

PREDIKSI BIDANG GELINCIR GERAKAN TANAH MENGGUNAKAN METODE *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY* (ERT)

Achmad Sri Fadli^{1*}, Teuku Faisal Fathani¹, Fikri Faris¹

¹Departemen Teknik Sipil Dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding authors: achmad.sri.fadli@mail.ugm.ac.id

Abstract: There has been a landslide in the Rocky Wall area on the access road to the steam and brine pipeline production facility for the Geothermal Power Plant (PLTP) owned by PT. Pertamina Geothermal Energy (PT.PGE) in Muara Enim Regency, South Sumatra Province. The landslide caused a decrease in production (*derating*) at the Geothermal Power Plant due to damage at production facilities from cluster 1 production wells. This study aims to identify the subsurface structure of the landslide in the rocky wall area and to predict the depth of the slip surface, based on the resistivity value of the soil layer using the ERT geophysical method. The mitigation method chosen for handling landslides will be appropriate using the geophysical data. Slip surface location is one of the critical factors affecting slope stability mitigation design. In this study the depth of the slip surface is identified using resistivity values from Electrical Resistivity Tomography (ERT) test. ERT acquisition using Ares II (Automatic Resistivity System II) as main tools, with Wenner, Schlumberger and Dipole-dipole configuration. To cover study area, four lines are distributed. The analyzed data from Res2dinv and Zondres2D show that the study area is dominated by weathered andesite breccia and clayey sandy silt. The depth of the slip surface from ERT data analysis shows compatibility with the slope stability back analysis result before and after the landslide occurred using the Slope/W software. It was found that a potential slip plane failure located at a depth of 10,43 m below the slope surface before landslides happened.

Keywords: Geoelectric, Electrical Resistivity Tomography, slip surface, landslides, stability analysis

Abstrak: Longsor yang terjadi di area tebing batu (*Rocky Wall*) jalan akses fasilitas produksi pipa penyalur uap dan brine Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) milik PT. Pertamina Geothermal Energy (PT.PGE) di Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan, yang menyebabkan terjadinya penurunan produksi (*derating*) di PLTP akibat rusaknya fasilitas produksi dari sumur produksi klaster 1 ke PLTP. Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi struktur lapisan bawah permukaan longsor di area rocky wall dan untuk memprediksi kedalaman bidang gelincir (*slip surface*) berdasarkan nilai resistivitas lapisan tanah dengan metode geofisika ERT, sehingga metode geoteknik yang dipilih untuk penanganan longsor adalah tepat. Penelitian ini dilakukan dengan metode geofisika *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) konfigurasi Wenner, Schlumberger dan Dipole-dipole dengan Ares II (*Automatic Resistivity System II*) sebagai peralatan utama ERT yang digunakan dalam pengambilan data. Luas daerah penelitian dibagi dengan jumlah pengukuran sebanyak 4 lintasan. Dari hasil pengolahan data pengukuran resistivitas menggunakan perangkat lunak Res2dinv dan Zondres2D, hasilnya menunjukkan bahwa sebaran batuan di daerah longsor *rocky wall* didominasi oleh lapisan breksi andesit lapuk dan lanau berpasir berlempung. Berdasarkan *back analysis* dan analisis stabilitas lereng sebelum kondisi longsor terjadi dan setelah longsor terjadi menggunakan Slope/W, didapatkan lapisan yang berpotensi menjadi bidang gelincir berkesesuaian pada kedalaman 10,43 m di bawah permukaan lereng.

Kata kunci: Geolistrik, *Electrical Resistivity Tomography*, bidang gelincir, longsor, analisis stabilitas

1. PENDAHULUAN

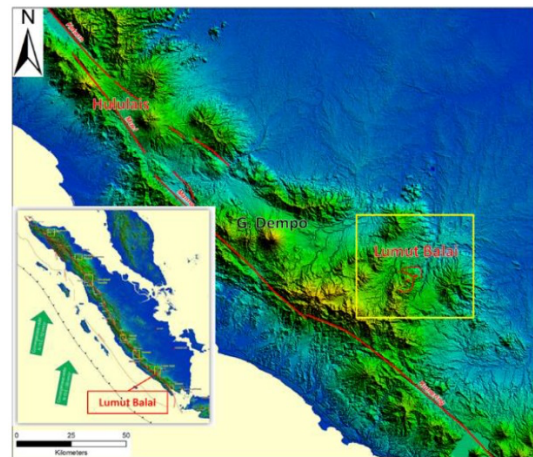
Indonesia merupakan negara berkembang yang terus tumbuh industri dan pembangunannya, dan energi adalah hal penting yang harus dipastikan kecukupan dan ketersediaannya. Program pembangkit listrik 35.000 MW tahap kedua merupakan salah satu bukti keseriusan pemerintah Indonesia dalam menjaga kesiapan dan ketersediaan energi bagi kebutuhan domestik. Pemerintah Indonesia mencanangkan bauran energi baru terbarukan mencapai 23% pada 2025 dan naik lagi 31% pada 2050 (Nurwahyudin dan Harmoko, 2020). Pemanfaatan potensi alam di Indonesia, khususnya energi hijau berbasis energi panas bumi (geothermal) dengan potensi hingga 28,5 Giga Watt (GWe) masih cukup rendah di bawah 8% dari bauran energi nasional, sehingga peningkatan kapasitas terpasang dari energi panas bumi menjadi satu pertimbangan untuk dapat mempercepat dan memperbesar kontribusi pembangkit listrik dari energi terbarukan dalam bauran energi nasional.

