

Melalui pemetaan dan kajian hubungan karakteristik sifat fisik tanah terhadap kerawanan gerakan tanah, maka masyarakat dapat mengetahui zona-zona yang rawan akan gerakan tanah sehingga masyarakat dapat lebih waspada dan tanggap bencana, serta dapat menjadi bahan pertimbangan bagi masyarakat dalam pengelolaan dan penggunaan lahan. Selain itu, juga dapat memberikan informasi bagi instansi terkait sebagai acuan dalam pembuatan kebijakan khusus pada daerah berpotensi rawan gerakan tanah. Pengetahuan mengenai kawasan yang berpotensi terjadi gerakan tanah diperlukan agar upaya mitigasi bencana gerakan tanah di Kelurahan Sidorejo, Kapanewon Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta dapat dilakukan secara tepat.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Kerangka Dasar Penelitian

Penelitian dilakukan di Kelurahan Sidorejo, Kapanewon Godean, Kabupaten Sleman yang berfokus pada potensi gerakan tanah. Gerakan tanah di Kelurahan Sidorejo umumnya dipengaruhi oleh kestabilan tanah yang dikontrol oleh faktor curah hujan, jenis batuan, kemiringan lereng, penutup lahan, dan jenis tanah. Faktor pemicu seperti infiltrasi air dan aktivitas manusia juga berperan dalam meningkatkan kerawanan gerakan tanah di kawasan tersebut. Dengan kondisi ini, wilayah Sidorejo menunjukkan potensi atau kecenderungan untuk mengalami gerakan tanah, yang mendasari perlunya penyusunan peta zona kerawanan gerakan tanah. Penelitian ini melakukan kajian mendalam terhadap sifat fisik tanah melalui pengambilan sampel dan uji laboratorium untuk menentukan parameter seperti batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, tekstur, permeabilitas, berat volume, dan porositas. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara sifat fisik tanah dan potensi gerakan tanah, serta memberikan informasi yang diperlukan untuk merancang strategi mitigasi yang efektif guna mengurangi risiko bencana gerakan tanah di daerah tersebut.

2.2 Tahapan Penelitian

Tatalaksana penelitian yang dilakukan meliputi tahap persiapan penyusunan peta, tahap penyusunan peta zona kerawanan gerakan tanah, tahap survei lapangan dan pengambilan sampel tanah, serta tahap analisis laboratorium.

a. Tahap Persiapan Penyusunan Peta

Tahap persiapan penelitian diawali dengan studi pustaka dengan membaca literatur-literatur yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilaksanakan. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data-data sekunder yang diperlukan dalam penelitian berupa peta-peta tematik Kelurahan Sidorejo yaitu peta curah hujan, peta jenis batuan, peta jenis tanah, peta kemiringan lereng, dan peta penutup lahan.

b. Tahap Penyusunan Peta Zona Kerawanan Gerakan Tanah

Penentuan zona kerawanan gerakan tanah dilakukan dengan tumpang susun (*overlay*). *Overlay* merupakan operasi spasial yang menggabungkan dua atau lebih layer yang berbeda untuk memperoleh informasi yang baru dan merupakan bagian terpenting dari analisis spasial (Larasati et al., 2017). Tahap ini dilakukan dengan melakukan *overlay* peta-peta tematik meliputi peta curah hujan, peta jenis batuan, peta jenis tanah, peta kemiringan lereng, serta peta penutup lahan. Setelah dilakukan *overlay*, tahap berikutnya yaitu melakukan skoring dan pembobotan. Skoring adalah pemberian skor terhadap tiap kelas di masing-masing parameter. Pemberian nilai skoring didasarkan pada pengaruh kelas tersebut terhadap kejadian. Semakin besar pengaruhnya terhadap kejadian, maka semakin tinggi nilai skoringnya, untuk mendapatkan skoring/nilai total, perlu adanya pemberian nilai dan bobot sehingga perkalian antara keduanya dapat menghasilkan nilai total yang biasa disebut skoring (Nogoro et al., 2019). Penentuan tingkat kerawanan potensi gerakan tanah ini dilakukan dengan menggunakan model pendugaan berdasarkan Puslittanak 2004. Berdasarkan model tersebut, parameter yang digunakan meliputi curah hujan, jenis batuan, kemiringan lahan, penutup lahan, serta jenis tanah. Tabel skoring parameter kerawanan gerakan tanah (Tabel 1).

Tabel 1. Skoring Parameter Kerawanan Gerakan Tanah

No.	Parameter Kerawanan Gerakan Tanah	Bobot	Skor
A	Curah Hujan (mm/tahun)		
1	Sangat Basah (>3000)		5
2	Basah (2501-3000)		4
3	Sedang (2001-2500)	30%	3
4	Kering (1501-2000)		2
5	Sangat Kering (<1500)		1
B	Jenis Batuan		
1	Batuan Vulkanik		3
2	Batuan Sedimen	20%	2
3	Batuan Aluvial		1
C	Kemiringan Lahan		
1	Sangat Curam (>40%)		5
2	Curam (25-40%)		4
3	Agak Curam (15-25%)	20%	3
4	Landai (8-15%)		2
5	Datar (<8%)		1
D	Penutup Lahan		
1	Tegalan, Sawah		5
2	Semak Belukar		4
3	Hutan dan Perkebunan	20%	3
4	Kota/Permukiman		2
5	Tambak, Waduk, Perairan		1
E	Jenis Tanah		
1	Regosol		5
2	Andosol, Podsolik		4
3	Latosol Coklat	10%	3
4	Asosiasi Latosol Coklat Kekuningan		2
5	Aluvial		1

Berdasarkan model pendugaan tersebut, untuk menganalisis kerawanan suatu daerah terhadap gerakan tanah (tanah longsor) dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{SKOR TOTAL} = 0,3\text{FCH} + 0,2\text{FBD} + 0,2\text{FKL} + 0,2\text{FPL} + 0,1\text{FJT} \quad (1)$$

Keterangan:

FCH : Faktor Curah Hujan

FBD : Faktor Batuan Dasar

FKL : Faktor Kemiringan Lereng

FPL : Faktor Penutup Lahan

FJT : Faktor Jenis Tanah

0,3; 0,2; 0,1 : Bobot Nilai

Tahapan selanjutnya yaitu membuat empat klasifikasi kelas kerawanan (rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi).

Penentuan interval skor dihitung dengan rumus:

$$\text{Interval Tingkat Kerawanan} = \frac{\text{Skor tertinggi} - \text{Skor terendah}}{\text{Jumlah kelas klasifikasi}} \quad (2)$$

Semakin tinggi nilai skor maka akan semakin tinggi pula potensi terjadinya gerakan tanah di suatu wilayah. Berdasarkan rumus tersebut, diperoleh klasifikasi zona kerawanan gerakan tanah Kelurahan Sidorejo (Tabel 2).

