

KAJIAN GERAKAN TANAH MELALUI INTEGRASI MULTIDISIPLIN (Studi Kasus: Longsor Amahusu Kecamatan Nusaniwe Ambon)

Matheus Souisa

e-mail: thos.phys@gmail.com

Jurusan Fisika Fakultas MIPA Unpatti Ambon

ABSTRAK

Telah digunakan banyak metode untuk mengkaji permasalahan gerakan tanah dari sudut pandangan pendekatan satu-disiplin, interdisiplin maupun multidisiplin. Beberapa metode sedang dikembangkan untuk dipadukan dalam investigasi gerakan tanah (longsor) selama dekade terakhir ini, fokus studi diarahkan menggunakan multidisiplin dengan pendekatan geolistrik, geoteknik dan geokimia untuk menentukan potensi gerakan tanah (longsor) Amahusu sehingga dapat memberikan mitigasi gerakan tanah. Hasil penelitian memberikan bidang gelincir longsor Amahusu dicirikan oleh anomali resistivitas dari struktur lapisan bawah permukaan yang rendah ($< 50.0 \Omega.m$) hingga sedang ($50.0 - 200.0 \Omega.m$), dan anomali ini mengindikasikan citra resistivitas jenis batuan lempung dan lempung pasir, sedangkan anomali geoteknik teridentifikasi adanya tanah lempung lanau dan lanau pasir, dan berdasarkan nilai faktor keamanan lereng ($F_s < 1.25$) dalam keadaan kritis. Sedangkan anomali geokimia pada proses pelapukan menyebabkan terjadinya penghalusan mineral sehingga persentase fraksi ukuran butir lempung menjadi lebih besar jika dibandingkan di bagian atas dan bawahnya maka akumulasi fraksi lempung yang ada di bagian bawah menjadi bidang gelincir yang memicu longsor. Berdasarkan perpaduan ini, anomali-anomali saling berkorelasi dan tersebar di sekitar lokasi longsor. Oleh karena itu, masih terdapat longsor susulan jika dipicu oleh hujan di atas normal dan masih tetap berada di sekitar lokasi longsor, sedikit bergerak ke arah timur laut dengan jangkauan yang sedikit meluas.

Kata Kunci: Gerakan tanah, multidisiplin, geofisika, geoteknik, geokimia

PENDAHULUAN

Bencana gerakan tanah (longsor) sering terjadi di wilayah perbukitan Amahusu Kecamatan Nusaniwe Ambon. Hal ini disebabkan intensitas bahaya longsor dan banjir meningkat dari tahun ke tahun lebih dari 60% (Souisa, *et al.*, 2014). Longsor Amahusu yang banyak mendatangkan kerugian harta benda, kerusakan lingkungan dan korban jiwa. Faktor penyebab terjadinya longsor di daerah kajian adalah curah hujan dengan intensitas di atas normal yang akan meningkatkan beban pada lereng, alih fungsi lahan membuat intrusi air menyuburkan lereng, kemiringan lereng yang terjal membuat lereng mudah bergerak, tebing yang terjal yang kurang kuat menahan erosi air, sifat tanah pelapukan yang sarang dan mudah luruh jika terkena air, adanya kontak antara lapisan tanah yang poros dan sarang air dengan lapisan yang kedap air yang berpotensi menjadi bidang gelincir.

Telah banyak metode dalam mengkaji permasalahan gerakan tanah tipe longsor dari pandangan berbagai pendekatan satu-disiplin, interdisiplin maupun multidisiplin. Metode pendekatan single disiplin yang mengkaji longsor seperti metode geofisika untuk mengidentifikasi bidang gelincir, metode

