

KARAKTERISTIK GEOTEKNIK TUFAN ANDESIT TERALTERASI HIDROTHERMAL PEMILICU LUNCURAN BAHAN ROMBAKAN PADA LERENG PEGUNUNGAN SELATAN PULAU LOMBOK

Dwi Winarti^{1*}, Dwikorita Karnawati², Hary Christady Hardiyatmo³, Sriyono⁴

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram

^{1,2,4}Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

³Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. K.H. Ahmad Dahlan No. 1 Pagesangan, Mataram, Nusa Tenggara Barat

Jl. Grafika 2 Bulaksumur 55281, Yogyakarta

*Email: winarti.dwiyk@gmail.com

INTISARI

Lebih dari 12 kejadian gerakan tanah pada bagian barat lereng pegunungan Selatan Pulau Lombok terekam selama periode 2013 hingga Januari 2014. Gerakan tanah berupa luncuran bahan rombakan terjadi di daerah Rambut Petung, Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat. Luncuran bahan rombakan tersebut terjadi pada lereng dengan kemiringan 40° yang tersusun oleh tufa andesit teralterasi hidrotermal. Studi geoteknik terhadap tufa andesit dilakukan untuk mengetahui penyebab gerakan tanah, sifat keteknikan material penyusun lereng, dan kondisi stabilitas lereng di daerah Rambut Petung. Untuk mencapai tujuan tersebut, metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur, penelitian lapangan, analisis laboratorium, dan analisis stabilitas lereng. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luncuran bahan rombakan di daerah penelitian terjadi karena adanya faktor kontrol berupa perbedaan kekompakan material penyusun lereng dan kecuraman lereng, serta pemicu gerakan berupa penurunan kekuatan tufa andesit akibat alterasi hidrotermal. Proses alterasi hidrotermal menyebabkan peningkatan nilai porositas dan penurunan kuat geser tufa andesit. Hasil analisis stabilitas lereng menunjukkan bahwa lereng alami dengan kemiringan 40° dalam kondisi tidak stabil dengan nilai $FK < 1,3$. Upaya perbaikan geometri lereng dengan kemiringan 18° (3H:1V) menghasilkan nilai $FK > 1,5$ sehingga lereng dalam kondisi stabil baik untuk pembebanan sementara maupun pembebanan tetap.

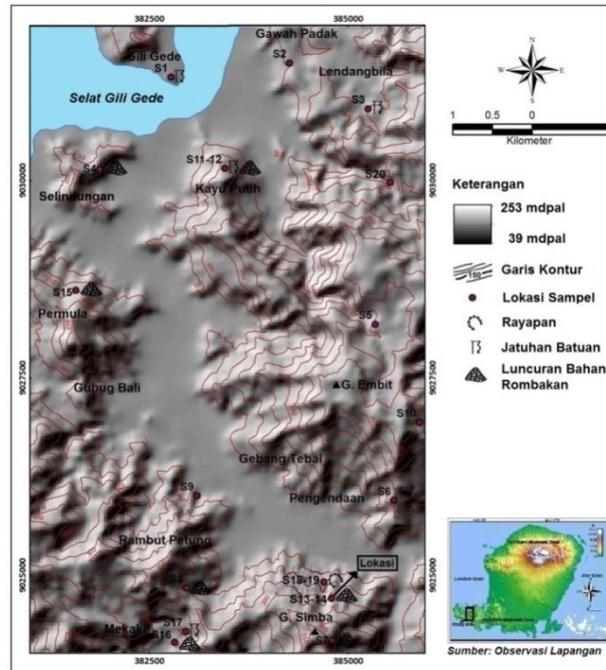
Kata kunci: alterasi hidrotermal, faktor keamanan, kuat geser, luncuran bahan rombakan, Pulau Lombok