Tabel 2. Klasifikasi Zona Kerawanan Gerakan Tanah

Kelas Kerawanan	Interval Skor
Rendah	2,100-2,574
Sedang	2,575-3,049
Tinggi	3,050-3,524
Sangat Tinggi	3,525-4,000

Peta zona kerawanan gerakan tanah digunakan sebagai dasar dalam penentuan wilayah penelitian dan titik pengambilan sampel tanah.

c. Tahap Survei Lapangan dan Pengambilan Sampel Tanah

Tahap survei lapangan dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan dan pengambilan sampel tanah. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan metode *purposive sampling* berdasarkan kelas potensi gerakan tanah yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap sampel tanah akan merepresentasikan potensi kerawanan gerakan tanah. *Ground check* dilakukan dengan mendatangi titik-titik sampel berdasarkan koordinat yang sudah ditentukan sebelumnya menggunakan GPS. Setelah sampai pada titik yang ditentukan, mengamati kondisi wilayah titik sampel sudah sesuai dengan peta yang dibuat. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada dua kedalaman yaitu kedalaman 0–20 cm (*topsoil*) dan kedalaman 80 cm (*subsoil*). Sampel tanah diambil sebanyak 2 kg kemudian dimasukkan ke dalam plastik yang sudah diberi label sesuai dengan nomor dan kode titik sampel. Sampel tanah terus dikering anginkan dan ditumbuk serta disaring dengan ukuran 0,5 mm dan 2 mm. Sampel tanah yang sudah siap dianalisis kemudian dibawa ke laboratorium.

d. Tahap Analisis Laboratorium

Sampel tanah yang diperoleh dilakukan uji laboratorium untuk menganalisis batas cair menggunakan metode *casagrande* (SNI 1967:2008 Tentang Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah), batas lekat menggunakan alat pengujian berupa plat kaca (SNI 1966:2008 Tentang Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah), tekstur tanah menggunakan metode pipet (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 2006), permeabilitas menggunakan metode ring sampler (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 2006), berat volume menggunakan metode lilin (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 2006), serta berat jenis menggunakan metode piknometer (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 2006).

2.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi GPS Garmin, klinometer, bor tanah, ring sampel, plastik sampel, pisau, cetok, alat tulis, alat-alat laboratorium (timbangan, oven, eksikator, *casagrande*, tabung sedimentasi, *permeameter*, piknometer, termometer), perangkat komputer/laptop, dan software ArcGIS 10.4. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta curah hujan, peta jenis batuan, peta kemiringan lereng, peta penutup lahan, peta jenis tanah, sampel tanah, lilin, serta kemikalia untuk analisis di laboratorium.

2.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei melalui pengamatan langsung di lapangan dan analisis laboratorium. Areal kerja efektif dibatasi pada kawasan alami dan budidaya. Peta zona kerawanan gerakan tanah diperoleh dari tumpang susun peta curah hujan, peta jenis batuan, peta jenis tanah, peta kemiringan lereng, dan peta penutup lahan, dengan skoring dan pembobotan yang mengacu pada model pendugaan Puslittanak (2004). Metode penetapan titik sampel ditentukan menggunakan metode *purposive sampling* berdasarkan kelas potensi gerakan tanah yang telah ditentukan. Penelitian dilakukan dengan metode survei pada tingkat ketelitian tinjau mendalam (semi detail) dengan skala peta 1: 25.000. Berdasarkan sistem grid, diperoleh sejumlah 20 titik sampel. Lokasi pengambilan titik sampel (Tabel 3).

Tabel 3. Lokasi Koordinat Titik Sampel

Titik Sampel	Tingkat Potensi Kerawanan Gerakan Tanah	Koordinat	
		X	Y
1	Sedang (PG.II.L1)	110° 16' 15,329"	-7° 44' 34,227"
2	Sedang (PG.II.L2)	110° 16' 23,558"	-7° 44' 57,930"
3	Sedang (PG.II.L3)	110° 16' 58,725"	-7° 45' 3,142"
4	Tinggi (PG.III.L1)	110° 15' 55,035"	-7° 44' 13,639"
5	Tinggi (PG.III.L2)	110° 15' 55,967"	-7° 44' 33,105"
6	Tinggi (PG.III.L3)	110° 16' 9,826"	-7° 45' 3,576"
7	Tinggi (PG.III.L4)	110° 17' 11,704"	-7° 45' 10,125"
8	Tinggi (PG.III.L5)	110° 17' 12,928"	-7° 45' 20,300"
9	Tinggi (PG.III.L6)	110° 16' 48,206"	-7° 45' 27,769"
10	Tinggi (PG.III.L7)	110° 16' 31,735"	-7° 45' 26,333"
11	Tinggi (PG.III.L8)	110° 16' 12,675"	-7° 45' 25,831"
12	Tinggi (PG.III.L9)	110° 15' 55,248"	-7° 45' 32,842"
13	Tinggi (PG.III.L10)	110° 15' 54,275"	-7° 45' 51,383"
14	Tinggi (PG.III.L11)	110° 16' 10,274"	-7° 45' 53,054"
15	Tinggi (PG.III.L12)	110° 15' 53,767"	-7° 46' 12,507"
16	Tinggi (PG.III.L13)	110° 15' 57,506"	-7° 46' 27,535"
17	Sangat Tinggi (PG.IV.L1)	110° 16' 18,833"	-7° 44' 14,180"
18	Sangat Tinggi (PG.IV.L2)	110° 16' 36,032"	-7° 44' 23,793"
19	Sangat Tinggi (PG.IV.L3)	110° 16' 52,131"	-7° 44' 49,604"
20	Sangat Tinggi (PG.IV.L4)	110° 16' 37,795"	-7° 44' 48,260"