geoteknik untuk memprediksi kestabilan lereng, metode geoinformasi (citra satelit dan tumpang susun) untuk interpretasi kerawanan longsor, metode geokimia untuk mengidentifikasi kandungan unsur lempung, dan lain sebagainya (Souisa, *et al.*, 2018). Kebanyakan para ahli telah mengkaji longsor dengan pendekatan interdisiplin seperti telah dilakukan oleh Suhanto, *et al.*, (2005), Grandjean (2009), Luna, *et al.*, (2010), Dobrescu, *et al.*, (2011), Abidin, *et al.*, (2012), Akinrinmade, *et al.*, (2013), Khaki, *et al.*, (2016), dan lain-lain. Namun, belum dilakukan kombinasi data dari metode yang diusulkan sehingga layak untuk studi lebih lanjut, karena keakuratan suatu interpretasi tergantung pada hasil kajian multidisiplin baik dari segi kualitatif maupun kuantitatifnya. Beberapa penelitian sudah dikemukakan dan sedang dikembangkan metode dalam kaitannya tentang investigasi terjadinya longsor selama dekade terakhir ini, fokus studi diarahkan menggunakan integrasi metode geolistrik, geoteknik dan analisis mineralogi untuk menentukan potensi kritis longsor sehingga dapat memberikan mitigasi longsor.

KAJIAN TEORI DAN METODE

Pengertian Gerakan Tanah

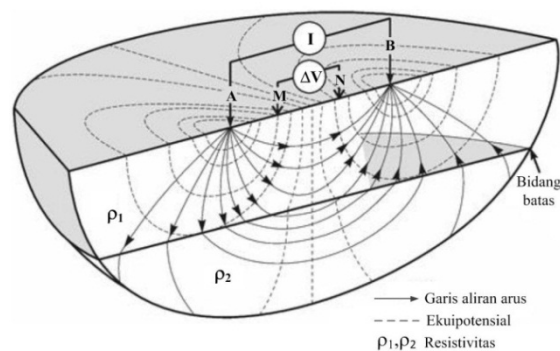
Gerakan tanah (*mass movement*) adalah gerakan material pembentuk lereng ke arah bawah (*downward*) atau ke arah luar (*outward*) lereng (Souisa, *et al.*, 2016¹ setelah Varnes, 1978). Atau dengan kata lain gerakan tanah (longosan) adalah perpindahan masa batuan/tanah karena pengaruh gaya berat. Menurut Sassa, *et al.*, (2009) bahwa longoran sebetulnya merupakan fenomena alam yang kompleks dalam mencari keseimbangan baru akibat adanya gangguan yang mempengaruhi dan menyebabkan terjadinya pengurangan kuat geser serta peningkatan tegangan geser tanah. Hal inilah yang menyebabkan kerusakan dan gangguan terhadap manusia dan merupakan ancaman bagi populasi manusia (Bell, *et al.*, 2012), korban jiwa dan kerugian harta benda yang cukup besar, kerusakan infrastruktur dan lingkungan (Sasa, 2013).

Survei Geofisika

Salah satu metode geofisika yang digunakan untuk survei bidang longsor adalah geolistrik resistivitas. Survei geolistrik resistivitas bertujuan untuk mengetahui perbedaan resistivitas bawah permukaan bumi dengan melakukan pengukuran di permukaan bumi. Salah satu faktor pemicu terjadinya longsor di wilayah kajian akibat kegagalan lereng adalah bidang gelincir, dimana material tanah/batuan akan bergerak diatas bidang tersebut mengalir mengumpul menuruni lereng (Souisa, *et al.*, 2015¹). Untuk mendeteksi bidang gelincir longsor digunakan metode geolistrik resistivitas. Resistivitas yang terukur adalah resistivitas semu (Sapulete, *et al.*, 2012 setelah Dobrin, *et al.*, 1988) seperti

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

dengan ρ_a adalah resistivitas semu ($\Omega.m$), ΔV adalah beda potensial (volt), I adalah kuat arus (A), dan $K = \pi n(n+1)a$ adalah faktor geometri (m) berdasarkan konfigurasi elektroda Wenner-Schlumberger (W-S) (Telford, *et al.*, 2004), dimana a adalah jarak antar elektroda (m) dan n ($=1,2,3,..$) adalah lapisan tanah/batuan (Gambar 1).



Gambar 1. Pengukuran resistivitas dengan konfigurasi elektroda W-S (Seidel *et al.*, 2007)

Survei pengambilan data terpadu dilakukan di longsor Amahusu Ambon yang secara geografis terletak pada koordinat $03^{\circ}43'59.37'' - 03^{\circ}43'55.57''$ LS dan $128^{\circ}08'23.12'' - 128^{\circ}08'19.30''$ BT (Gambar 2). Pada tahun 2013 kejadian longsor Amahusu sebanyak lima titik (Souisa, *et al.*, 2015²) sehingga menghancurkan pemukiman penduduk, korban jiwa dan merubah ekosistem bentuk lahan.

