

ANALISIS KESTABILAN LERENG DI DESA TERBAH DAN SEKITARNYA, KECAMATAN PATUK, KABUPATEN GUNUNG KIDUL BERDASARKAN *SLOPE STABILITY PROBABILITY CLASSIFICATION*

SLOPE STABILITY ANALYSIS IN TERBAH VILLAGE, DISTRICT OF PATUK, GUNUNG KIDUL USING SLOPE STABILITY PROBABILITY CLASSIFICATION

Alvian Rizky Yanuardian¹⁻², I Gde Budi Indrawan², dan I Wayan Warmada²

¹Pusat Penelitian Geoteknologi, LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135

²Teknik Geologi – Universitas Gadjah Mada

ABSTRAK Desa Terbah merupakan salah satu desa di Indonesia yang rawan longsor. Daerah ini berada pada sedimen Tersier yang telah mengalami deformasi dan pelapukan kuat yang berpotensi longsor, sehingga diperlukan analisis kestabilan lereng untuk upaya mitigasi. Tulisan ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik satuan geologi teknik lereng dan nilai probabilitas tingkat kestabilan lereng. Metode penelitian yang digunakan yaitu pengamatan tingkat pelapukan, pengukuran bidang diskontinuitas (spasi, kekasaran, lebar bukaan) pada lereng berdasarkan metode *Rock Mass Rating (RMR)*, pengujian laboratorium menggunakan *point load test*, dan analisis kestabilan lereng dengan metode kinematika dan *Slope Stability Probability Classification (SSPC)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat lima satuan geologi teknik batuan, yaitu: Satuan Breksi Andesit 1,

Satuan Breksi Andesit 2, Satuan Tufa, Satuan Batupasir Tufan, dan Satuan Batupasir. Hasil pengukuran pada 35 lereng menunjukkan 14 lereng berada dalam kondisi tidak stabil berdasarkan kestabilan lereng orientasi independen (tidak terpengaruh diskontinuitas), dan 18 lereng berpotensi terjadi longsor gelinciran (*sliding*), dan 14 lereng berpotensi terjadi longsor robohan (*toppling*) berdasarkan orientasi dependen (terpengaruh diskontinuitas).

Kata kunci: kestabilan lereng, sedimen Tersier, analisis kinematika, *Slope Stability Probability Classification (SSPC)*, *Rock Mass Rating (RMR)*.

ABSTRACT Terbah village is one of the rural areas in Indonesia that has high vulnerability to landslide. This area occupies the Tertiary sediment which had been deformed and highly weathered, therefore prone to landslide. It is important to analyze the slope stability of the study area as a part of the mitigation measures. This paper aims to identify the engineering geological units and the probability values of the slope stability. Methods included the observation of weathering degree, measurement of slope discontinuities (space, roughness, width of opening) according to *Rock Mass Rating (RMR)*, *point load test* in the laboratory, and slope stability analysis using kinematic method and *Slope Stability Probability Classification (SSPC)*. Results show that there are five engineering geological units: *Andesitic Breccia Unit 1*, *Andesitic Breccia Unit 2*, *Tuff unit*, *Tuffaceous*

Naskah masuk : 21 Februari 2018
Naskah direvisi : 7 Mei 2018
Naskah diterima : 5 Juni 2018

Alvian Rizky Yanuardian
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI Gd. 70, Jl Sangkuriang Bandung 40135
Email : alvian.ry@gmail.com

I Gde Budi Indrawan
Departemen Teknik Geologi UGM
Bulaksumur, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten
Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
Email : igbindrawan@ugm.ac.id

Sandstone Unit, and Sandstone Unit. Measurements of 35 slopes show that based on independent orientation analysis 14 slopes are unstable, and based on dependent orientation analysis 18 slopes are prone to sliding and 14 slopes are susceptible to toppling.

Keywords: *slope stability, Tertiary sediment, kinematic analysis, Slope Stability Probability Classification (SSPC), Rock Mass Rating (RMR).*

PENDAHULUAN

Desa Terbah, Kabupaten Gunung Kidul merupakan daerah yang dikategorikan memiliki kerentanan rendah – tinggi (PVMBG, 2014). Kawasan ini ditempati oleh sedimen Tersier yang dicirikan oleh pelapisan sedimen Tersier bagian sayap antiklin (Surono et al., 1992). Rekahan-rekahan dengan kerapatan yang bervariasi dan tingkat pelapukan yang lanjut dapat menjadi faktor utama pemicu longsoran (Karnawati, 2007 dan Pongpanya, 2011). Tingkat kemiringan lereng yang relatif curam juga menjadi faktor lain pemicu kejadian longsor (Southammavong, 2011). Faktor utama tingkat kestabilan lereng di alam, pemotongan lereng di jalan, atau di area tambang adalah hadirnya bidang diskontinuitas seperti rekahan, patahan, foliasi, bidang lapisan, dan zona geser pada bagian muka lereng. Orientasi bidang diskontinuitas menjadi salah satu faktor penting dalam evaluasi potensi kestabilan lereng dan jenis longsoran (Hoek dan Bray, 1989), dimana terdapat beberapa model seperti *planar*, *membaji*, *toppling* dan *circular* (Wyllie dan Mah, 1974). Mempertimbangkan kondisi geologi berupa sedimen Tersier yang berada pada daerah rawan longsor, maka pengetahuan karakteristik geologi teknik batuan pada lereng tersebut penting untuk diketahui, terutama dari permasalahan karakter materialnya terhadap kestabilan lereng. Dengan melakukan pendekatan analisis kinematika, *SSPC* dan *RMR*, maka akan diperoleh tingkat kestabilan lereng, baik pola dan jenisnya longsoran secara akurat sehingga dapat digunakan untuk menentukan area-area zona ancaman longsoran.

Sistem *SSPC* adalah sistem klasifikasi massa batuan berdasarkan pendekatan tiga tahap dan pada penilaian probabilitistik dari berbagai mekanisme kestabilan independen dalam lereng (Hack dan Price, 1995). Pertama, massa batuan terekspos dikarakterisasi dan dikoreksi berdasarkan tingkat pelapukan dan galian untuk mendapatkan parameter yang penting sebagai

gambaran perilaku geomekanik lereng dalam keadaan alami dan tidak terganggu. Kemudian dilakukan desain kemiringan lereng yang dinilai berdasarkan parameter massa batuan, serta mempertimbangkan metode penggalian dan efek pelapukan (Hack, 1998; Hack, 2002; Hack et al., 2003) dan yang terakhir adalah penilaian probabilitas kestabilan lereng. Penerapan analisis kestabilan lereng metode *SSPC* pada lereng batugamping di Turki (Canal dan Akin, 2016) menghasilkan estimasi tingkat kestabilan lereng yang cukup baik pada tipe longsoran *planar* dan *toppling* bila dibandingkan dengan metode analitik. Lindsay et al., (2001) memodifikasi sistem *SSPC* dengan memasukkan aspek kadar air batuan, indeks alterasi kimia untuk kekuatan batuan utuh untuk secara tidak langsung mengakomodasi pengaruh *slaking* serpih pada kestabilan lereng tambang batubara Waikato, Selandia Baru. Aplikasi metode *SSPC* oleh Cabria (2015) pada batuan vulkanik dan endapan vulkaniklastik Kuartar menunjukkan bahwa selain faktor orientasi lereng, tinggi lereng dan orientasi bidang diskontinuitas, batuan yang mengalami pelapukan menengah sampai tinggi cenderung tidak stabil dibandingkan dengan batuan yang sedikit lapuk. Secara umum keunggulan metode *SSPC* mencakup penilaian yang komprehensif terhadap kinematika lereng, derajat pelapukan batuan, dan dapat memberikan prediksi tinggi lereng optimal (Lindsay et al., 2001).