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

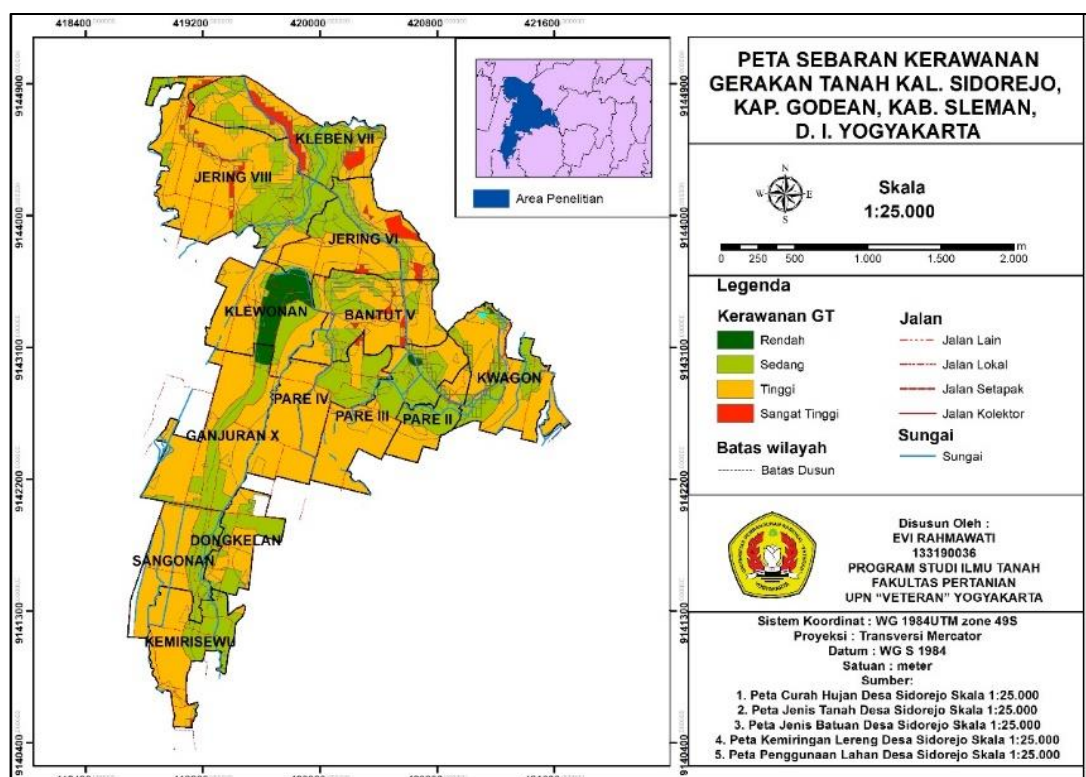
3.1 Kondisi Geografis

Kelurahan Sidorejo terletak pada ketinggian tempat 105 mdpl. Topografi wilayah Sidorejo beraneka ragam mulai dari datar hingga sangat curam. Kelurahan Sidorejo memiliki luas wilayah 5,44 ha yang terdiri dari 13 dusun. Kelurahan Sidorejo berjarak 3 km dari pusat pemerintahan kapanewon, 15 km dari pemerintahan kabupaten, dan 29 km dari pusat pemerintahan provinsi. Curah hujan rata-rata tahunan (2018-2022) Kelurahan Sidorejo yaitu 1647 mm/tahun dengan suhu udara rata-rata 22°C – 29°C. Berdasarkan sistem Klasifikasi Schmidt-Ferguson, iklim di lokasi penelitian tergolong tipe D (sedang) dengan penutup lahan di Kelurahan Sidorejo didominasi oleh sawah dan tegalan. Geologi Kelurahan Sidorejo didominasi oleh endapan gunungapi muda merapi dengan jenis tanah yang berasal dari ordo tanah Inceptisol dan Vertisol.

Inceptisol berasal dari kata *Inceptum* yang berarti sedang mengalami perkembangan, walaupun termasuk ke dalam kategori tanah muda, tetapi Inceptisol lebih berkembang daripada Entisol. Jenis tanah ini kebanyakan berkembang pada lereng-lereng yang curam, yang mana erosi tanah telah mengangkut sebagian *topsoil* secara kontinyu. Vertisol merupakan jenis tanah yang memiliki kandungan lempung yang tinggi dengan ciri khasnya yang dapat mengembang dan mengerut (Pramono, 2016). Sifat kembang kerut pada tanah Vertisol inilah yang dapat menyebabkan perubahan volume tanah secara signifikan sehingga dapat mempengaruhi stabilitas dan daya dukung tanah, serta meningkatkan potensi terjadinya gerakan tanah.

3.2 Potensi Kerawanan Gerakan Tanah di Kelurahan Sidorejo

Potensi kerawanan gerakan tanah Kelurahan Sidorejo diduga melalui dua pendekatan, yaitu tumpang susun (*overlay*) dan skoring. Hasil pemetaan tingkat potensi kerawanan gerakan tanah di Kelurahan Sidorejo diperoleh empat tingkat kerawanan yaitu tingkat kerawanan rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Zona Kerawanan Gerakan Tanah Kelurahan Sidorejo

Hasil overlay peta zona kerawanan gerakan tanah dengan *shapefile* batas dusun menghasilkan data sebaran dan luas area kerawanan gerakan tanah (Tabel 4).

Tabel 4. Data Sebaran Tingkat Kerawanan Gerakan Tanah di Kelurahan Sidorejo

No.	Dusun	Luas Dusun (ha)	Sebaran Kerawanan Gerakan Tanah							
			Rendah		Sedang		Tinggi		Sangat Tinggi	
			Luas	(%)	Luas	(%)	Luas	(%)	Luas	(%)
1	Kwagong	41,979	0,186	0,44	14,358	34,20	27,367	65,19	0,068	0,16
2	Pare II	16,773	0	0	8,052	48,01	8,721	51,99	0	0
3	Pare III	42,365	0,551	1,30	14,156	33,41	27,653	65,27	0,005	0,01

4	Pare IV	44,758	0	0	10,819	24,17	33,717	75,33	0,222	0,50
5	Bantut	43,972	0	0	14,522	33,03	28,112	63,93	1,338	3,04
6	Jering VI	45,978	0,019	0,04	14,721	32,02	29,715	64,63	1,523	3,31
7	Jering VIII	83,820	0	0	25,716	30,68	56,145	66,98	1,959	2,34
8	Kleben	43,278	0	0	19,781	45,71	18,303	42,29	5,194	12,00
9	Kliwonan	40,993	10,259	25,03	7,113	17,35	23,619	57,62	0,002	0,005
10	Ganjuran	53,741	1,546	2,88	14,155	26,34	38,040	70,78	0	0
11	Sangonan	32,207	0	0	11,043	34,29	21,164	65,71	0	0
12	Kemirisewu	32,964	0	0	12,389	37,58	20,486	62,15	0,089	0,27
13	Dongkelan	21,031	0	0	12,706	60,42	8,325	39,58	0	0
	Total	543,859	12,561	2,31	179,531	33,01	341,367	62,77	10,400	1,91

Tabel 4 menunjukkan bahwa wilayah dengan tingkat kerawanan rendah memiliki luas 12,561 ha atau sekitar 2,31% dari total seluruh luas wilayah Kelurahan Sidorejo. Tingkat kerawanan ini tersebar di lima dusun yaitu Dusun Kwagon, Pare III, Jering VI, Kliwonan, dan Ganjuran. Wilayah dengan tingkat kerawanan rendah mempunyai karakteristik kemiringan lereng dari datar hingga landai, intensitas curah hujan tahunan 1500-2000 mm/tahun, didominasi penggunaan lahan pemukiman, jenis tanah Inceptisol dan geologi batuan berupa endapan formasi nanggulan dan endapan gunungapi muda.