Survei geolistrik meliputi daerah longsor dengan jumlah lintasan adalah 6 lintasan panjang 100 m berorientasi tenggara-baratlaut dengan jarak tiap lintasan 40 m. Orientasi lintasan disesuaikan dengan topografi longsor dengan tujuan untuk menduga adanya potensi bidang gelincir. Akuisisi data lapangan dilakukan setelah lintasan dan titik pengamatan ditentukan di daerah penelitian untuk pengambilan data lapangan. Hasil pengukuran data resistivitas lapangan dengan konfigurasi W-S dianalisis dengan menggunakan komputer untuk menghasilkan penampang dua dimensi (2-D) model bawah permukaan. Kemudian untuk mengetahui sebaran nilai resistivitas sebenarnya pada daerah survei dilakukan proses *stacked section* (Souisa, *et al.*, 2015²).



Gambar 2. Peta lokasi penelitian

Pengujian Laboratorium Geoteknik

Penerapan metode geoteknik dalam penelitian ini hanya untuk menyelidiki pengujian sifat fisik tanah yang dilakukan melalui analisis data bor dangkal. Pengeboran dangkal dilakukan dengan *hand bor*, karena lokasi longsor sangat terjal dan berhutan padat, secara teknis sulit untuk pengambilan bor dalam. Sampel tanah yang digunakan untuk semua pengujian dalam penelitian ini adalah tanah terganggu (*disturbed sample*), dan diambil saat musim kemarau hingga kedalaman 3 m. Pengujian sampel tanah dilakukan di laboratorium untuk menentukan sifat tanah dan Atterberg limits, uji geser langsung. Sifat fisik tanah yang dimaksud antara lain berat spesifik, kadar air, konsistensi, dan porositas.

Analisis Mineralogi Tanah

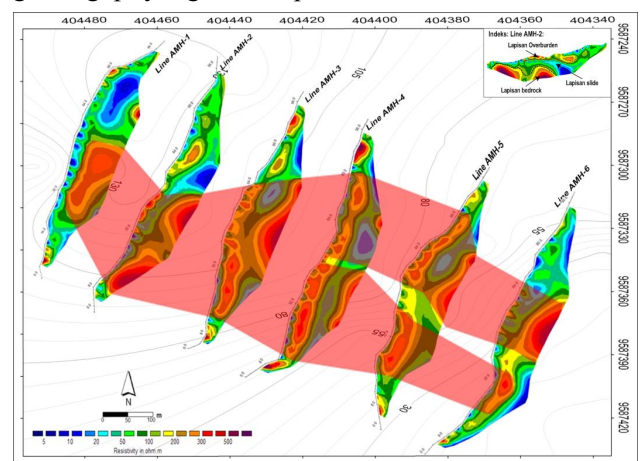
Analisis geokimia tanah menggunakan metode XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk menentukan komposisi unsur suatu material berupa kadar mineral, persentase dan tingkat kristalinitas mineral dari sampel, sehingga dapat dijadikan untuk mengetahui akumulasi fraksi lempung yang ada di bagian bawah permukaan menjadi bidang gelincir yang memicu kejadian longsor. Beberapa penelitian sebelumnya (Poppe *et al.*, 2001; Harris *et al.*, 2008; Yuliyanti *et al.*, 2013) telah mempelajari mengenai karakter difraksi sinar X pada mineral tunggal yang dapat memberikan panduan mengenai sifat dasar pola difraksi sinar X untuk masing-masing jenis mineral lempung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpretasi Survei Geolistrik Resistivitas