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, metode *SSPC* (Hack, 1996) dapat digunakan untuk menghitung probabilitas tingkat kestabilan lereng di daerah penelitian yang dipengaruhi oleh proses pelapukan dan intensitas bidang diskontinuitas. Tingkat pelapukan merupakan salah satu parameter yang diperhitungkan, selain kekuatan batuan utuh, metode pemotongan lereng, dan kondisi bidang diskontinuitas dalam menentukan probabilitas tingkat kestabilan lereng yang tidak terpengaruh oleh bidang diskontinuitas. Sedangkan, intensitas diskontinuitas merupakan parameter terpenting pada perhitungan probabilitas tingkat kestabilan lereng yang terpengaruh diskontinuitas. Sehingga, hasil akhir nilai probabilitas tingkat kestabilan lereng dibagi menjadi 2, yang tidak terpengaruh dan terpengaruh diskontinuitas. Berdasarkan kajian tersebut, tulisan ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik satuan geologi teknik lereng dan tingkat kestabilan lereng di daerah batuan sedimen

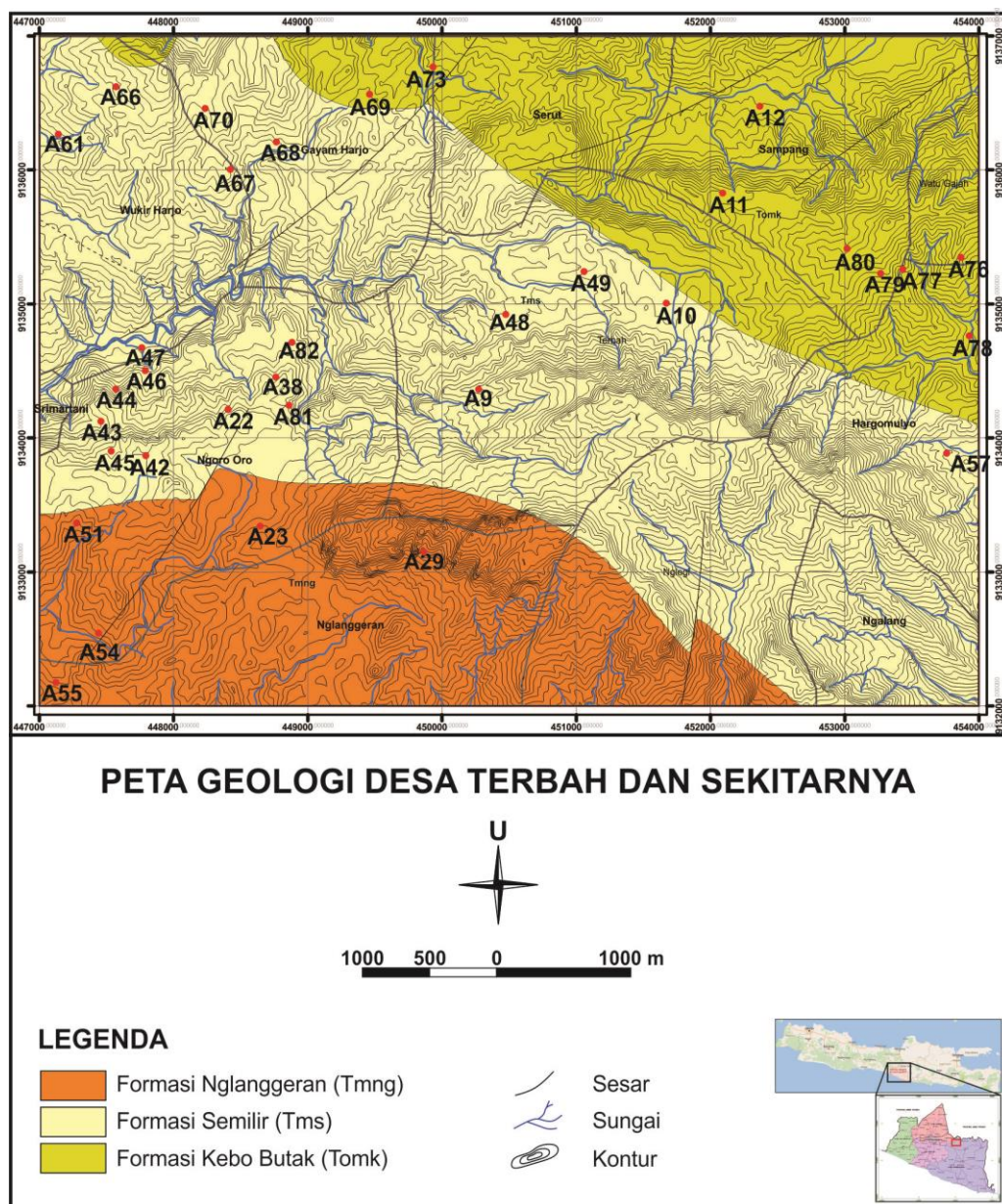
Tersier, agar diketahui secara detil lereng yang memiliki probabilitas untuk longsor jenis gelinciran, robohan, dan yang tidak terpengaruh bidang diskontinuitas.

LOKASI DAN GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Lokasi daerah penelitian secara dominan berada di Desa Terbah Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta pada koordinat UTM 49S 447.000 – 454000mT dan 9132000 – 9137000mU dengan luas area 35 km² (7 km x 5 km), berupa perbukitan

bergelombang dengan ketinggian antara 135–675 mdpl (Gambar 1).

Menurut Suroño et al., (1992), geologi daerah Patuk dan sekitarnya mulai dari tua ke muda disusun oleh endapan sedimen Tersier yaitu Formasi Kebobutak : bagian atas perselingan batupasir, batulempung, tuf tipis, bagian bawah batupasir, batulanau, batulempung, serpih, tuf dan aglomerat. Formasi Semilir : Tuf, breksi batupung dasitan, batupasir tufan dan serpih. Formasi Nglanggeran : breksi gunung api, aglomerat, lava andesit-basal dan tuff. Pola struktur geologi pada formasi tersebut



Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian dan lokasi lereng (modifikasi dari Suroño et al., 1992).

menggambarkan bagian dari sayap antiklin dengan jurus baratlaut–tenggara dengan kemiringan ke selatan, diduga dapat menggambarkan potensi jenis longsor gelinciran (*planar*) dan robohan (*toppling*) serta tingkat pelapukan berkisar 0,5 hingga 1 meter.

Formasi Kebo Butak (Tomk)

Formasi Kebo Butak merupakan formasi tertua yang ada di daerah penelitian. Satuan ini tersebar di bagian utara dan timurlaut daerah penelitian. Formasi ini berumur Oligosen–Miosen Awal. Formasi ini terdiri atas lapisan batupasir, batulanau, batulempung, serpih, tufa, dan aglomerat pada bagian bawah. Formasi ini memiliki kontak selaras dengan Formasi di atasnya yaitu Formasi Semilir.