Wilayah dengan tingkat kerawanan sedang memiliki luas 179,531 ha atau 33,01% dari seluruh total luas wilayah Kelurahan Sidorejo. Tingkat kerawanan ini tersebar di seluruh dusun di Kelurahan Sidorejo. Wilayah ini mempunyai karakteristik diantaranya kemiringan lereng dari datar hingga agak curam, intensitas curah hujan tahunan 1500-2000 mm/tahun, penggunaan lahan berupa perkebunan/kebun, pemukiman, dan sawah irigasi, jenis tanah Inceptisol, serta geologi batuan berupa endapan formasi nanggulan, endapan gunungapi muda, dan batuan vulkanik tua. Wilayah ini dapat terjadi longsor pada skala kecil hingga menengah saat adanya ketidakstabilan tebing atau tanah.

Wilayah dengan tingkat kerawanan tinggi merupakan tingkat kerawanan gerakan tanah yang paling mendominasi di Kelurahan Sidorejo dengan luas mencapai 341,367 ha atau sekitar 62,77% dari total seluruh luas wilayah Kelurahan Sidorejo. Tingkat kerawanan ini tersebar di seluruh dusun di Kelurahan Sidorejo. Wilayah ini mempunyai karakteristik diantaranya kemiringan lereng dari datar hingga curam, intensitas curah hujan tahunan 1500-2000 mm/tahun, penggunaan lahan berupa tegalan/ladang, sawah irigasi, dan perkebunan/kebun. Jenis tanah berupa Inceptisol dan Vertisol, serta geologi batuan berupa endapan gunungapi muda, endapan formasi nanggulan, dan batuan vulkanik tua. Wilayah ini memiliki potensi besar untuk terjadi gerakan tanah terutama jika terjadi curah hujan dengan intensitas yang tinggi.

Wilayah dengan tingkat kerawanan sangat tinggi merupakan tingkat kerawanan yang memiliki persentase paling kecil diantara yang lainnya yaitu hanya sekitar 1,91% atau seluas 10,400 ha. Wilayah dengan tingkat kerawanan sangat tinggi memiliki karakteristik berupa kemiringan lereng dari agak curam hingga sangat curam, intensitas curah hujan tahunan 1500-2000 mm/tahun, penggunaan lahan berupa sawah dan tegalan/ladang. Didominasi jenis tanah Vertisol dan Inceptisol, serta geologi batuan berupa endapan gunungapi muda, endapan formasi nanggulan, dan diorit. Wilayah ini memiliki potensi yang sangat besar untuk terjadinya gerakan tanah terutama karena kemiringan lerengnya yang terjal dan didukung apabila terjadi hujan dengan intensitas yang tinggi.

3.3 Analisis Karakteristik Sifat Fisik Tanah Terhadap Potensi Gerakan Tanah

Gerakan tanah selain dipengaruhi oleh faktor eksternal berupa aktivitas manusia, juga dipengaruhi oleh faktor internal berupa sifat fisik tanahnya. Dalam penelitian ini, sifat fisik tanah yang diukur meliputi angka Atterberg (batas cair, batas plastis, indeks plastisitas), tekstur, permeabilitas, berat volume, dan porositas. Sifat fisik tanah dapat memberikan informasi mengenai kestabilan tanah yang berguna dalam menggambarkan kondisi tanah pada daerah rawan gerakan tanah sehingga dapat menjadi rekomendasi untuk pengawasan dan konservasi (Najikhah, 2023). Hasil uji laboratorium untuk sifat fisik tanah di Kelurahan Sidorejo Kapanewon Godean Kabupaten Sleman (Tabel 5).

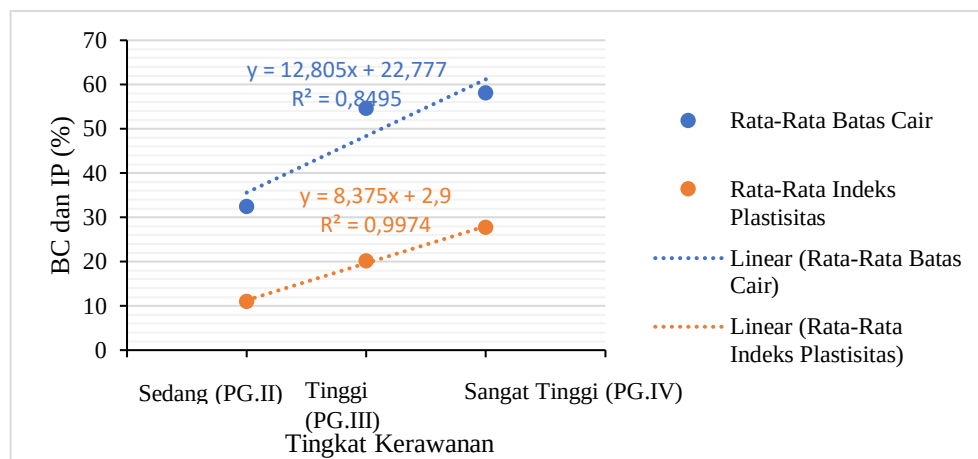
Tabel 5. Hasil Uji Laboratorium Sifat Fisik Tanah Kelurahan Sidorejo

Kode Sampel	BC (%)	BP (%)	IP (%)	Fraksi			Tekstur	Permeabilitas (cm/jam)	BJ (g/cm ³)	BV (g/cm ³)	Porositas (%)
				Debu (%)	Lempung (%)	Pasir (%)					
PG.II.L1	47,07	30,92	16,15	18,28	25,64	56,09	Sandy Clay Loam	13,08	2,5223	1,6115	36,11
PG.II.L2	50,35	33,41	16,94	27,30	38,63	34,06	Clay Loam	5,64	2,0507	1,2185	40,59
PG.II.L3	0	0	0	11,59	2,16	86,25	Loamy Sand	39,60	2,5310	1,3358	47,23
Rata-rata	32,47	21,44	11,03	19,06	22,14	58,8	Sandy Clay Loam	19,44	2,3680	1,3886	41,31
PG.III.L1	41,07	31,30	9,77	34,25	36,52	29,23	Clay Loam	4,92	2,1084	1,3232	37,25
PG.III.L2	62,76	40,37	22,39	23,43	58,14	18,43	Clay	1,56	2,1951	1,5575	29,41
PG.III.L3	69,44	37,60	31,84	42,96	28,36	28,67	Clay Loam	5,40	2,1272	1,3970	34,33
PG.III.L4	41,35	29,37	11,98	32,17	50,01	17,82	Clay	1,92	1,9143	1,3330	30,37
PG.III.L5	44,97	33,06	11,91	22,79	54,51	22,71	Clay	3,84	1,8305	1,1069	39,54
PG.III.L6	53,31	29,60	23,71	54,46	18,25	27,29	Silt Loam	6,12	1,9405	1,2807	34,01
PG.III.L7	58,48	44,27	14,21	25,79	25,79	48,42	Sandy Clay Loam	10,08	1,9315	1,1014	42,98
PG.III.L8	61,63	39,78	21,85	33,08	46,48	20,44	Clay	4,68	2,0596	1,2452	39,55
PG.III.L9	57,61	31,74	25,87	30,18	54,72	15,10	Clay	3,12	2,1065	1,5780	25,09
PG.III.L10	69,44	30,76	38,68	31,65	55,32	13,02	Clay	3,00	2,0685	1,2846	37,90