Interpretasi data dilakukan dengan mengkaji nilai resistivitas sebenarnya yang didapat dari pengolahan data dan dibandingkan dengan nilai resistivitas pada tiap batuan, kemudian dikorelasikan dengan singkapan litologi dan data bor. Berdasarkan profil sebaran bidang longsor daerah penelitian terdiri atas lapisan penutup (*overburden*) dengan resistivitas $> 200 \Omega.m$, lapisan *sliding* berupa lempung berpasir halus dengan resistivitas $5 - 50 \Omega.m$ dan lempung berpasir kasar dengan resistivitas $50 - 200 \Omega.m$, dan lapisan yang sangat keras (*bedrock*) dengan resistivitas $> 200 \Omega.m$. Lapisan-lapisan ini menunjukkan anomali resistivitas dari rendah hingga sedang sehingga memberikan pola sebaran bidang gelincir tidak merata. Begitu juga dengan

ketebalan dan kedalaman dari lapisan batuan sliding, dan lapisan bedrock juga bervariasi yang merupakan akibat dari proses pelapukan batuan dan proses erosi pada permukaan. Fitur profil Gambar 3, mengindikasikan persebaran bidang longsor berdasarkan citra resistivitas yang menunjukkan bahwa *bedrock* atau batuan induk tersebar di seluruh lintasan di daerah penelitian. Lapisan bagian paling bawah dari penampang resistivitas yang tersusun atas bongkahan atau blok dari batuan induk bertindak sebagai bidang gelincir. Nilai resistivitas lebih dari $50 \Omega.m$ diinterpretasikan sebagai material longsor, sedangkan resistivitas kurang dari $30 \Omega.m$ diinterpretasikan sebagai bidang gelincir. Hal ini diinterpretasikan demikian karena geologi lokasi telitian tersusun dari batuan tuf dan breksi gunungapi yang telah lapuk.



Gambar 3. Profil sebaran zona sliding pada lintasan longsor Amahusu

Posisi bidang gelincir di bawah permukaan mengalami longsor karena lapisan batuan atas cenderung keras dan jenuh air, namun dapat pula mengalami longsor karena lapisan batuan bagian sliding melongsorkan material yang terdapat di atasnya.

Oleh sebab itu, material overburden yang ikut terlongsorkan disebut material longsor dengan memiliki nilai resistivitas relatif lebih tinggi dari pada lapisan sliding yang diprediksi banyak mengandung batuan lempung berpasir yang mengakibatkan menurunnya nilai resistivitas medium.

Secara umum, fitur profil bagian timur laut memiliki nilai resistivitas yang sedang, karena bagian ini tersusun atas batuan lempung berpasir. Sedangkan pada arah horizontal sebaran longsor mengikuti arah kemiringan lereng

searah dengan bidang gelincir yaitu mengarah ke barat daya menuju daerah aliran sungai dan rumah penduduk selanjutnya mengalir mengendap di pesisir pantai Teluk Ambon.

Analisis Geoteknik

Analisis geoteknik dilakukan berdasarkan uji indeks tanah dengan tujuan untuk mengidentifikasi dan menentukan karakteristik material, atau untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan distribusi ukuran butirannya. Hasil pengujian sifat fisik tanah/batuan menunjukkan bahwa tanah dikategori lempung dengan presen fraksi lempung 0.002 mm (2 μ m) berkisar antara 25.55 – 42.98 % dan kadar air tanah berkisar antara 9.21 – 30.56 %. Hasil uji indeks properti disajikan pada Tabel 1. Tabel 1, menunjukkan bahwa tanah mempunyai karakteristik lempung cadas dan lempung berpasir. Dalam parameter indeks ukuran butiran menunjukkan bahwa di lokasi telitian dijumpai tanah padat hasil peninggalan longsoran. Karena tanah permukaan (*overburden*) atau tanah yang tidak padat telah terkikis dan terbawa oleh material longsor.