Formasi Semilir (Tms)

Formasi Semilir merupakan formasi tertua kedua yang ada di daerah penelitian. Sebaran formasi ini berada di tengah daerah penelitian. Formasi ini berumur Miosen Awal. Lokasi tipe dari Formasi

Semilir berada di Gunung Semilir. Formasi ini terdiri atas tufa andesit–dasitik, breksi pumis dasitik, perselingan batupasir konglomerat dan tufan, batulempung tufan, batupasir tufan, dan serpih.

Formasi Nglanggeran (Tmng)

Formasi Nglanggeran merupakan formasi tertua ketiga setelah Formasi Semilir. Hubungan stratigrafi Formasi Nglanggeran dan Formasi Semilir ini menurut Surono et al., (1992) adalah menjari. Formasi ini berumur Miosen Awal. Lokasi tipe formasi ini berada di bukit Nglanggeran. Formasi Nglanggeran terdiri atas breksi vulkanik, breksi aliran, lava aglomerat, tufa, dan batulempung.

METODE

Metode penelitian yang dilakukan yaitu meliputi pengamatan lapangan dan pengukuran lereng pada 35 lokasi meliputi aspek tingkat pelapukan (Tabel 1), kemiringan lereng, arah kemiringan bidang diskontinuitas, jarak antar bidang diskontinuitas

Tabel 1. Tingkat pelapukan dan deskripsinya (*ISRM*, 1981b dalam Bieniawski, 1989).

Tingkat	Jenis Pelapukan	Deskripsi
I	<i>Fresh</i>	Tidak tampak adanya tanda batuan yang lapuk. Terkadang ditemukan perubahan warna pada bidang diskontinuitas.
II	<i>Slightly Weathered</i>	Perubahan warna mengindikasikan pelapukan dari material batuan dan bidang diskontinuitas. Semua material batuan berubah warna akibat pelapukan
III	<i>Moderately Weathered</i>	Kurang dari setengah material batuan telah terdekomposisi menjadi tanah. Batuan segar atau yang berubah warnanya masih tampak sebagai inti batuan.
IV	<i>Highly Weathered</i>	Lebih dari setengah material batuan telah terdekomposisi menjadi tanah. Batuan segar atau yang berubah warnanya masih tampak sebagai inti batuan.
V	<i>Completely Weathered</i>	Keseluruhan material batuan terdekomposisi menjadi tanah. Struktur batuan masih utuh.
VI	<i>Residual Soil</i>	Semua material berubah menjadi tanah. Struktur massa dan kemas material hancur. Terjadi perubahan volume secara signifikan, tetapi belum tertransport.

(Tabel 2), kondisi massa batuan menggunakan pendekatan *scanline (RQD)* (Palmstrom, 2005), dan karakter bidang diskontinuitas (Tabel 3).

Tabel 2. Deskripsi jarak antar diskontinuitas (Bieniawski, 1989).

Interval (cm)	Deskripsi
> 200	Sangat lebar
60 – 200	Lebar
20 – 60	Sedang
6 – 20	Rapat
< 6	Sangat rapat

Tabel 3. Karakteristik diskontinuitas (Hack, 1996).

Characteristic of Discontinues		Rating	
<i>Roughness</i>	<i>wavy</i>	1.00	
<i>large scale</i>	<i>slightly wavy</i>	0.95	
<i>(Rl)</i>	<i>curved</i>	0.90	
	<i>slightly curved</i>	0.85	
	<i>straight</i>	0.80	
<i>Roughness</i>	<i>rough</i>	0.95	
<i>small scale</i>	<i>stepped/irregular</i>		
<i>(Rs)</i>	<i>smooth stepped</i>	0.90	
	<i>polished stepped</i>	0.85	
	<i>rough undulating</i>	0.80	
	<i>smooth undulating</i>	0.75	
	<i>polished undulating</i>	0.70	
	<i>rough planar</i>	0.65	
	<i>smooth planar</i>	0.60	
	<i>polished planar</i>	0.55	
<i>Infill</i>	<i>cemented/cemented</i>	1.07	
<i>material</i>	<i>infill</i>		
<i>(Im)</i>	<i>no-infill staining</i>	1.00	
	<i>non</i>	<i>coarse</i>	0.95
	<i>softening &</i>	<i>medium</i>	0.90
	<i>sheared</i>	<i>fine</i>	0.85
	<i>material</i>		

	<i>e.g. free of</i>		
	<i>clay. talc.</i>		
	<i>etc</i>		
	<i>soft</i>	<i>coarse</i>	0.75
	<i>sheared</i>	<i>medium</i>	0.65
	<i>material</i>	<i>fine</i>	0.55
	<i>e.g. clay.</i>		
	<i>talc. etc</i>		
	<i>gouge < irregularities</i>		0.42
	<i>gouge > irregularities</i>		0.17
	<i>flowing material</i>		0.05
<i>Karst (Ka)</i>	<i>none</i>		0.17
	<i>karst</i>		0.05

Penentuan kualitas massa batuan berdasarkan *Rock Mass Rating* (Bieniawski, 1989) dilakukan dengan pengamatan lereng. 35 sampel lereng tersebut diuji kekuatannya menggunakan alat uji *point load*. Nilai indeks *point load*, kemudian dikoreksi untuk mendapatkan nilai *uniaxial compressive strength* (Persamaan 1 dan 2) (ASTMD5731-08, 1985). Uji lain yang dilakukan untuk menentukan kondisi keteknikan batuan adalah uji berat isi dan *specific gravity* (ASTM D6473-15, 2015).

$$I_{s(50)} = P / De^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$\delta_{uc} = C \times I_{s(50)} \dots\dots\dots(2)$$

- $I_{s(50)}$ = Nilai *point load index* dengan jarak konus sampel 50mm
- P = nilai beban ketika sampel hancur (N)
- De^2 = $4A/\pi$ pada sampel *axial*, balok dan bentuk ireguler (mm²)
- C = faktor yang tergantung dari korelasi spesifik daerah antara δ_{uc} dan $I_{s(50)}$
- δ_{uc} = nilai *uniaxial compressive strength*

Kelebihan sistem *SSPC* mempertimbangkan stabilitas orientasi dependen dan orientasi independen dari lereng dengan demikian dapat memberikan penilaian stabilitas lereng yang lebih baik (Hack, 1998; Lindsay et al., 2001). Analisis *SSPC* orientasi dependen terkait dengan orientasi diskontinuitas dan kemiringan lereng, sedangkan analisis *SSPC* orientasi independen menganggap kekuatan, kohesi dan sudut geser massa batuan

pada lereng tidak tergantung pada orientasi. Nilai probabilitas kestabilan lereng tersebut dihasilkan dari *plot* perpotongan garis antara nilai ketinggian maksimal lereng (Persamaan 3) dengan tinggi lereng di lapangan dan sudut geser dalam terkoreksi dengan kemiringan lereng.

$$H_{max} = 1,6 \times 10^4 \times SCOH \times \sin(\text{slope dip}) \times \cos(SFRI) / (1 - \cos(\text{slope dip} - SFRI)) \dots \dots \dots (3)$$