1. PENDAHULUAN

Gerakan massa tanah/batuan adalah gerakan menurun atau keluar lereng oleh material penyusun lereng berupa massa tanah, batuan, atau bahan rombakan akibat terganggunya kestabilan lereng (Karnawati, 2005). Lereng merupakan permukaan tanah yang miring (Hardiyatmo, 2006). Gerakan tanah dapat terjadi karena adanya faktor pengontrol dan pemicu gerakan (Karnawati, 2005). Faktor pengontrol mengkondisikan lereng menjadi rentan atau siap bergerak, sedangkan faktor pemicu mengubah kondisi lereng rentan atau siap bergerak menjadi kritis dan akhirnya bergerak. Wicczorek (1996) mengemukakan bahwa faktor pemicu berasal dari luar lereng seperti intensitas hujan, gempa, dan vulkanisme. Sementara itu, Saveny (2002) dalam Karnawati (2007) menegaskan bahwa faktor pemicu gerakan tanah dapat berasal dari dalam lereng seperti pelemahan batuan akibat pelapukan. Secara umum, gerakan tanah dikontrol oleh kondisi morfologi, geologi, material penyusun lereng, hidrologi lereng, dan penggunaan lahan, serta dipicu oleh infiltrasi air, seismik, dan aktifitas manusia (Abramson dkk., 1996, Karnawati, 2005, Hardiyatmo, 2006).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa gerakan tanah di Indonesia banyak terjadi pada daerah dengan intensitas hujan tinggi dan tersusun oleh lapisan tanah hasil pelapukan. Gerakan tanah juga sering terjadi pada daerah mineralisasi dan alterasi hidrotermal termasuk pada lereng Pegunungan Selatan Pulau Lombok. Inventarisasi gerakan tanah di daerah Pelangan merekam 12 kejadian gerakan tanah selama periode 2013 hingga Januari 2014 (Winarti dkk., 2016a). Salah satu dari gerakan tanah tersebut terjadi di daerah Rambut Petung dengan tipe luncuran bahan rombakan (Gambar 1). Material penyusun berupa tufa andesit yang telah mengalami alterasi hidrotermal. Berdasarkan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*), alterasi hidrotermal merupakan parameter paling penting dalam mengakibatkan gerakan tanah di daerah Pelangan

disamping kemiringan lereng (Winarti dkk., 2016b). Proses alterasi hidrotermal membentuk himpunan mineral lempung (Evans, 1993). Kehadiran mineral lempung menyebabkan kuat geser batuan menurun dan memicu terjadinya pergerakan tanah. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian karakteristik geoteknik tufa andesit dilakukan untuk mengetahui penyebab pergerakan tanah, sifat keteknikan material penyusun lereng, dan kondisi kestabilan lereng di daerah Rambut Petung.



Gambar 1. Sebaran titik gerakan tanah (dikutip dari Winarti dkk., 2016)