Tabel 1. Indeks properti tanah

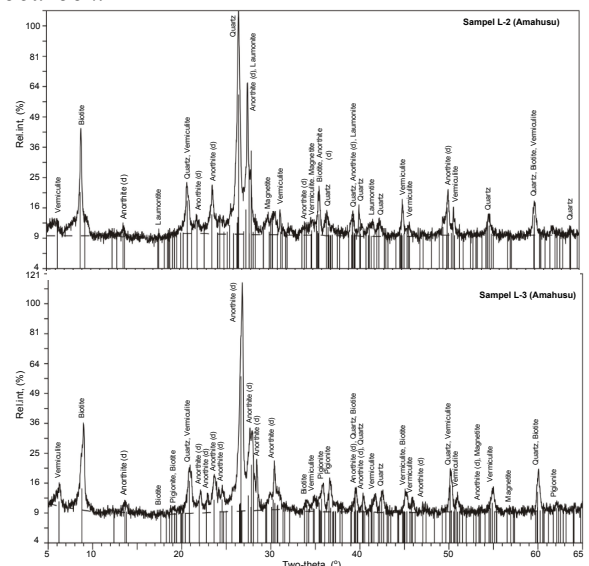
Sample No.	TBAmh-2	TBAmh-3
Depth, (m)	3	3
Average water content, (%)	24.03	8.65
Wet density, (ton/m ³)	1.88	1.70
Dry density, (ton/m ³)	1.52	1.56
Specific gravity, (Gs)	2.74	2.68
Void ratio, e	0.81	0.71
Porosity, n	0.45	0.42
Kohesi, (kN/m ²)	13.55	12.22
Sudut geser dalam, ϕ ($^{\circ}$)	30.70	37.30
Saturated degree, (%)	81.37	32.61
Liquit limit, (%)	30.12	36.55
Plastic limit, (%)	17.19	17.12
Plastisity index, (%)	12.13	19.43
Faktor aman lereng (F_K)	1.10	1.25
Type of soil	Lempung cadas	Lempung pasir cadas

Faktor aman lereng menggambarkan bagaimana kondisi tanah yang ada dalam suatu wilayah yang rentan terhadap bahaya longsor. Berdasarkan hasil uji geser langsung dapat digunakan untuk menentukan parameter stabilitas lereng tiap sampel tanah di lokasi telitian seperti pada Tabel 1. Hasil analisis faktor keamanan lereng menunjukkan bahwa semakin besar kemiringan geometri lereng maka semakin rendah nilai faktor aman lereng, atau suatu lereng yang berbahaya jika nilai faktor amannya rendah. Hal

inilah yang memudahkan terjadinya longsor apalagi dipicu dengan curah hujan di atas normal. Dengan demikian, daerah penelitian diduga dalam keadaan kritis dan berpotensi untuk terjadinya longsor susulan jika di picu oleh faktor alam dan non-alam yang menyertainya. Keadaan ini juga dapat diperkirakan berlaku pada wilayah-wilayah lainnya di Pulau Ambon yang memiliki karakteristi batuan dan kelerengan yang sama.

Analisis Mineralogi Tanah (Geokimia)

Uji sampel menggunakan analisis XRD untuk mengidentifikasi mineral yang sulit diidentifikasi dengan mikroskop terutama mineral jenis lempung tanah hasil pelapukan gunungapi Ambonite. Pola-pola spektrum yang tampak pada Gambar 4, menunjukkan kristalisasi mineral dengan ukuran puncak tertentu, dan mineral sampel masih dalam fase kristal. Hal ini ditandai dengan adanya puncak difraksi yang tajam. Hasil difraktogram menunjukkan bahwa sampel ini umumnya mengandung Anorthite dan Quartz. Penyebaran kenampakan spektrum pada sampel Amahusu diduga produk transformasi Quartz dengan prosentase kelimpahan rata-rata sebesar 19.07% dan mineral Anorthite sebesar 27.19%. Beberapa prosentase mineral lain yang kemunculan dalam jumlah kecil yakni Pigionite, Vermiculite dan Magnetite. Diduga kandungan mineral tersebut sebagian kecil di bawah oleh aliran longsor dan sebagian besar tersingkap dipermukaan lereng bekas longsor dan di bawah kedalaman tertentu sebagai batupasir atau *bedrock*.