SCOH = kohesi terkoreksi lereng
SFRI = sudut geser dalam terkoreksi lereng

Parameter yang digunakan untuk menentukan ketinggian maksimal lereng adalah sudut geser dalam terkoreksi lereng (*SFRI*), kohesi terkoreksi lereng (*SCOH*), dan sudut kemiringan lereng. Sudut geser dalam terkoreksi lereng (*SFRI*) dan kohesi terkoreksi lereng (*SCOH*) didapatkan dari perhitungan parameter kekuatan batuan utuh terkoreksi (*SIRS*), jarak antar bidang diskontinuitas terkoreksi (*SSPA*), dan kondisi bidang diskontinuitas terkoreksi (*SCD*) (Persamaan 4 dan 5).

$$SFRI = (SIRS \times 0,2417) + (SSPA \times 52,12) + (SCD \times 5,779) \dots \dots \dots (4)$$

$$SCOH = (SIRS \times 94,27) + (SSPA \times 28629) + (SCD \times 3593) \dots \dots \dots (5)$$

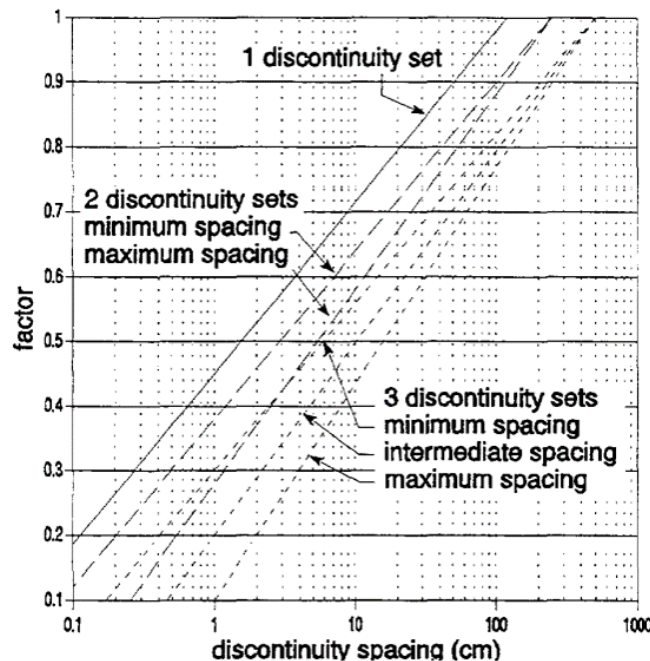
SIRS = kekuatan batuan utuh terkoreksi lereng
SSPA = spasi bidang diskontinuitas terkoreksi lereng
SCD = kondisi diskontinuitas terkoreksi lereng

Untuk analisis lereng eksisting, nilai kekuatan batuan utuh terkoreksi (*SIRS*), jarak antar bidang diskontinuitas terkoreksi (*SSPA*), dan kondisi bidang diskontinuitas terkoreksi (*SCD*) memiliki nilai sesuai dengan Persamaan 6. Sementara untuk desain pembuatan lereng baru, diperlukan parameter tingkat pelapukan untuk koreksi faktor pembagi.

$$SIRS = IRS \quad SSPA = SPA \quad SCD = CD \dots \dots \dots (6)$$

IRS = kekuatan batuan utuh
SPA = spasi bidang diskontinuitas
CD = kondisi diskontinuitas

Nilai spasi diskontinuitas sendiri didapatkan dari perkalian tiga nilai faktor berdasarkan diagram faktor spasi diskontinuitas (Gambar 2) (Persamaan 7). Nilai kondisi bidang diskontinuitas merupakan fungsi dari nilai parameter kondisi diskontinuitas (*TC*) dan jarak antar bidang diskontinuitas (*DS*) (Persamaan 8). Karakteristik bidang diskontinuitas dibagi menjadi empat parameter yaitu tingkat kekasaran skala besar dan



Gambar 2. Diagram semi-log faktor terhadap spasi diskontinuitas (Hack, 1996).

kecil, material pengisi, dan ketersediaan karst (Tabel 3).

$$SPA = \text{Faktor 1} \times \text{Faktor 2} \times \text{Faktor 3} \dots (7)$$

$$CD = \left(\frac{TC1}{DS1} + \frac{TC2}{DS2} + \frac{TCn}{DSn} \right) / \left(\frac{1}{DS1} + \frac{1}{DS2} + \frac{1}{DSn} \right) \dots (8)$$

Berbeda dengan perhitungan tingkat kestabilan lereng yang tidak terpengaruh, perhitungan tingkat kestabilan lereng yang terpengaruh bidang diskontinuitas hanya menggunakan parameter kondisi dan geometri bidang diskontinuitas. Secara umum, Hack (1996) membagi karakteristik orientasi bidang diskontinuitas dan lereng yang dapat berpotensi longsor jenis gelinciran (*sliding*) berdasarkan persamaan (9-12).

Arah kemiringan bidang diskontinuitas – arah kemiringan lereng $| < 90^\circ \dots (9)$

Sudut kemiringan lereng $> AP + 5^\circ \dots (10)$

AP $< 85^\circ \dots (11)$

TC $< 0,0113 \times AP \dots (12)$

Parameter yang digunakan untuk mengkarakterisasi potensi longsor robohan berbeda dengan gelinciran. Perbedaan tampak pada parameter kemiringan diskontinuitas yang dihitung berdasarkan arah kemiringan lereng yang berlawanan. Hal tersebut juga sesuai dalam analisis kinematikanya (Goodman, 1989) (Persamaan 13-15).

Arah kemiringan bidang diskontinuitas – arah kemiringan lereng $| > 90^\circ \dots (13)$

γ $< 85^\circ \dots (14)$

TC $< 0,0087 \times (-90 + \gamma + \text{slope dip})$ dengan syarat (**γ** > 0) $\dots (15)$

AP = kemiringan diskontinuitas pada arah kemiringan lereng

TC = parameter kondisi bidang diskontinuitas

γ = kemiringan diskontinuitas pada lawan dari arah kemiringan lereng.

Hasil perhitungan berupa kemiringan diskontinuitas pada arah kemiringan lereng (AP) (persamaan 16) dan kemudian dicocokkan antara nilai orientasi AP dengan kemiringan lereng (Tabel 4). Penggunaan grafik probabilitas kestabilan lereng jenis runturan gelinciran (*sliding*) dan robohan (*toppling*) dilakukan bila lereng memenuhi persyaratan pada persamaan (11) untuk gelinciran dan persamaan (14) untuk robohan. Selanjutnya dilakukan analisis kinematika secara grafis menggunakan perangkat lunak DIPS untuk menentukan tipe keruntuhan lereng. Metode kinematika secara umum digunakan untuk menentukan jenis longsor, tetapi seiring perkembangannya, metode ini mulai dijadikan pendekatan untuk menentukan kestabilan lereng batuan berdasarkan perbandingan orientasi bidang diskontinuitas dan lereng (Goodman, 1989).

Tabel 4. Probabilitas kestabilan lereng yang terpengaruh bidang diskontinuitas (Hack,1996).