2. METODOLOGI

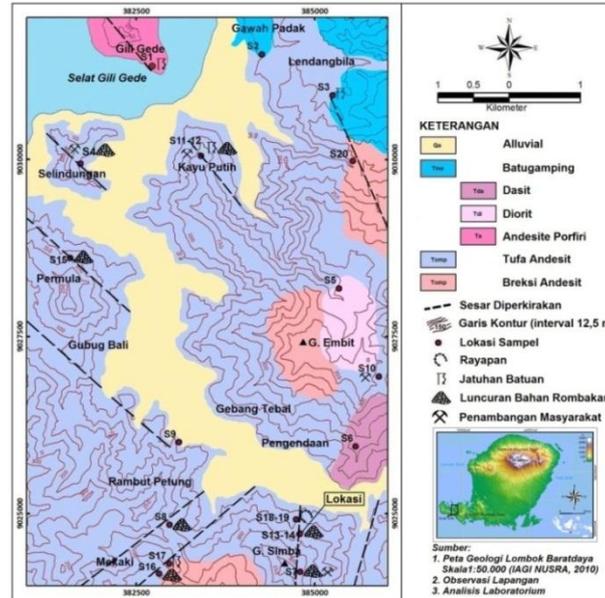
Metode penelitian secara umum dibagi menjadi empat tahap, yaitu studi literatur, pengamatan lapangan, analisis laboratorium, dan analisis stabilitas lereng. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan penelitian-penelitian terdahulu dan data-data yang berkaitan dengan penelitian guna mengetahui kondisi geologi, alterasi hidrotermal, dan karakteristik gerakan tanah. Penelitian lapangan meliputi pengamatan morfologi, geologi, identifikasi gerakan tanah, dan pengukuran geometri gerakan tanah. Pada penelitian lapangan juga dilakukan pengambilan sampel batuan dan tanah residual untuk dianalisis lebih lanjut di laboratorium, meliputi analisis XRD (*X-Ray Diffraction*) dan pengujian sifat keteknikan. Analisis XRD menggunakan metode Bulk-Powder, Air Dried, dan Ethylen Glycol untuk mengetahui jenis mineral lempung. Pengujian sifat keteknikan tanah residual meliputi kadar air, berat volume, gravitasi khusus, distribusi ukuran butir (saringan dan hidrometer), batas-batas Atterberg (batas plastis, batas cair, dan batas susut), dan kuat geser. Hasil pengujian distribusi ukuran butir digunakan untuk klasifikasi tanah residual berdasarkan USCS (*Unified Soil Classification System*). Pengujian batas-batas Atterberg digunakan untuk menentukan indeks plastisitas dan klasifikasi tanah residual. Pengujian sifat keteknikan batuan meliputi berat volume, gravitasi khusus, kadar air, derajat kejenuhan, porositas, angka pori, dan kuat geser. Pengujian kuat geser tanah residual dan batuan dilakukan untuk memperoleh nilai kohesi dan sudut gesek dalam. Hasil pengujian berat volume dan kuat geser digunakan untuk analisis stabilitas lereng dengan program SLIDE 6.0.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Geologi

Fisiografi Pulau Lombok dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu Zona Pegunungan Utara, Zona Pegunungan Selatan, dan dataran pada bagian tengah pulau yang melampar dari barat hingga timur. Daerah penelitian berada pada Zona Pegunungan Selatan. Zona ini tersusun oleh batuan vulkanik dan batuan sedimen Tersier Formasi Pengulung (Tomp) pada Kala Oligosen Akhir –

Miosen Awal (Suratno, 1994). Formasi Pengulung terdiri dari breksi, lava, dan tufa dengan lensa batugamping yang mengandung mineral sulfida dan urat kuarsa. Formasi tersebut menjemari dengan Formasi Kawangan (Tomk) yang tersusun oleh perselingan batupasir kuarsa, batulempung, dan breksi. Kedua formasi tersebut diterobos oleh dasit dan basal yang membentuk alterasi hidrotermal, mineralisasi sulfida, dan urat kuarsa. Pada Kala Miosen Awal secara tidak selaras di atas kedua formasi tersebut terendapkan batugamping kalkarenit terkrystalisasi Formasi Ekas (Tme). Endapan termuda yang menutupi Zona Pegunungan Selatan berupa sedimentasi Holosen (Qa) yang terdiri dari alluvial dan endapan koral pada daerah pantai dan dataran. Lokasi luncuran bahan rombakan di daerah Rambut Petung tersusun oleh tufa andesit dari Formasi Pengulung (Winarti dkk., 2016a), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta geologi lokasi penelitian (Winarti dkk., 2016a)