PG.III.L11	56,85	43,18	13,67	30,68	58,76	10,55	Clay	1,44	1,9930	1,1859	40,50
PG.III.L12	37,41	26,09	11,32	34,60	54,86	10,53	Clay	1,80	2,1348	1,3748	35,61
PG.III.L13	55,61	30,99	24,62	37,29	42,42	20,29	Clay	2,28	2,1135	1,4873	29,63
Rata-rata	54,61	34,47	20,14	33,33	44,93	21,73	Clay	3,86	2,0402	1,3273	35,09
PG.IV.L1	56,55	28,11	28,44	26,87	45,26	27,87	Clay	3,60	2,1325	1,2006	43,70
PG.IV.L2	58,48	28,23	30,25	20,48	60,69	18,84	Clay	0,84	2,4311	1,3377	44,98
PG.IV.L3	52,31	34,57	17,74	37,19	47,98	15,83	Clay	1,08	2,5481	1,2989	49,03
PG.IV.L4	64,99	30,30	34,69	50,38	26,85	22,77	Clay Loam	2,28	2,0687	1,4984	27,57
Rata-rata	58,08	30,30	27,78	33,73	45,19	21,32	Clay	1,95	2,2951	1,3339	41,32

a. Angka-Angka Atterberg

Angka atterberg yang digunakan dalam pendugaan kerawanan gerakan tanah yaitu batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas tanah. Wilayah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah sedang (PG.II.L1-PG.II.L3) memiliki rata-rata batas cair 32,47% (sedang) dan indeks plastisitas 11,03% (sedang), wilayah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah tinggi (PG.III.L1-PG.III.L13) mempunyai rata-rata batas cair 54,61% (tinggi) dan indeks plastisitas 20,14% (tinggi), sedangkan pada wilayah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah sangat tinggi (PG.IV.L1-PG.IV.L4) memiliki rata-rata batas cair 58,08% (tinggi) dan indeks plastisitas 27,78% (tinggi). Hubungan antara batas cair dan indeks plastisitas tanah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah (Gambar 2).



Gambar 2. Grafik Hubungan BC dan IP dengan Kerawanan Gerakan Tanah

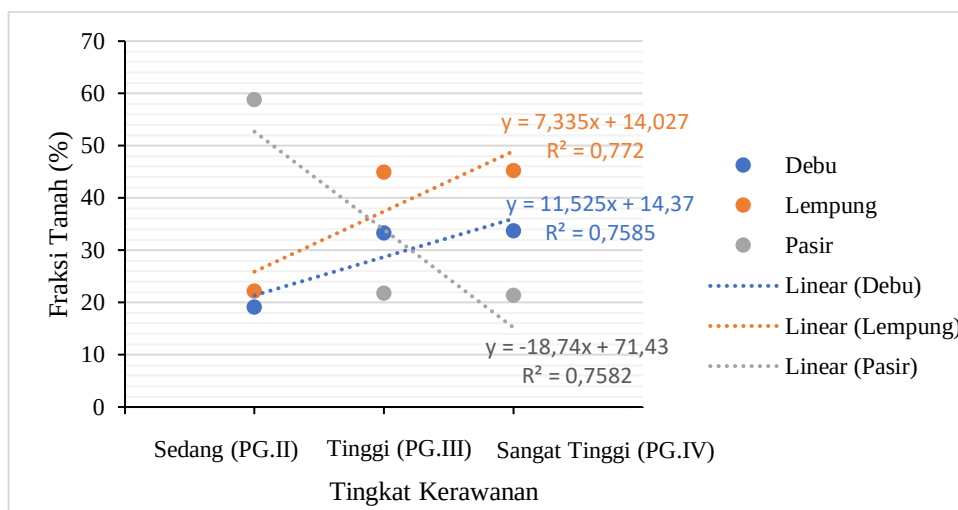
Grafik di atas menunjukkan terjadinya peningkatan batas cair (32,47%-58,08%) dan indeks plastisitas tanah (11,03%-27,78%) pada tingkat kerawanan gerakan tanah. Hal ini sejalan dengan Kottama et al. (2023) yang menyatakan bahwa tanah dengan batas cair yang tinggi mempunyai daya dukung yang rendah dalam menjaga stabilitas lereng, dengan demikian potensi gerakan tanah akan semakin meningkat. Nilai R^2 menunjukkan bahwa batas cair berpengaruh terhadap kerawanan gerakan tanah sebesar 84,95% dan indeks plastisitas tanah berpengaruh terhadap kerawanan gerakan tanah sebesar 99,74%.

Tanah dengan batas cair yang tinggi biasanya memiliki daya dukung tanah yang buruk dan rawan terhadap potensi gerakan tanah karena sifat fisik dan mekanikanya (Arbina, 2021). Batas cair merupakan titik saat tanah berubah dari keadaan padat ke keadaan cair, yang berarti bahwa tanah dengan batas cair yang tinggi memiliki kandungan air yang tinggi dan kekuatan struktural yang rendah. Hal ini membuat tanah menjadi tidak stabil dan rentan terhadap gerakan tanah seperti longsor, geseran, dan penurunan tanah.

Indeks plastisitas juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi daya dukung tanah dan potensi gerakan tanah. Sifat plastisitas tersebut mengakibatkan daya dukung tanah menjadi rendah dan tanah mempunyai sifat kembang susut yang besar. Indeks plastisitas mengukur kemampuan tanah untuk mengalami deformasi atau perubahan bentuk ketika diberi tekanan. Tanah dengan indeks plastisitas yang tinggi cenderung memiliki kemampuan deformasi yang lebih besar yang dapat menyebabkan pergeseran dan penurunan tanah (Yudiawati & Fitriah, 2022)

b. Tekstur

Wilayah dengan tingkat potensi kerawanan gerakan tanah sedang, memiliki tekstur tanah berupa *sandy clay loam* (geluh lempung pasir) dengan rata-rata kandungan fraksi debunya mencapai 19,06%, lempung 22,14%, dan pasir 58,8%. Wilayah dengan tingkat potensi kerawanan gerakan tanah tinggi memiliki tekstur *clay* (lempung) dengan kandungan fraksi debu rata-rata sebesar 33,33%, fraksi lempung 44,93%, dan fraksi pasir 21,73%. Wilayah dengan tingkat potensi kerawanan gerakan tanah sangat tinggi mempunyai tekstur *clay* (lempung) dengan kandungan fraksi debu rata-rata sebesar 33,73%, fraksi lempung 45,19%, dan fraksi pasir 21,32%. Hubungan antara kandungan fraksi tanah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah (Gambar 3).