	<i>Stability</i>	<i>Sliding</i>	<i>Toppling</i>
	$AP > 84^\circ \text{ or } AP < -84^\circ$	<i>Vertical</i>	100%
	$(\text{slope dip}+5) < AP < 84^\circ$	<i>With</i>	100%
	$(\text{slope dip}-5) < AP < (\text{slope dip}+5)$	<i>Equal</i>	100%
	$0 < AP < (\text{slope dip}-5)$	<i>With</i>	<i>Use graph sliding</i>
	$AP < 0^\circ \text{ and } (-90-AP+\text{slope dip}) < 0^\circ$	<i>Against</i>	100%
	$AP < 0^\circ \text{ and } (-90-AP+\text{slope dip}) > 0^\circ$	<i>Against</i>	<i>Use graph toppling</i>

$$AP = \arctan (\cos (\sigma - \tau) \times \beta) \dots \dots \dots (16)$$

σ = arah kemiringan lereng
 β = sudut kemiringan lereng
 τ = arah kemiringan bidang diskontinuitas

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi Teknik Daerah Penelitian

Hasil pengamatan lapangan, pengukuran pada bidang diskontinuitas, tingkat pelapukan, dan uji laboratorium menunjukkan bahwa daerah penelitian dapat dibagi menjadi 5 satuan geologi teknik, yaitu Satuan Breksi Andesit 1, Satuan Breksi Andesit 2, Satuan Tufa, Satuan Batupasir Tufan dan Satuan Batupasir (Gambar 3).

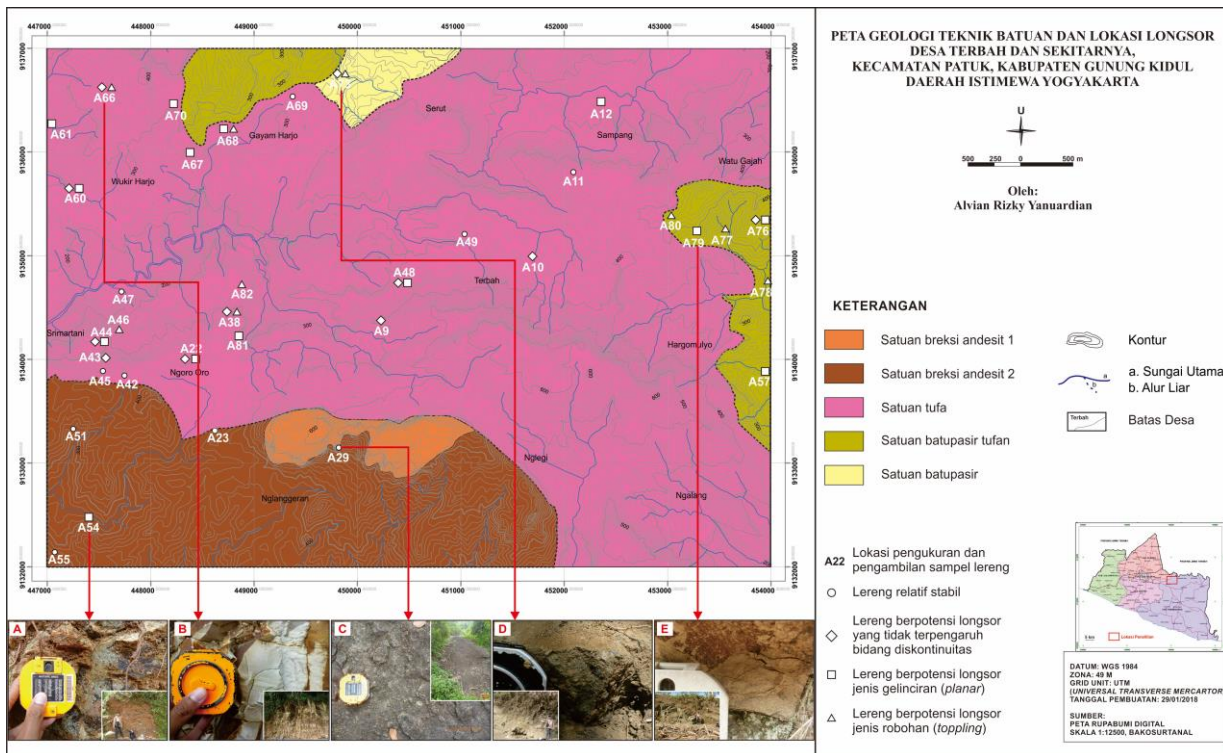
Satuan Breksi Andesit 1

Satuan ini didominasi oleh breksi piroklastik Formasi Nglanggeran (Gambar 3 bagian C). Batuan yang relatif dalam kondisi segar pada satuan ini umumnya berwarna abu-abu cerah. Lapukan dari satuan ini hanya ditemukan di beberapa tempat saja. Warna pelapukan dari

satuan ini umumnya berwarna kemerahan, tetapi dijumpai juga hasil pelapukan yang berwarna coklat tua. Bidang diskontinuitas jarang ditemukan di satuan ini. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai *RQD* yang berkisar 98% - 100%. Satuan Breksi Andesit 1 memiliki kekuatan batuan utuh 29,16 MPa. Nilai *RMR* pada satuan ini adalah 83 dan termasuk dalam kategori kualitas massa batuan sangat baik. Berat isi rata-rata satuan ini adalah 13,9 kN/m³ dan *specific gravity* 2,1.

Satuan Breksi Andesit 2

Satuan ini didominasi oleh breksi piroklastik Formasi Nglanggeran dengan tingkat pelapukan sedang-sangat kuat berwarna coklat hingga kemerahan (Gambar 3 bagian A). Keterdapatan kekar pada satuan ini hanya ditemukan di beberapa lokasi saja. Nilai *RQD* satuan ini 42% - 76% dan kekuatan batuan utuh 4,9–30,4 MPa. Nilai *RMR* pada satuan ini 48–55, termasuk dalam kategori kualitas massa batuan sedang. Berat isi rata-rata satuan ini berkisar 11,7–24,6 kN/m³ dan *specific gravity* 1,6–2,2.



Gambar 3. Peta geologi teknik daerah penelitian dan singkapan lokasi lereng : (A) litologi breksi piroklastik lapuk kuat pada Satuan Breksi Andesit 2, (B) tufa lapuk sedang pada Satuan Tufa, (C) breksi piroklastik pada Satuan Breksi Andesit 1, (D) batupasir lapuk kuat pada Satuan Batupasir, (E) batupasir tufan lapuk sedang pada Satuan Batupasir Tufan.

Satuan Tufa

Satuan ini terdiri atas litologi tufa dan lapili yang merupakan bagian dari Formasi Semilir (Gambar 3 bagian B) dengan tingkat pelapukan bervariasi yaitu segar hingga sangat lapuk. Bidang diskontinuitas berupa kekar memiliki intensitas tinggi dan sangat rapat. Nilai *RQD* pada satuan ini 11% - 72% dan kekuatan batuan utuh pada Satuan Tufa antara 1,5–30,2 MPa. Nilai *RMR* pada satuan ini cukup bervariasi, antara 36 – 80 yang termasuk dalam kategori kualitas batuan buruk–baik. Berat isi rata-rata satuan ini 12,4 – 24,6 kN/m³ dan *specific gravity* 1,4 – 1,8.

Satuan Batupasir Tufan

Satuan ini terdiri dari batupasir tufan yang merupakan bagian dari Formasi Semilir (Gambar 3 bagian E), umumnya berada dalam kondisi lapuk sedang hingga kuat. Intensitas kekar yang ada pada Satuan Batupasir Tufan tinggi dan rapat. Nilai *RQD* pada satuan ini 36 – 66%, nilai *RQD* yang kecil umumnya terdapat pada litologi batupasir berbutir halus. Kekuatan batuan utuh pada satuan ini 4,5 – 34,5 Mpa dan nilai *RMR* satuan ini 53 – 63 yang termasuk dalam kategori sedang – baik. Berat isi rata-rata satuan ini 16,6 – 24,1 kN/m³ dan *specific gravity* 1,7 – 2,0.