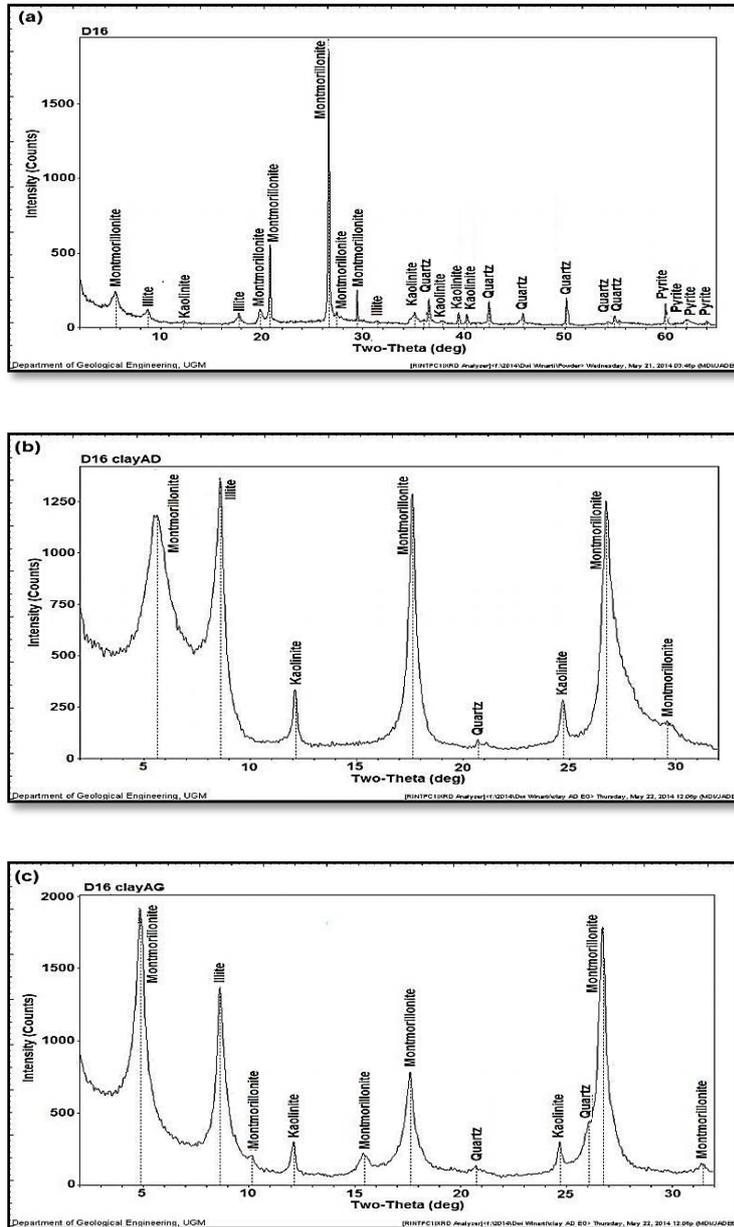
3.2. Kondisi Gerakan Tanah dan Faktor Penyebab

Luncuran bahan rombakan di daerah Rambut Petung terletak pada koordinat UTM: 0384789 dan 9024714 atau pada lereng bagian utara Gunung Simba. Luas area massa tanah yang bergerak mencapai 1200 m² dan mengakibatkan kerusakan lahan perkebunan. Gerakan tanah ini terjadi pada kemiringan lereng 40° dengan tinggi 9 m. Lereng tersusun oleh tufa andesit yang telah mengalami alterasi hidrotermal (Gambar 3). Bidang luncur merupakan bidang kontak antara zona batuan yang telah mengalami alterasi hidrotermal dengan zona tanah residual hasil alterasi hidrotermal. Perbedaan kekompakan material penyusun lereng dan kecuraman lereng merupakan faktor kontrol penting terhadap kejadian luncuran bahan rombakan di lokasi penelitian.



Gambar 3. Singkapan tufa andesit teralterasi hidrotermal

Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa tufa andesit mengandung mineral montmorilonit, illit, kaolinit, kuarsa, dan pirit (Gambar 4). Mengacu pada Evans (1993) kehadiran montmorilonit dan kaolinit mencirikan bahwa tufa andesit mengalami alterasi hidrotermal tipe argilik intermediet. Pusch dan Yong (2006) menjelaskan bahwa mineral lempung terutama montmorilonit mempunyai sifat mudah mengembang pada kondisi basah. Proses pengembangan tersebut melemahkan ikatan antar partikel lempung dalam tufa andesit. Akibatnya kuat geser tufa andesit menurun hingga terjadi luncuran bahan rombakan. Penurunan kekuatan tufa andesit akibat alterasi hidrotermal menjadi pemicu kejadian luncuran bahan rombakan di lokasi penelitian.