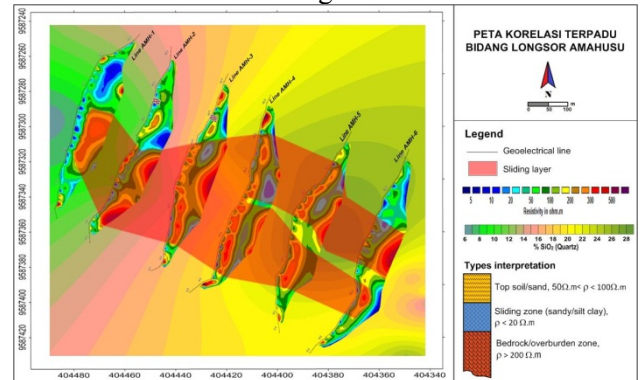


Gambar 4. Difraktogram mineral lempung sampel longsor Amahusu

Integrasi Multidisiplin Longsor Amahusu

Sulit untuk membedakan dengan hanya survei geolistrik untuk memutuskan apakah lereng memiliki kondisi normal atau kritis, karena zona resistivitas rendah selalu menjadi zona yang bermasalah. Akibatnya studi menyangkut bidang gelincir atau stabilitas lereng dilakukan dengan memadukan hasil interpretasi analisis data dengan pendekatan geolistrik diperlukan adanya data geoteknik berupa data bor dan data geokimia. Data geoteknik dan geokimia digunakan sebagai data pengikat dari hasil pengolahan data lapangan yang berupa nilai tahanan jenis setiap lapisan batuan. Analisis geoteknik diinterpretasi batuan pada lokasi telitian didominasi oleh lempung berpasir bercampur kerikil. Berdasarkan analisis ini tidak terdapat perbedaan jenis tanah di bawah permukaan pada daerah penelitian berupa nilai tahanan jenis lapisan batuan dan data bor maupun data kimia mengidentifikasi dengan baik adanya material lempung berpasir dan lempung pasir berkerikil (Gambar 5). Proses geokimia yang terjadi di sepanjang bidang longsor telah melemahkan kekuatan geser tanah melalui proses translokasi mineral tanah dari permukaan ke dalam bidang longsor. Mineral tanah yang dominan dan berada lebih dari 3 m dari dasar bidang longsor adalah Quartz (SiO_2). Pada bidang longsor diduga terjadi anomali SiO_2 yang mengecil ke arah lebih dalam, dan terjadi pula anomali ukuran butir lempung dan anomali bahan organik. Hal ini terjadi karena adanya perpindahan unsur, material dan proses pelapukan oleh air yang melewati lapisan gelincir. Oleh karena terletak di atas bedrock dengan kelerengan yang terjal dan didominasi oleh material ukuran lempung berpasir bercampur kerikil, maka tanah/batuan bawah permukaan tempat kejadian longsor masih berada dalam keadaan kritis. Jika dipadukan dengan faktor aman (F_k) dimana pada kondisi kering, muka air tanah sejajar batas bawah zona bedrock dan posisi muka air tanah sejajar permukaan tanah maka batas bidang longsor berada pada lapisan lapuk (zona sliding) dengan $F_k < 1.25$ (Tabel 1) tidak stabil atau berpotensi longsor. Dengan demikian, kejadian longsor di lokasi penelitian terjadi karena dipengaruhi oleh faktor alam seperti berada disekitar jalur patahan dan retakan batuan yang merupakan kondisi lereng dengan tingkat kemiringan melebihi 40%, pelapukan batuan gunungapi Ambon, kondisi curah hujan yang cukup tinggi lebih dari 200 mm/hari dengan durasi yang lama (Souisa *et al.*,

2015²), dan sistem hidrologi pada lereng. Begitupun dengan faktor non-alami disebabkan oleh penggunaan lahan seperti deforisitasi lahan hutan yang tidak terkontrol dan penanaman jenis pohon tahunan kurang terpola dengan tidak mempunyai sistem perakaran dalam, dan pemotongan tebing atau lereng untuk pemukiman secara tidak teratur, dan bahkan pemotongan badan tebing yang dijadikan sebagai material timbunan tidak sesuai dengan standar.



Gambar 5. Peta korelasi terpadu bidang longsor Amahusu

Langkah-langkah yang dilakukan untuk preventi terjadinya longsor susulan pada tebing/lereng dengan sudut kemiringan $> 45^\circ$ dalam kondisi saturasi tinggi, maka perlu dilakukan *terasering* atau pelandaian dengan memotong tebing agar tebing tidak lagi curam) sehingga bisa mengecilkan nilai stres geser maksimum vertikal pada tebing/lereng dan meminimalisir kemungkinan terjadinya runtuh. Hal ini perlu juga dikombinasikan dengan model tol air yang pemanfaatannya lebih efektif dan terintegrasi, dapat ikutkan dengan pendekatan *bioengineering* dan *geoforestry seperti* menggunakan vegetasi berakar tunggang dan rumput-rumputan keras yang bisa menembus lapisan kedap air untuk membantu memperkuat lapisan permukaan tanah sehingga kekuatan geser tanah ditingkatkan oleh kolom akar.