Satuan Batupasir

Satuan Batupasir terdiri atas batupasir yang merupakan bagian dari Formasi Kebo Butak. Tingkat pelapukan yang berkembang pada satuan ini adalah sedang – kuat (Gambar 5 bagian D). Keberadaan struktur geologi berupa kekar juga dijumpai di satuan ini dengan intensitas yang sedang dan jarak spasi antar kekar cukup rapat.

Nilai kekuatan batuan utuh pada satuan 13,6 Mpa dan nilai *RMR* 62 yang termasuk dalam kelas kualitas massa batuan baik. Berat isi rata-rata satuan ini 22,5 kN/m³ dan *specific gravity* 1,7 – 2,0.

Analisis Kinematika

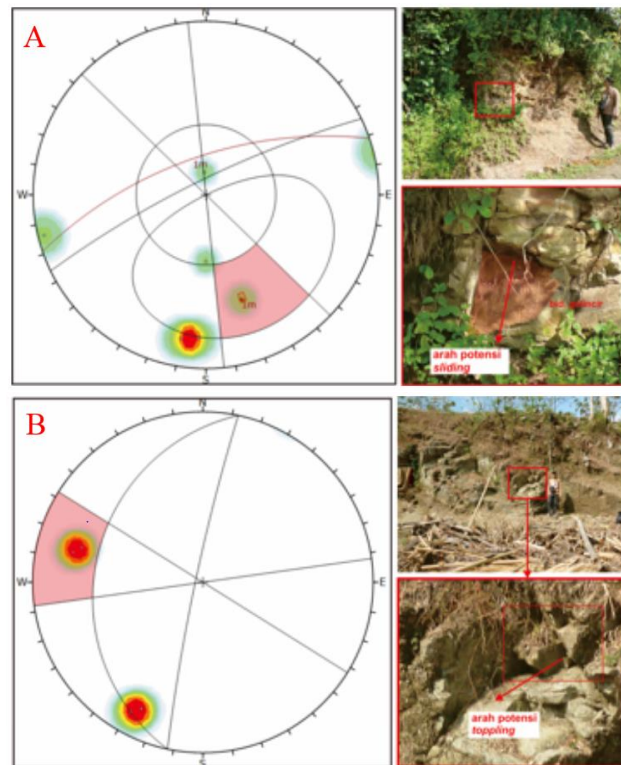
Analisis kinematika yang dilakukan pada lereng-lereng di daerah studi bertujuan untuk menentukan jenis longsoran yang berpotensi terjadi berdasarkan orientasi dependen (terpengaruh diskontinuitas). Kinematika longsoran merupakan fungsi dari arah kemiringan dan orientasi diskontinuitas, arah kemiringan dan orientasi lereng, dan sudut geser dalam yang diperoleh dari perhitungan pada klasifikasi *SSPC* (Hack, 1996). *SSPC* hanya membagi menjadi 2 jenis potensi longsoran yang terjadi, gelinciran (*sliding*) dan robohan (*toppling*). 2 jenis longsoran tersebut diidentifikasi terjadi salah satunya di Satuan Batupasir Tufan yang memiliki intensitas diskontinuitas cukup tinggi (Tabel 5, Gambar 4).

Probabilitas Kestabilan Lereng

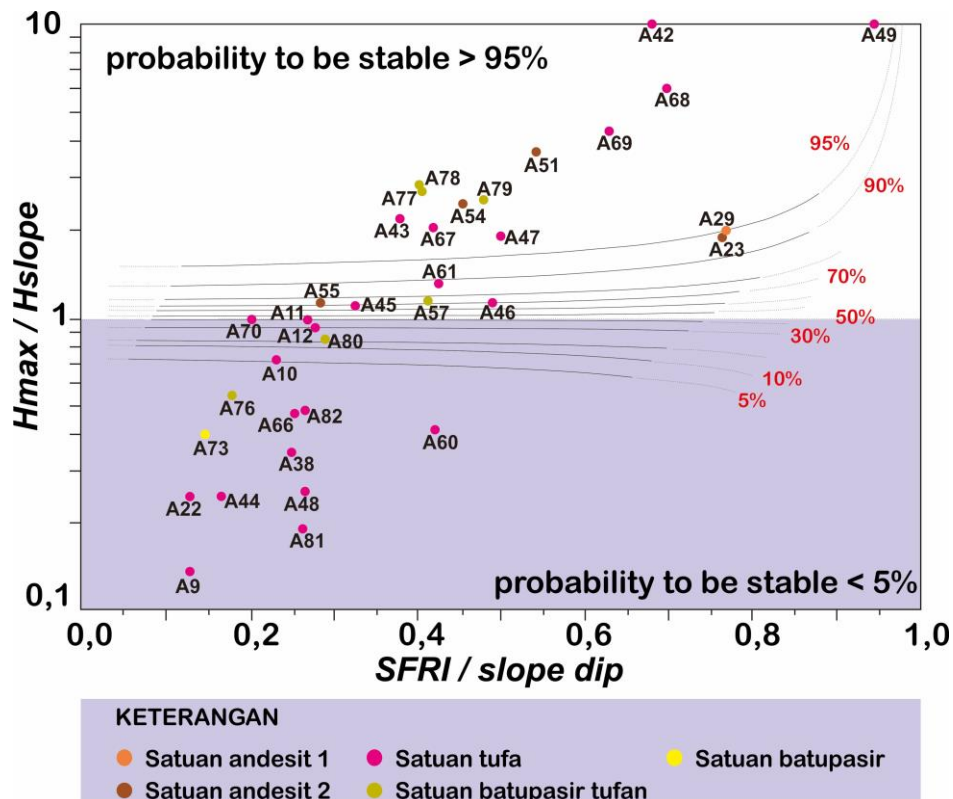
Probabilitas kestabilan lereng dibagi menjadi dua kategori, nilai probabilitas <50% menandakan lereng relatif tidak stabil, sedangkan nilai >50% menandakan lereng relatif stabil (Hack, 1996). Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng yang tidak terpengaruh bidang diskontinuitas (orientasi independen) yang dilakukan terhadap 35 sampel lereng di daerah penelitian, terdapat 14 lokasi yang relatif tidak stabil. Berdasarkan analisis orientasi dependen terpengaruh diskontinuitas, 18 lereng berpotensi terjadi longsor gelinciran (*sliding*) dan 14 lereng berpotensi terjadi longsor robohan (*toppling*) (Gambar 5 dan 6).

Tabel 5. Karakteristik kinematika longsoran gelinciran (*sliding*) dan robohan (*toppling*).