Gambar 4. Grafik hasil analisis XRF tufa andesit, (a) metode bulk-powder, (b) metode air-Dried, (c) metode ethylen glycol

3.3. Sifat Keteknikan Tufa Andesit

Hasil penelitian lapangan menunjukkan bahwa lereng tersusun oleh tufa andesit yang telah mengalami alterasi hidrotermal tipe argilik intermediet dan membentuk tanah residual. Dari hasil pengujian laboratorium sampel tufa andesit diperoleh nilai porositas sebesar 38,80%, kohesi

sebesar 185,35 kN/m², dan sudut gesek dalam sebesar 23,63°. Sifat keteknikan tufa andesit dari hasil pengujian laboratorium ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian laboratorium sampel tufa andesit

Sifat Keteknikan	Satuan	Tufa Andesit
Bobot isi basah	kN/m ³	17,66
Bobot isi kering	kN/m ³	15,40
Bobot isi jenuh	kN/m ³	19,23
Apperent specific gravity		1,57
True specific gravity		2,56
Kadar air asli	%	14,77
Kadar air jenuh	%	24,76
Derajat kejenuhan	%	59,63
Porositas	%	38,80
Angka pori		0,63
Kohesi	kN/m ²	185,35
Sudut gesek dalam	°	23,63

Sementara itu, dari hasil pengujian laboratorium sampel tanah residual dapat diketahui bahwa tanah residual diklasifikasikan dalam lanau anorganik (MH). Tanah residual mempunyai sifat plastisitas tinggi dan derajat ekspansi tinggi dengan nilai indeks plastisitas sebesar 23,94% - 25,51% dan potensi pengembangan sebesar 5,01% - 5,84%. Sifat tersebut didukung oleh nilai aktivitas mineral lempung montmorilonit sebesar 2,40 - 2,61. Hasil pengujian juga menunjukkan nilai porositas sebesar 48,35% - 48,38%, %, kohesi sebesar 3,92kN/m² - 4,90 kN/m², dan sudut gesek dalam sebesar 21° - 23°. Sifat keteknikan tanah residual dari hasil pengujian laboratorium ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian laboratorium sampel tanah residual

Sifat Keteknikan	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4
Kadar air	%	29,51	29,53	29,55	29,55
Berat volume basah	kN/m ³	17,56	17,56	17,56	17,56
Berat volume kering	kN/m ³	13,54	13,54	13,54	13,54
Berat volume jenuh	kN/m ³	19,03	19,03	19,03	19,03
Gravitasi khusus		2,68	2,68	2,68	2,68
Angka pori		0,94	0,94	0,94	0,94
Porositas	%	48,35	48,36	48,37	48,38
Derajat kejenuhan	%	84,51	84,51	84,52	84,56
Distribusi ukuran butir					
- Kerikil	%	4,28	9,34	9,85	7,30
- Pasir	%	35,70	39,62	33,03	34,48
- Lanau	%	49,64	40,43	47,94	48,87
- Lempung	%	10,37	10,61	9,18	9,35
Batas-batas Atterberg					
- Batas cair	%	55,87	56,12	54,70	54,81
- Batas plastis	%	30,63	30,61	30,75	30,73
- Indeks plastisitas	%	25,24	25,51	23,94	24,08
- Batas susut	%	22,46	22,41	22,70	22,67
Klasifikasi tanah (USCS)		MH	MH	MH	MH
Potensi pengembangan	%	5,70	5,84	5,01	5,08
Aktivitas lempung		2,43	2,40	2,61	2,58
Kuat geser					
- Kohesi	kN/m ²	4,90	4,90	4,90	3,92
- Sudut gesek dalam	°	23	22	22	21

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium di atas dapat diketahui bahwa proses alterasi hidrotermal pada tufa andesit membentuk tanah residual dan menyebabkan peningkatan nilai porositas dan penurunan kuat geser.