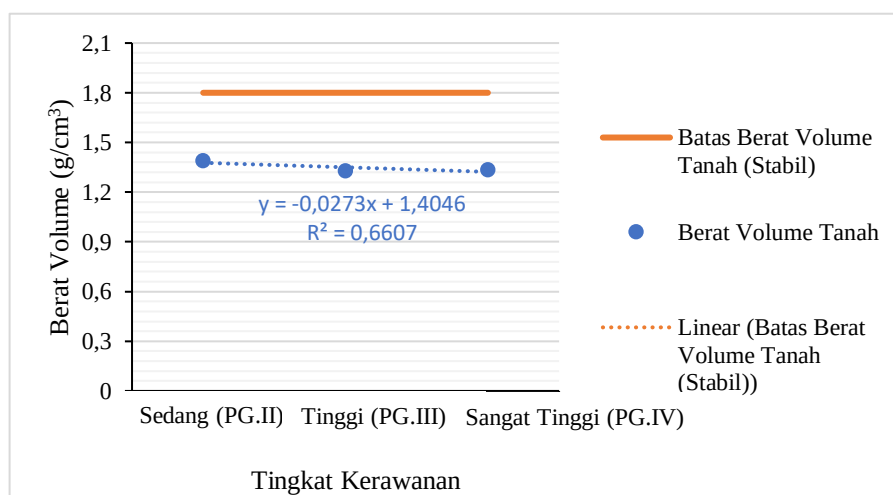
Gambar 3. Grafik Hubungan Kandungan Fraksi Tanah dengan Kerawanan Gerakan Tanah

Grafik di atas menunjukkan terjadinya peningkatan fraksi debu (19,06%-33,73%) dan lempung (22,14%-45,19%) serta penurunan fraksi pasir (58,8%-21,32%) pada tingkat potensi kerawanan gerakan tanah. Peningkatan fraksi debu dan lempung pada tanah terjadi seiring dengan meningkatnya potensi kerawanan terhadap gerakan tanah. Peningkatan fraksi debu dan lempung juga terjadi sejalan dengan peningkatan batas cair dan indeks plastisitas tanah. Hal ini sejalan dengan penelitian Patandung & Ahmad (2020) yang mengungkapkan bahwa lokasi yang rawan terhadap gerakan tanah sebagian besar didominasi fraksi debu dan lempung yang tinggi yang mempengaruhi peningkatan nilai batas cair tanah dan indeks plastisitas tanah. Nilai R^2 menunjukkan bahwa fraksi lempung berpengaruh terhadap kerawanan gerakan tanah sebesar 77,20%, fraksi debu berpengaruh sebesar 75,85%, dan fraksi pasir berpengaruh 75,82% terhadap kerawanan gerakan tanah.

Tanah dengan kandungan debu dan lempung yang tinggi cenderung memiliki sifat yang kurang stabil karena mudah berubah volume saat terjadi perubahan kadar air yang menyebabkan tanah menjadi lebih longgar dan tidak padat, sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya gerakan tanah (Sudarma, 2018). Kandungan air yang tinggi pada tanah lempung juga dapat memperbesar risiko gerakan tanah karena dapat menyebabkan penurunan daya dukung tanah. Pernyataan ini didukung oleh Yulianti et al. (2023), yang menyatakan bahwa tanah dengan kandungan liat yang tinggi memiliki daya dukung tanah yang buruk seperti kekuatan tanah rendah dan compressibility yang tinggi.

c. Berat Volume Tanah

Rata-rata berat volume tanah pada wilayah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah sedang yaitu $1,3886 \text{ g/cm}^3$. Pada wilayah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah tinggi memiliki berat volume rata-rata $1,3273 \text{ g/cm}^3$ dan pada wilayah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah sangat tinggi mempunyai berat volume rata-rata $1,3339 \text{ g/cm}^3$. Hubungan antara berat volume tanah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah (Gambar 4).



Gambar 4. Grafik Hubungan Berat Volume Tanah dengan Kerawanan Gerakan Tanah

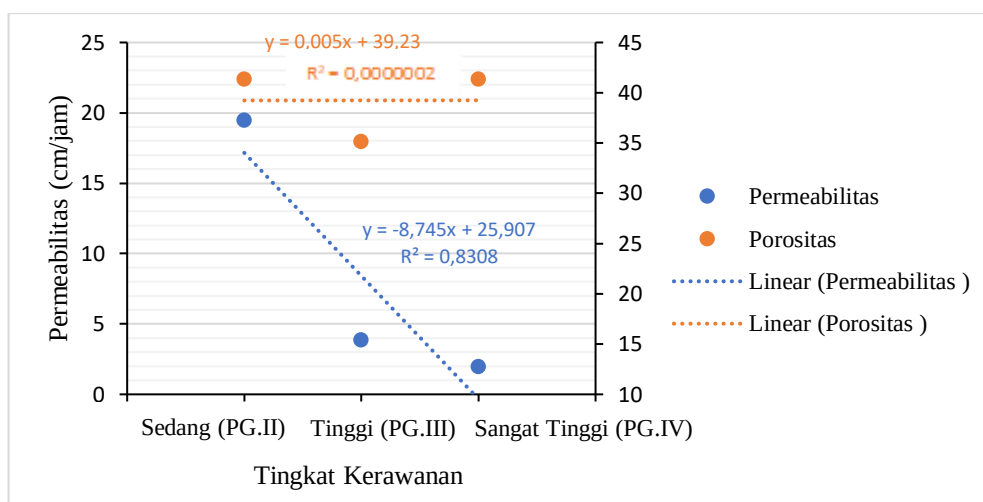
Grafik di atas menunjukkan bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antar berat volume pada setiap tingkat kerawanan gerakan tanah. Berat volume tanah merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menilai kepadatan suatu tanah. Semakin kecil nilai berat volume tanah maka akan semakin gembur tanah tersebut, sebaliknya semakin besar berat volume tanah akan semakin padat tanah tersebut (Hartanto et al., 2022). Tanah dengan berat

volume yang rendah cenderung lebih mudah mengalami gerakan tanah karena butir-butir tanahnya lebih longgar dan mudah bergeser, sedangkan tanah dengan berat volume yang tinggi cenderung lebih stabil dan kurang rentan terhadap gerakan tanah karena butir-butir tanahnya lebih padat dan saling terikat satu sama lain.