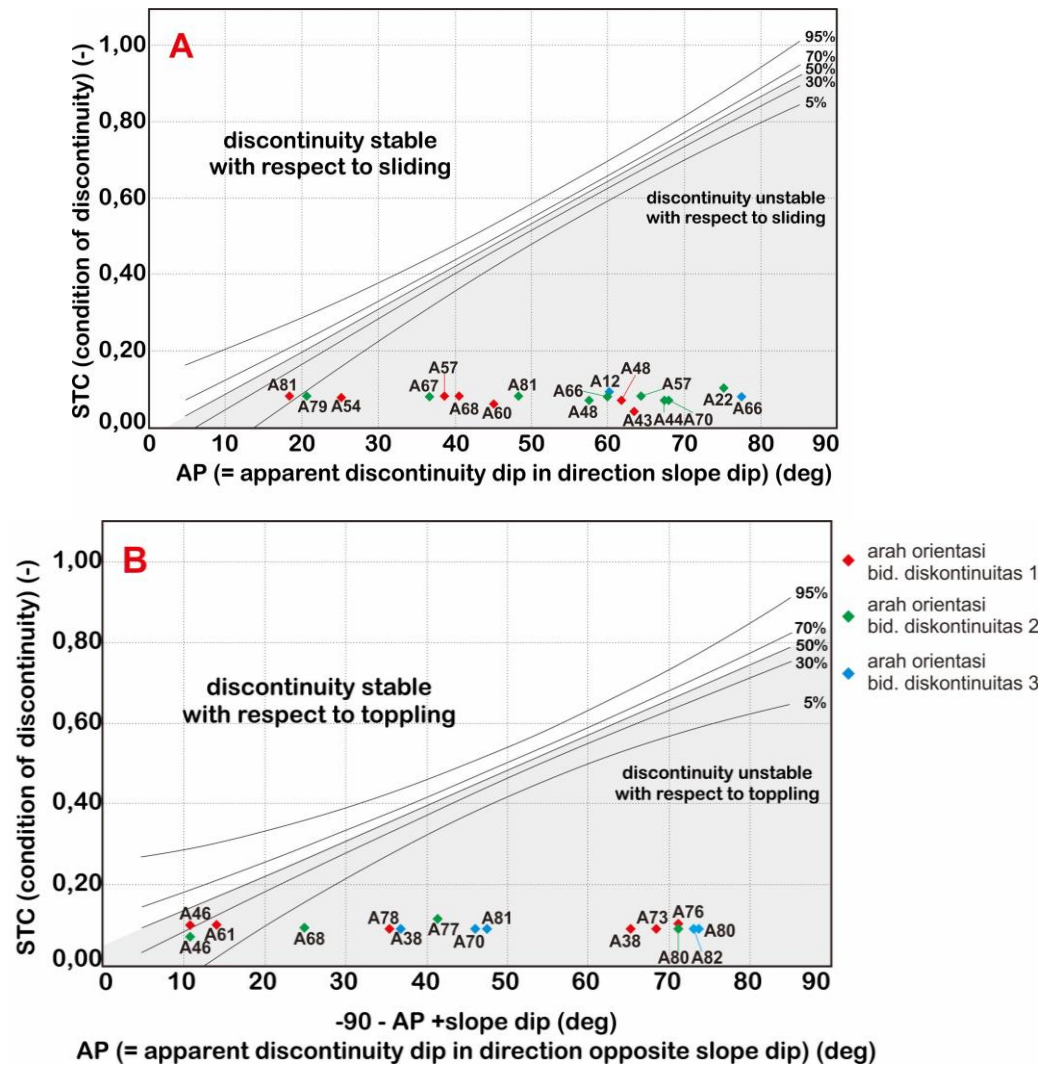
Lereng	Satuan Geo. Teknik	Analisis Kinematik	Sudut Lereng	Arah Kemiringan Lereng	Sudut Geser Dalam	Kedudukan Kekar
A80	Batupasir Tufan	<i>Toppling</i>	85°	282°	60°	N103°E/76° N26°E/79° N106°E/73° N29°E/82° N2°E/70°
A57	Batupasir Tufan	<i>Sliding</i>	80°	334°	44°	N341°E/65° N76°E/88° N176°E/15°



Gambar 4. Kinematika longsor jenis gelinciran (*sliding*) lokasi A57 (A) dan robohan (*toppling*) lokasi A80 (B).



Gambar 5. Probabilitas kestabilan lereng orientasi independen terhadap 35 lereng.



Gambar 6. Probabilitas kestabilan lereng orientasi dependen terhadap 35 lereng.

14 lokasi yang memiliki nilai probabilitas kestabilan lereng <50% menurut orientasi independen didominasi oleh Satuan Tufa. Secara umum, lokasi yang diidentifikasi dalam kondisi yang tidak stabil memiliki karakteristik nilai kohesi, sudut geser dalam, dan kemiringan lereng yang bervariasi. Ketiga parameter tersebut menjadi parameter penting dalam menentukan ketinggian lereng kritis (Persamaan 3) (Hack, 1996). Kohesi dan sudut geser dalam diperoleh dari perhitungan koefisien nilai kekuatan batuan, jarak dan kondisi bidang diskontinuitas. Semakin besar nilai ketiga parameter tersebut, maka nilai kohesi dan sudut geser dalam akan semakin besar. Hal yang paling berpengaruh terhadap nilai ketiga parameter tersebut adalah tingkat pelapukan

(Hack, 1996). Selain karakteristik litologi penyusun lereng, pembuatan lereng baru merupakan salah satu penyebab proses pelapukan menjadi lebih cepat (Mišćević dan Vlastelica, 2014). Terkelupasnya bagian permukaan lereng, menyebabkan air hujan lebih mudah untuk melapukkan bagian dalam batuan. Proses pelapukan pada bagian internal batuan dimulai dari berkurangnya ukuran butir atau mineral sehingga menyebabkan hilangnya daya ikat antar butir dan membentuk rongga (Mišćević dan Vlastelica, 2014 dan Tuğrul, 2004). Pada Satuan Tufa, proses pelapukan pada internal batuan ditandai dengan adanya perubahan warna kuning kecoklatan dan terbentuknya rongga di sekitar fragmen (Gambar 7).



Gambar 7. Proses pelapukan bagian internal batuan pada Satuan Tufa.

Parameter yang digunakan untuk menghitung nilai probabilitas kestabilan lereng orientasi dependen menitikberatkan pada pendekatan kinematika dan kekuatan geser. Pendekatan kinematika bergantung dari beberapa parameter seperti arah orientasi diskontinuitas dan lereng serta sudut kemiringan bidang diskontinuitas dan lereng. Pendekatan kinematika digunakan untuk menentukan jenis longsoran yang mungkin terjadi (Goodman, 1989). Kenyataannya, kekuatan geser juga berperan dalam kestabilan lereng khususnya antar bidang diskontinuitas dan parameter yang mempengaruhi kekuatan geser antar bidang diskontinuitas, antara lain tingkat kekasaran dan kekuatan antar bidang diskontinuitas (Singh dan Basu, 2018). Kedua parameter tersebut dirangkum Hack (1996) pada kurva *AP* dengan *STC*, dimana *AP* menggambarkan pendekatan kinematika dan *STC* merupakan fungsi dari kekuatan geser. Pendekatan kinematika yang dikembangkan oleh Hack (1996) memiliki pengaruh terhadap perhitungan probabilitas kestabilan lereng (Persamaan 10). Kecenderungan lokasi pengamatan yang tidak termasuk dalam kategori dalam Persamaan 9, probabilitasnya diakomodir pada formula yang dikembangkan oleh Hack (1996) (Persamaan 10). Parameter kekuatan geser pada orientasi ini terletak pada tabel kondisi bidang diskontinuitas (Tabel 3). Terdapat dua parameter yaitu tingkat kekasaran skala besar dan skala kecil. Tingkat kekasaran berpengaruh terhadap kekuatan geser bidang diskontinuitas, dimana hubungan antara kedua hal tersebut adalah berbanding lurus (Niktabar, et al., 2017). Kejadian longsor gelinciran umumnya terjadi pada Satuan Tufa. Satuan Tufa cenderung memiliki intensitas diskontinuitas berupa kekar yang rapat dan

berlimpah sehingga menambah potensi untuk terjadi longsoran. Kecenderungan tingkat kekasaran yang ada pada Satuan Tufa adalah *planar* (relatif lurus), dimana tingkat kekasaran tersebut memiliki sudut kemiringan yang relatif kecil dalam skala kecil, dampaknya adalah nilai kekuatan geser antar bidang diskontinuitas menjadi kecil.