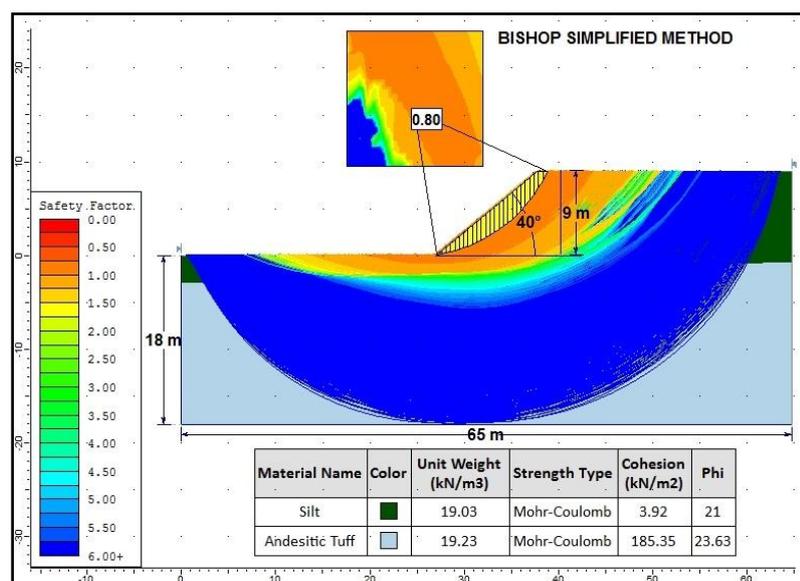
3.4. Analisis Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng dianalisis dengan menggunakan Program Slide 6.0 berdasarkan konsep kesetimbangan batas dengan Metode Bishop Disederhanakan. Kekuatan material penyusun lereng dimodelkan dengan Kriteria Mohr-Coulomb. Kriteria kestabilan lereng yang digunakan adalah lereng dinyatakan stabil untuk pembebanan tetap bila $FK > 1,5$, dan stabil untuk pembebanan sementara bila $FK > 1,3$. Kriteria tersebut mengacu pada nilai faktor keamanan (FK) dalam Buku II tentang Penanganan Lereng Jalan, No: 02-2/BM/2005, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga. Analisis stabilitas lereng dilakukan pada lereng alami dengan kemiringan lereng 40° dan tinggi lereng 9 m, serta kondisi lereng asli, jenuh, dan kering. Apabila hasil analisis menunjukkan lereng dalam kondisi tidak stabil, maka dilakukan upaya perbaikan lereng dengan membuat desain geometri lereng baru dan menggunakan parameter material penyusun lereng yang sudah ada. Desain geometri lereng dilakukan dengan membuat variasi kemiringan lereng yaitu 27° (2H:1V) dan 18° (3H:1V) hingga dihasilkan lereng yang stabil. Parameter geoteknik material penyusun lereng untuk analisis stabilitas lereng ditunjukkan pada Tabel 3.

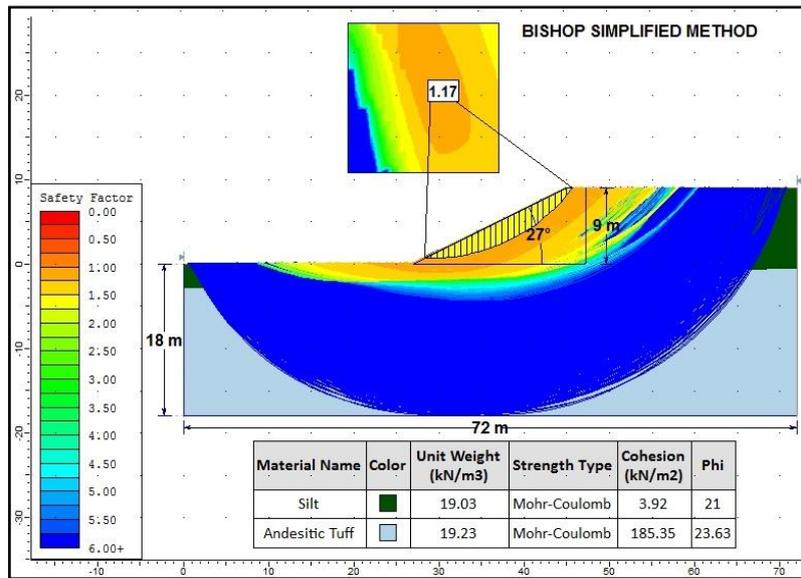
Tabel 3. Parameter sifat geoteknik untuk analisis stabilitas lereng