Tanah dengan berat volume kurang dari $1,8 \text{ g/cm}^3$ memiliki risiko lebih tinggi untuk mengalami gerakan tanah. Tanah cenderung memiliki daya dukung yang lemah, sehingga tidak mampu menahan beban yang besar dan rentan terhadap gerakan tanah (Sharma et al., 2012). Oleh karena itu, tanah dengan kepadatan kurang dari $1,8 \text{ g/cm}^3$ dianggap sebagai faktor penting dalam menentukan kerentanan terhadap gerakan tanah. Nilai R^2 menunjukkan bahwa berat volume tanah berpengaruh sebesar 66,07% terhadap kerawanan gerakan tanah.

d. Permeabilitas dan Porositas

Permeabilitas tanah di wilayah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah sedang rata-rata memiliki permeabilitas tanah 19,44 cm/jam (cepat), pada wilayah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah tinggi rata-rata permeabilitas tanahnya 3,86 cm/jam (sedang), serta pada wilayah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah sangat tinggi memiliki rata-rata permeabilitas 1,95 cm/jam (agak lambat). Nilai porositas tanah di wilayah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah sedang rata-rata senilai 41,31%, pada wilayah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah tinggi memiliki porositas tanah rata-rata 35,09%, dan pada wilayah dengan tingkat kerawanan gerakan tanah sangat tinggi memiliki porositas tanah rata-rata 41,32%. Hubungan antara permeabilitas dan porositas terhadap kerawanan gerakan tanah (Gambar 5).



Gambar 5. Grafik Hubungan Permeabilitas dan Porositas dengan Kerawanan Gerakan Tanah

Grafik di atas menunjukkan bahwa semakin meningkatnya potensi kerawanan gerakan tanah maka permeabilitasnya akan semakin menurun, dikarenakan kandungan lempung dalam tanah yang semakin banyak. Partikel lempung cenderung akan menyumbat pori-pori tanah dan menghambat masuknya air ke dalam tanah sehingga permeabilitas tanah menjadi turun (Mardiatno & Marfai, 2021). Permeabilitas tanah yang rendah akan menyebabkan air sulit meresap dan tergenang di atas permukaan tanah dan menyebabkan aliran permukaan yang berdampak pada peningkatan erosi (Hartanto et al., 2022). Hal ini dapat meningkatkan beban pada tanah karena air memiliki berat yang cukup besar. Beban yang meningkat pada tanah dapat menyebabkan pergeseran butir-butir tanah dan akhirnya memicu gerakan tanah.

Nilai R^2 menunjukkan bahwa permeabilitas berpengaruh terhadap gerakan tanah sebesar 83,03%. Nilai R^2 untuk porositas tanah diperoleh 0,0000002 atau 0,00002% yang menunjukkan bahwa porositas tanah tidak memiliki pengaruh terhadap kerawanan gerakan tanah. Apabila terjadi penyusutan atau pengeringan tanah, maka porositas tanah dapat menurun karena volume pori-pori berkurang, namun jika terjadi pengembangan tanah, porositasnya dapat meningkat karena volume pori-pori bertambah. Naik turunnya nilai porositas tanah ini juga kemungkinan disebabkan karena perbedaan kondisi saat pengambilan sampel.

3.4 Karakteristik Sifat Fisik Tanah Sebagai Dasar Mitigasi Gerakan Tanah

Karakteristik sifat fisik tanah dapat memberikan gambaran kondisi tanah pada berbagai tingkat potensi kerawanan gerakan tanah, dengan mengetahui sifat fisik tanahnya maka dapat dilakukan tindakan mitigasi yang tepat untuk mencegah atau mengurangi potensi gerakan tanah yang berbahaya. Sifat fisik tanah Kelurahan Sidorejo menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya kerawanan gerakan tanah, kandungan debu dan lempung serta nilai batas cair dan indeks plastisitas tanah juga meningkat, sedangkan kandungan pasir dan nilai permeabilitas tanah semakin menurun.

Pemahaman mengenai sifat fisik tanah merupakan hal yang penting dalam mengidentifikasi potensi gerakan tanah, dengan informasi tersebut kita dapat merencanakan tindakan mitigasi yang tepat untuk mencegah atau mengurangi potensi gerakan tanah. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) (1986), mitigasi gerakan tanah dapat dilakukan dengan mengurangi gaya pendorong melalui pemotongan lereng (mengubah geometri lereng) dan pengendalian air permukaan dengan menanam vegetasi, menutup retakan, tata salir (drainase), atau perbaikan permukaan

lereng (*regrading*), selain itu mitigasi gerakan tanah juga dapat dilakukan dengan menambah gaya penahan melalui pengendalian air rembesan yang bertujuan untuk menurunkan muka air tanah sehingga tekanan air pori berkurang atau melalui pembuatan bangunan struktur yang berfungsi mencegah, mengamankan, dan mengurangi dampak yang diakibatkan oleh gerakan tanah.

3. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini mengungkapkan bahwa hasil pemetaan potensi kerawanan gerakan tanah di Kelurahan Sidorejo menghasilkan empat kelas klasifikasi risiko: potensi rendah mencakup area seluas 12,561 ha (2,31%), potensi sedang seluas 179,531 ha (33,01%), potensi tinggi seluas 341,367 ha (62,77%), dan potensi sangat tinggi seluas 10,400 ha (1,91%). Analisis sifat fisik tanah menunjukkan bahwa karakteristik seperti batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, tekstur, berat volume, dan permeabilitas tanah memiliki pengaruh signifikan terhadap kerawanan gerakan tanah, sedangkan porositas tanah tidak menunjukkan pengaruh yang berarti. Temuan ini mengindikasikan bahwa tanah di lokasi penelitian cenderung mudah mengalami jenuh air, yang mengurangi daya dukung tanah dan meningkatkan risiko gerakan tanah. Oleh karena itu, penanganan yang efektif harus memperhatikan faktor-faktor tersebut untuk mengurangi potensi bencana gerakan tanah di area yang berisiko tinggi. Berdasarkan hasil penelitian, disarankan untuk melakukan pengendalian air resapan di Kelurahan Sidorejo guna mengurangi potensi gerakan tanah yang disebabkan oleh ketidakstabilan tanah akibat kandungan air yang tinggi. Pengendalian ini dapat dilakukan melalui berbagai metode, seperti penanaman tanaman yang tahan terhadap gerakan tanah, penutupan retakan, perbaikan tata salir (*drainase*), dan perbaikan permukaan lereng (*regrading*) untuk meningkatkan stabilitas tanah. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh intensitas curah hujan terhadap gerakan tanah, terutama mengingat tingginya kandungan lempung di tanah lokasi penelitian. Penelitian lanjutan juga harus mencakup analisis kestabilan lereng untuk memahami lebih mendalam hubungan antara sifat fisik tanah dan kejadian gerakan tanah di daerah tersebut. Upaya-upaya ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif untuk merancang strategi mitigasi yang lebih efektif dan memastikan keamanan serta keberlanjutan penggunaan lahan di Kelurahan Sidorejo.