Longsoran robohan umumnya terjadi pada Satuan Batupasir Tufan. Karakteristik satuan ini cenderung sama dengan karakteristik Satuan Tufa yang relatif memiliki tingkat kekasaran yang relatif *planar*. Perbedaan yang menonjol adalah perbandingan antara orientasi diskontinuitas dengan lereng. Arah kemiringan bidang diskontinuitas yang relatif menghadap muka lereng dan dengan adanya kekar yang memotong relatif tegak lurus dengan bidang diskontinuitas, menjadikan Satuan Batupasir Tufan didominasi longsoran jenis robohan (Gambar 4B).

KESIMPULAN

Daerah penelitian terdiri dari lima satuan geologi teknik yang memiliki karakteristik umum berupa tingkat pelapukan lanjut dengan intensitas bidang diskontinuitas yang rapat. Dua parameter tersebut sangat berperan dalam menentukan tingkat kestabilan lereng berdasarkan *Slope Stability Probability Classification* (Hack, 1996). Terdapat 14 lokasi yang diidentifikasi dalam kondisi tidak stabil atau memiliki probabilitas kestabilan <50%, 21 lainnya dalam kondisi stabil berdasarkan pendekatan probabilitas kestabilan lereng orientasi independen. 18 lokasi diidentifikasi berpotensi terjadi longsoran jenis gelinciran dan 14 lokasi berpotensi terjadi longsoran jenis

robohan berdasarkan orientasi independen. Berdasarkan banyaknya potensi longsor yang terjadi di daerah penelitian, perlu adanya penanganan khusus dalam upaya mitigasi, apabila akan ada pembangunan fisik dan perubahan tata ruang di daerah ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Geologi UGM Yogyakarta atas bantuan dana penelitian yang telah diberikan kepada penulis. Kemudian kepada Ir. Eko Soebowo dari P2Geoteknologi LIPI yang telah memberi masukan dalam penulisan karya tulis ilmiah ini dan seluruh rekan-rekan yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas diskusi selama kegiatan penelitian berlangsung sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 1985. D5731-08: Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications. *Rock Mechanics*, 9 pp. <https://doi.org/10.1520/D5731-08.2>
- ASTM, 2015. D6473-15 Specific Gravity And Absorption of Rock For Erosion. *Astm*, 99(Reapproved), 7 pp. <https://doi.org/10.1520/D6473-10.2>
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Illey & Sons, Inc., Canada, 251 pp.
- Cabria, A., 2015, Effects of Weathering in The Rock and Rock Mass Properties and The Influence of Salts in The Coastal Roadcuts in Saint Vincent and Dominica. Thesis, University of Twente, Enschede, Netherlands, 93 pp.
- Canal, A., and Akin, M., 2016. Assessment of rock slope stability by probabilistic-based Slope Stability Probability Classification method along highway cut slopes in Adilcevaz-Bitlis (Turkey). *Journal of Mountain Science*, 13(11), 1893–1909. <https://doi.org/10.1007/s11629-016-3954-y>
- Goodman, R.E., 1989, Introduction to Rock Mechanics, John Wiley & Sons, Canada, 562 pp.
- Hack, H.R.G.K., 1996, Slope Stability Probability, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC), Netherland, 258 pp.
- Hack, H.R.G.K., 1998. Slope stability probability classification, SSPC. 2nd edition. publ. ITC, Enschede, The Netherlands, 258 pp.
- Hack, H.R.G.K., 2002. An evaluation of slope stability classification. Keynote Lecture & article. Proc. ISRM EUROCK 2002, Portugal, Madeira, Funchal, 25-28 November 2002. Editors: C. Dinis da Gama & L. Ribeira e Sousa.
- Hack, H.R.G.K., Price, D.G., 1995. Determination of discontinuity friction by rock mass classification. Proc 8th Congr on Rock Mechanics, ISRM, Tokyo, Japan. Balkema, Rotterdam, 23-27
- Hack, H.R.G.K., Price, D., Rengers, N., 2003. A new approach to rock slope stability - a probability classification (SSPC). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. Springer Verlag. Vol. 62: article: DOI 10.1007/s10064-002-0171 -4. 185-185.
- Hoek, E., and Bray, J., 1989. Rock: Design, Excavation, Stabilization. Technology, Research, Development, and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center, Virginia, 547 pp.
- Karnawati, D., 2007. Mekanisme Gerakan Massa Batuan Akibat Gempa Bumi: Tinjauan dan Analisis Geologi Teknik, *Dinamika Teknik Sipil*, 7 (2), 179 – 190.
- Lindsay, P., Campbell, R.N., Fergusson, D.A., Gillard, G.R., Moore, T.A.. 2001. Slope stability probability classification, Waikato Coal Measures, New Zealand. *International Journal of Coal Geology*, 45(2–3), 127–145. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(00\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(00)00028-8).
- Miščević, P., and Vlastelica, G., 2014. Impact of weathering on slope stability in soft rock mass. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(3), 240–250.

- <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.03.006>
- Niktabar, S.M.M., Rao, K.S., Kumar, A., 2017. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering Effect of rock joint roughness on its cyclic shear behavior. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(6), 1071–1084.
<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.09.001>
- Palmstrom, A., 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(4), 362–377.
<https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.01.005>
- Pongpanya, P., 2011. Evaluation of Rock Mass Quality Based on Rock Mass Rating and Geological Strength Index Method For Tunnel Construction in Piyungan – Patuk Area, Yogyakarta Special Province, Indonesia, Thesis, Yogyakarta, Gadjah Mada University.
- PVMBG, 2014. Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Kabupaten Gunung Kidul, D.I Yogyakarta,
<http://vsi.esdm.go.id/gallery/picture.php?/150/category/16>. diunduh tanggal 15 Mei 2018
- Singh, H.K., dan Basu, A., 2018. Evaluation of existing criteria in estimating shear strength of natural rock discontinuities. *Engineering Geology*, 232(December 2017), 171–181.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.023>
- Southammavong, T., 2011. Landslide Susceptibility Mapping at Sengir Area, Prambanan District, Yogyakarta Special Province, Indonesia, Thesis, Yogyakarta, Gadjah Mada University.
- Suroño, Toha, B., Sudarno, L., 1992. Peta Geologi Lembar Surakarta - Giritontro, Jawa (Geological Map of The Surakarta – Giritontro Quadrangle, Jawa), Lembar (Quadrangle): Surakarta 1408-3 & Giritontro 1407-6, Skala (Scale) 1 : 100.000 Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Tuğrul, A., 2004. The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey. *Engineering Geology*, 75(3–4), 215–227.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.05.008>
- Wyllie D.C., and Mah C.W., 1974. *Rock Slope Engineering*, Spons Press, New York, 431 pp.