Material Penyusun	ϕ ($^\circ$)	c (kN/m^2)	γ_b (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)
Lanau	21	3,92	17,56	19,03	13,54
Tufa Andesit	23,63	185,35	17,66	19,23	15,40

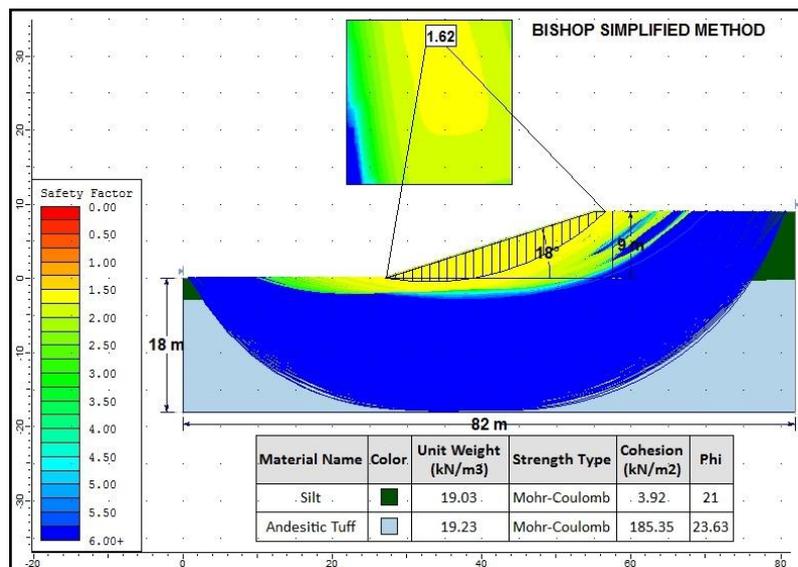
Hasil analisis stabilitas lereng pada lereng alami dengan kemiringan 40° dan tinggi 9 m, serta kondisi lereng asli, jenuh dan kering menunjukkan nilai faktor keamanan masing-masing 0,82, 0,80, dan 0,89. Berdasarkan rekomendasi Departemen Pekerjaan Umum (2005), nilai tersebut menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi tidak stabil. Untuk itu, perlu dilakukan perbaikan geometri lereng dengan memperkecil kemiringan lereng. Hasil analisis stabilitas lereng dengan kemiringan lereng 27° pada kondisi lereng asli, jenuh, dan kering diperoleh nilai faktor keamanan masing-masing 1,19, 1,17, dan 1,28. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi lereng belum stabil. Sementara itu, hasil analisis stabilitas lereng dengan kemiringan lereng 18° pada kondisi lereng asli, jenuh, dan kering diperoleh nilai faktor keamanan masing-masing 1,64, 1,62, dan 1,73. Nilai tersebut menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi stabil baik untuk pembebanan sementara maupun pembebanan tetap. Gambar 5 - 7 menunjukkan hasil analisis stabilitas lereng dengan variasi kemiringan lereng 40° , 27° , dan 18° dimana lereng berada dalam kondisi jenuh.



Gambar 5. Analisis stabilitas lereng dengan kemiringan lereng 40°



Gambar 6. Analisis stabilitas lereng dengan kemiringan lereng 27°



Gambar 7. Analisis stabilitas lereng dengan kemiringan lereng 18°

Nilai faktor keamanan hasil analisis stabilitas lereng dengan tinggi lereng 9 m dan variasi kemiringan lereng 40°, 27°, dan 18° dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai faktor keamanan hasil analisis stabilitas lereng

Kemiringan Lereng (°)	Tinggi Lereng (m)	Kondisi Lereng	Faktor Keamanan
40	9	Asli	0,82
		Jenuh	0,80
		Kering	0,89
27	9	Asli	1,19
		Jenuh	1,17
		Kering	1,28
18	9	Asli	1,64
		Jenuh	1,62
		Kering	1,73