REFERENCES

- Almira Salsabila, G., Feranie, S., & Tohari, A. (2021). Karakteristik Sifat Fisik Tanah Residual Lereng Rawan Longsor di Kampung Cibitung, Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (Vol. 1, No. 1, pp. 390-395)*.
- Anonim. 2023. *Bencana Tanah Longsor Padukuhan Kleben VII Sidorejo*. <https://sidorejosid.slemankab.go.id/first/artikel/188-Bencana-Tanah-Longsor-Padukuhan-Kleben-VII-Sidorejo>. [21 Maret 2023].
- Arbina, E. (2021). Stabilitas Tanah Lempung Dengan Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Sipil*, 4(1), 80-90. Retrieved from <https://ojs.poltekba.ac.id/ojs/index.php/jutateks/article/view/254>
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Daerah Istimewa Yogyakarta. 2022. Data Kejadian Tanah Longsor di Kelurahan Sidorejo, Kapanewon Godean, Kabupaten Sleman. https://pamor.jogjaprovo.go.id/data_kejadian/detail/10487. [15 Januari 2023].
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Sleman. 2023. Sleman Dilanda 127 Kejadian Bencana Sepanjang 2022 Longsor Mendominasi. <https://bpbd.slemankab.go.id>. [30 Januari 2023].
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Standar Nasional Indonesia (SNI) 1967:2008. Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Standar Nasional Indonesia (SNI) 1966:2008. Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 2006. *Sifat Fisika Tanah dan Metode Analisisnya*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian. Bogor.
- Hartanto, N., Zulkarnain, & Wicaksono, A. A. (2022). Analisis Beberapa Sifat Fisik Tanah Sebagai Indikator Kerusakan Tanah Pada Lahan Kering. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, 4(2), 107-112. <https://doi.org/210.35941/JATL>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 1986. Petunjuk Penyelidikan dan Penanggulangan Gerakan Tanah (Longsor). Departemen Pekerjaan Umum Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Kottama, G. W., Candra, A. I., Rivianto, A., Fatkhur Rohman, M. R., Budiawan, M. R. A. J., Taufani, M. S., & Prasetyo, M. W. (2023). Optimasi Geometri Lereng dengan Evaluasi Nilai Faktor Keamanan Menggunakan Software Geostudio. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 6(2), 84-98. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v6i2.4864>
- Kristie, H. J., & Budiman, A. (2021). Karakteristik Sifat Fisik Tanah Daerah Potensi Longsor di Jalan Raya Sumbar Riau Nagari Koto Alam, Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 10(1), 123-129. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.1.123-129.2021>
- Larasati, N. M., Subiyanto, S., & Sukmono, A. (2017). Analisis Penggunaan dan Pemanfaatan Tanah (P2T) Menggunakan Sistem Informasi Geografis Kecamatan Banyumanik Tahun 2016. *Jurnal Geodesi Undip*, 6, 89-7. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundip.2017.18131>
- Lisaan Auliya, A., Feranie, S., & Tohari, A. (2021). Karakteristik Sifat Fisik Tanah Residual Lereng Rawan Longsor di Sidamukti, Pangalengan. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (Vol. 1, No. 1, pp. 401-408)*.
- Mardiatno, D., & Marfai, M. A. (2021). *Analisis Bencana Untuk Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS): Studi Kasus Kawasan Hulu DAS Comal*. UGM Press.
- Najikhah, Muna. (2022). Karakteristik Tanah Pada Tanah Rawan Longsor di Kabupaten Karanganyar. *Skripsi thesis*, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

- Nogoro, D. Y., Yuwono, B. D., & Nugraha, A. L. (2019). Studi Land Subsidence dengan Kondisi Sumur Milik Masyarakat di Wilayah Utara Semarang dan Demak. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(4), 235–244. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundip.2019.25191>
- Patandung, T., & Ahmad, A. (2020). Sifat Fisik Tanah yang Memengaruhi Kejadian Longsor di Makale Selatan: The Physical Properties of Soil That Affected the Landslide Event in South Makale. *Jurnal Ecosolum*, 9(2). <https://doi.org/10.20956/Ecosolum.V9i2.8952>
- Pramono, D. A. (2016). Sebaran Jenis Tanah di Sub Daerah Aliran Sungai Karang Mumus Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Teknologi Informasi Universitas Lambung Mangkurat (JTIULM)*, 1(2), 60–72. <https://doi.org/10.20527/jtiulm.v1i2.9>
- Prastowo, R., Trianda, O., & Novitasari, S. (2018). Identifikasi Kerentanan Gerakan Tanah Berdasarkan Data Geologi Daerah Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulonprogo, Yogyakarta. *KURVATEK*, 3(2), 31-40. Retrieved from [//journal.itny.ac.id/index.php/krvtk/article/view/782](http://journal.itny.ac.id/index.php/krvtk/article/view/782)
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. 2022. *Wilayah Potensi Gerakan Tanah di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Bulan Januari 2022*. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat (Puslittanak). 2004. *Laporan Akhir Pengkajian Potensi Bencana Kekeringan, Banjir dan Longsor di Kawasan Satuan Wilayah Sungai Citarum-Ciliwung, Jawa Barat Bagian Barat Berbasis Sistem Informasi Geografi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Rahmad, R., Suib, S., & Nurman, A. (2018). Aplikasi SIG Untuk Pemetaan Tingkat Ancaman Longsor di Kecamatan Sibolangit, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(1), 1. <https://doi.org/10.22146/mgi.31882>
- Saputri, A. I., Wahyudin, S. A., & Setiawan, B. (2022). Implementasi SIG untuk Inventarisasi Daerah Resiko Longsor dan Upaya Mitigasinya. *Jurnal Education Social Science*, 1(1), 43–60. <https://doi.org/10.21274/jess.v1i1.5356>
- Sharma, L. P., Patel, N., Debnath, P., & Ghose, M. K. (2012). Assessing Landslide Vulnerability from Soil Characteristics—a GIS-Based Analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, 5(4), 789–796. <https://doi.org/10.1007/s12517-010-0272-5>
- Sudarma, I. M. (2018). Indeks Plastisitas Tanah Lempung yang Distabilisasi Dengan Variasi Campuran Limestone, Kapur Padam, Abu Sekam dan Semen. *Jurnal Teknik Gradien*, 10(1), 96-111. Retrieved from <https://ojs.unr.ac.id/index.php/teknikgradien/article/view/114>
- Yudiawati, Y., & Fitriah, N. (2022). Peningkatan Parameter Mekanis Tanah Lempung Plastisitas Tinggi sebagai Bahan Timbunan dengan Penambahan Kapur. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(4). <https://doi.org/10.32672/jse.v7i4.4925>
- Yulianti, D., Firda, A., Djohan, B., & Syahrul Fuad, I. (2023). Stabilitas Tanah Lempung Menggunakan Kapur dan Fly Ash dengan Pengujian CBR. *Jurnal Teknik Sipil LATERAL*, 1(2), 47–53. <https://doi.org/10.52333/lateral.v1i2.411>