KESIMPULAN

Bidang gelincir longsor Amahusu dicirikan oleh anomali resistivitas dari struktur lapisan bawah permukaan yang rendah ($< 50.0 \Omega.m$) hingga sedang ($50.0 - 200.0 \Omega.m$) dan anomali ini memberikan citra resistivitas jenis batuan lempung dan lempung pasiran, sedangkan anomali geoteknik batuan berdasarkan *physical properties* memprediksi adanya tanah lempung

berpasir dan lempung pasir berkerikil, sedangkan *engineering properties* memberikan nilai faktor aman lereng dalam keadaan kritis ($F_s < 1.25$). Dari anomali geokimia pada proses pelapukan menyebabkan terjadinya penghalusan mineral sehingga persentase fraksi ukuran butir lempung menjadi lebih besar dibandingkan di bagian atas dan bawahnya sehingga dengan akumulasi fraksi lempung yang ada di bagian bawah menjadi bidang gelincir yang memicu kejadian longsor. Berdasarkan perpaduan ini, anomali-anomali saling berkorelasi dan tersebar di sekitar sebaran lokasi longsor. Oleh karena itu, daerah penelitian diduga masih berpotensi untuk terjadinya longsor susulan jika di picu oleh hujan diatas normal atau dipengaruhi oleh faktor alam dan non-alam dengan arah pergerakan edikit bergerak ke arah timur laut dengan jangkauan yang sedikit meluas.

Untuk meningkatkan kewaspadaan bahaya gerakan tanah (longsor), diperlukan adanya arahan mitigasi yang disusun berdasarkan tingkat risiko bahaya longsor dalam bentuk non-struktural, diantaranya seperti menghindari daerah yang dekat dengan bencana longsor dengan cara perencanaan tata ruang dan wilayah serta memberdayakan masyarakat dengan cara mengadakan penghijauan kembali daerah longsor serta pada daerah longsor jangan dijadikan sebagai lahan perkebunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, M.H.B.Z., Saad, R.B., Ahmad, F.B., Wijeyesekera, D.C. and M.F.B.T. Baharuddin. 2012. *Integral Analysis of Geoelectrical (Resistivity) and Geotechnical (Spt) Data In Slope Stability Assessment*. Academic Journal of Science, 1(2). p305–316.
- Akinrinmade, A.O., Ogunsanwo, O. and O.O. Ige. 2013. *Geophysical and Geotechnical Investigation of River Ero, Ajuba*. Southwestern Nigeria for Dam Development, International Journal of Science and Technology, 2(7). p516–528.
- Bell, R., Petschko, H., Röhrs, M. and A. Dix. 2012. *Assessment of Landslide Age, Landslide Persistence and Human Impact Using Airborne Laser Scanning Digital Terrain Models*. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. Swedish Society for Anthropology and Geography, 135–136p.
- Dobrescu, C., Calarasu, E. and M. Stoica. 2011. *Landslides Analysis Using Geological, Geotechnical, Geophysical Data From Experimental Measurement In Prahova Country*. Urbanism, Arhitectura, Constructii, 2(4), p55–62.
- Dobrin, M.B. and C.H. Savit. 1988. *Introduction to Geophysical Prospecting*, fourth edition. McGraw-Hill Book Company, New York, 185–186p.
- Fell, R., Hungr, O., Leroueil, S. Riemer, W., 2000. Keynote Lecture – Geotechnical Engineering Of The Stability Of Natural Slopes, And Cuts And Fills In Soil, GeoEng Conference, Sidney, Australia, 43 p.
- Grandjean, G. 2009. *From Geophysical Parameters to Soils Characteristics*. FP7-DIGISOIL Project Deliverable, 2(1), p1–45.
- Harris, W. and N.White. 2008. *X-ray diffraction techniques for soil mineral identification*, in Drees, L.R. dan Ulery, A.L. (ed.). *Methods of Soil Analysis - Part 5: Mineralogical Methods*, Volume 5 dari SSSA Book Series Edisi-3, p81–116.
- Ingmanson, D. E. and J.W.William. 1985. *Oceanography*. Wadsworth Publishing Company, Belmon, California. 134p.
- Khaki, M., Yusoff, I., Islami, N. and S. Saboohi. 2016. *Integrated geoelectrical and hydrogeochemical investigation for mapping the aquifer at Langat Basin, Malaysia*. *Environ Earth Sciences*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 75(304). p303–311.
- Lancelotta, R. 2009. *Geotechnical Engineering*, second edition, Taylor & Prancis Group, London and New York, 14-15p.
- Luna, R. and H. Jadi. 2000. *Determination of Dynamic Soil Properties Using Geophysical Methods*. Proceedings of the First International Conference on the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure, St. Louis, MO, December 2000, p1–15.
- Poppe, L.J., Paskevich, V.P., Hathaway, J.C. and D.S. Blackwood. 2011. *Clay Identification Flow Diagram: A Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction*. U.S. Geological Survey Open-File Report, 01-041p.
- Sapulete, M.S., Sismanto, and M.Souisa. 2012. *Mapping of Lateritic Nickel Deposit Using Resistivity Method at Gunung Tinggi Talaga Piru, Western Seram Regency, Mollucas Province*. Proceeding Earth Science