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan hasil analisis yang telah dilakukan pada lokasi luncuran bahan rombakan di daerah Rambut Petung dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Luncuran bahan rombakan pada lereng Pegunungan Selatan Pulau Lombok khususnya di daerah Rambut Petung berada pada area alterasi hidrotermal.
2. Luncuran bahan rombakan di daerah Rambut Petung terjadi karena adanya faktor kontrol berupa perbedaan kekompakan material penyusun lereng dan kecuraman lereng, serta pemicu gerakan berupa penurunan kekuatan tufa andesit akibat alterasi hidrotermal.
3. Proses alterasi hidrotermal menyebabkan peningkatan nilai porositas dan penurunan kuat geser tufa andesit di lokasi penelitian.
4. Hasil analisis stabilitas lereng menunjukkan bahwa lereng alami dengan kemiringan lereng 40° pada lokasi penelitian berada dalam kondisi tidak stabil dengan nilai $FK < 1,3$.
5. Perbaikan geometri lereng dengan kemiringan 18° menghasilkan nilai $FK > 1,5$, sehingga lereng dalam kondisi stabil baik untuk pembebanan sementara maupun pembebanan tetap.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Mataram yang telah membantu mendanai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Pemerintah Kabupaten Lombok Barat yang telah memberikan ijin untuk melakukan penelitian di daerah Pelangan dan sekitarnya. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Bapak Ir. Ismail HM, M.T. atas segala masukan dan diskusi di lapangan, Bapak Yusuf Palimbong, ST, Wawan Apriansyah, Amdt., Gusti Halim Perdana, Amdt., dan Mouzinho Exposto Fatima, Amdt. yang telah membantu selama proses pekerjaan lapangan, serta Bapak Sobri, SPddan keluargayang telah menyediakan fasilitas tempat tinggal selama pekerjaan lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S., and Boyce, G.M., 1996, *Slope Stability and Stabilization Methods*, John Willey & Sons, New York.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005, *Penanganan Lereng Jalan, Buku II*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Evans, A.M., 1993, *Ore Geology and Industrial Minerals An Introduction*, Ed.3., Blackwell Scientific Publications, London.
- Hardiyatmo, H.C., 2006, *Penanganan Tanah Longsor & Erosi*, Ed.1., Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Karnawati, D., 2005, *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*, Ed.1, Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Mc. Saveny, M.J., 2002, Recent Rockfalls and Rock Avalanches in Mount Cook National Park, New Zealand dalam D. Karnawati, Mekanisme Gerakan Massa Batuan Akibat Gempabumi; Tinjauan dan Analisis Geoteknik, *dinamika Teknik Sipil*, vol. 7(2), Juli 2007.
- Pusch, R., and Yong, R.N., 2006, *Microstructure of Smectite Clays and Engineering Performance*, Taylor and Francis, London.
- Surato, N., 1994, *Peta Geologi dan Potensi Bahan Galian Nusa Tenggara Barat*, Skala 1:250.000, Kantor Wilayah Departemen Pertambangan dan Energi, Propinsi Nusa Tenggara Barat.
- Wieczorek, G.F., 1996, Landslide Triggering Mechanisms; Landslides Investigation and Mitigation, *Special Report 247, Transportation Research Board*, National Research Council, Editor: A.K. Turner and R.L. Schuster, National Academy Press, Washington D.C., 76-90.
- Winarti, D., Karnawati, D., Hardiyatmo, H.C., and Srijono, 2016a, Mineralogical Characteristics of Landslide-Induced Hydrothermal Altered Rocks at Southern Mountain Slope of Lombok Island, Indonesia, *Proceeding of The 6th Annual Basic Science International Conference*, Malang, March 2-3.
- Winarti, D., Karnawati, D., Hardiyatmo, H.C., and Srijono, 2016b, GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping by Using Analytical Hierarchy Process in The Hydrothermally Altered Area at Southern Mountain of Lombok Island, Indonesia, *Journal Technology of Civil, Electrical, Mechanical, Geology, Mining, and Urban Design*, vol. 1, hal. 84-91.