- International Seminar, Yogyakarta, 29th November, 2012.
- Sassa, K. and P. Canuti. 2009. *Landslides Disaster Risk Reduction*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, (Eds.). 19–20p.
- Sassa, K. 2013. *International Programme On Landslides*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 27–28p.
- Souisa, M., Hendrajaya, L. dan G. Handayani. 2014. *Investigasi Awal Mekanisme Tanah Longsor di Pulau Ambon, Provinsi Maluku*. Prosiding Seminar Basic Sains VI, FMIPA Unpatti Ambon, 07 Mei 2014.
- Souisa, M., L.Hendrajaya dan G.Handayani. 2018. *Analisis Bidang Longsor Menggunakan Pendekatan Terpadu Geolistrik, Geoteknik dan Geokomputer di Negeri Lima Ambon*. Indonesian Journal of Applied Physics, 8(1). p13 – 25.
- Souisa, M., Hendrajaya, L. and G. Handayani. 2016. *Landslide Hazard and Risk Assessment For Ambon City Using Landslide Inventory and Geographic Information System*. Journal of Physics: Conference Series 739, p1 – 11.
- Souisa, M., Hendrajaya L. and G.Handayani. 2015¹. *Landslide Dynamics and Determination Critical Condition Using of Resistivity Method in Desa Negeri Lima Ambon*. Indonesian Journal of Physics, 26(1). p1–4.
- Souisa, M., Hendrajaya, L. and G. Handayani. 2015². *Determination of Landslide Slip Surface Using Geoelectrical Resistivity Method at Ambon City Moluccas Indonesia*. Jurnal Internasional, IJTAE, 5(7). p42–47.
- Souisa, M., Hendrajaya L. dan G.Handayani. 2015³. *Pencitraan Resistivitas Bidang Longsor di Perbukitan Booi dan Erie Kota Ambon Menggunakan Konfigurasi Wenner-Schlumberger*. Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya, 16(2). p1–5.
- Suhanto, E., Sriwidodo, Munandar, A., Kusnadi, D. dan D.S. Kusuma. 2005. *Penyelidikan Terpadu Geologi, Geokimia, dan Geofisika Daerah Panas Bumi Jaboi, Kota Sabang – Nangroe Aceh Darussalam*. Pemaparan Hasil Kegiatan Survei Panas Bumi, Kementerian ESDM, Jakarta. p1–4.
- Telford, M.W., Geldart, L.P., Sherrif, R.E. and D.A. Keys. 2004. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge New York. 556–557p.
- Varnes, D.J. 1978. *Slope movements types and processes in landslide: Analysis and control*. Nation Academy of Sciences, Washington, DC, 176. p11 – 33.
- Yuliyanti, A., Sarah, D. dan E.Soebowo. 2013. *Pengaruh Lempung Ekspansif Terhadap Potensi Amblesan Tanah di Daerah Semarang*. Riset Geologi dan Pertambangan, 22(2). p93–104.