Salah satu PLTP yang sedang dibangun di Indonesia adalah pembangkit listrik tenaga panas bumi Lumut Balai yang berlokasi di Desa Penindaian, Kecamatan Semende Darat Laut, Kabupaten Muara Enim dan Kabupaten OKU, Provinsi Sumatera Selatan, atau sekitar 3 jam perjalanan dari kota Baturaja (Gambar 1). PLTP tersebut merupakan pembangkit listrik berbasis energi hijau unggulan di Provinsi Sumatera Selatan, dikarenakan potensi panas bumi yang dimilikinya cukup besar yaitu lebih kurang dari 300 MW.

Ada beberapa risiko dalam eksplorasi dan pengembangan energi panas bumi menurut Witter et al. (2019), diantaranya adalah risiko yang berkaitan dengan sumber daya (*resource risk*) dan risiko pembangunan (*construction risk*). Area produksi *steam field* dan *Geothermal Power Plant* (GPP) panas bumi sebagai bagian dari fasilitas PLTP umumnya berada di daerah vulkanik dengan terrain dan relief tinggi, medan curam, dan didominasi batuan alterasi yang mengalami pelapukan akibat temperatur tinggi, dan curah hujan yang tinggi (rerata > 80 mm/jam), sehingga semua kondisi tersebut menimbulkan potensi terjadinya tanah longsor yang relative besar (Kumalasari dkk., 2019). Istilah longsor digunakan di sini dalam pengertian umum untuk menunjukkan berbagai gerakan massa yang bergerak menuruni lereng di bawah pengaruh

gravitasi. Istilah ini dapat mencakup turunnya atau bergesernya massa tanah, longsor batu, longsor puing, longsor puing dan aliran tanah (Cheng dan Lau, 2014).

Pada tanggal 1 Juni 2020, terjadi peristiwa longsor di area operasi panas bumi Lumut Balai, yang menyebabkan tertutupnya jalan akses ke arah gedung pembangkit listrik dari Cluster 1. Selain menutup akses jalan, material longsor juga menimbun fasilitas produksi pembangkit listrik panas bumi berupa pipa penyalur uap (*steam line*) dan pipa penyalur brine (*brine line*). Kejadian longsor yang terjadi tentu menimbulkan gangguan operasional dan memerlukan penanganan yang tepat, sehingga tidak terjadi longsor kembali di lokasi yang sama.



Gambar 1. Lokasi PLTP Lumut Balai (Nurseto dkk., 2021).

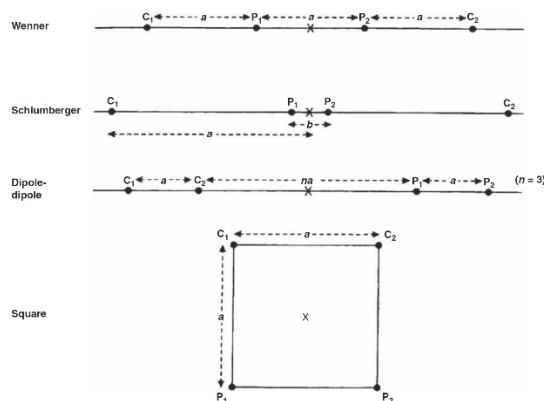
Proses penyelidikan longsor merupakan hal yang khusus dan tergantung lokasinya (Lakshmi, 2021). Banyak aktivitas yang tidak berguna dapat dikurangi dengan mengadakan perencanaan analisis dan penyelidikan secara matang. Dengan mempelajari petunjuk penyelidikan longsor yang baik akan menghemat tenaga dan waktu yang terbuang. Lingkup pekerjaan penyelidikan tanah bergantung pada luas dan seberapa kompleks luas area longsor.

Metode geofisika merupakan metode yang dapat digunakan untuk melakukan penyelidikan sifat fisik bawah permukaan (batuan, sedimen, air, rongga, dan lain-lain). Secara umum metode ini menggunakan sinyal yang dihasilkan secara artifisial untuk ditransmisikan ke tanah, sinyal tersebut kemudian akan mengalami perubahan sesuai karakteristik dari bahan yang diuji.

Tujuan dari survei resistivitas listrik adalah untuk mendapatkan model resistivitas asli (*true resistivity*) bawah permukaan yang memiliki arti secara geologis. Resistivitas semu digunakan sebagai nilai resistivitas yang mewakili lapisan tanah atau batuan tidak homogen yang dilewati dalam pengukuran (Hasan et al., 2020).

Perrone dkk. (2014) menyajikan pembahasan berbagai penelitian yang telah dilakukan terkait dengan penggunaan ERT untuk investigasi kejadian longsor yang diakibatkan berbagai macam kondisi formasi geologi dan geografi. Metode ERT disarankan untuk dikembangkan sebagai bagian dari sistem terintegrasi untuk pemantauan pergerakan tanah. Fadh dkk. (2016) melakukan pengujian ERT untuk mengetahui bidang longsor dengan melihat pergerakan air yang terkandung dalam tanah. Keretakan dapat terlihat pada lapisan tanah yang memiliki nilai resistivitas yang berbeda cukup signifikan.

Nilai resistivitas semu tergantung pada geometri susunan elektroda yang digunakan dalam pengujian. Paling tidak ada lebih dari seratus susunan elektroda yang saat ini sudah diketahui (Loke et al., 2013). Variasi susunan elektroda menunjukkan fleksibilitas dari teknik pengujian dengan metode resistivitas. Penentuan susunan yang tepat diperlukan dengan memperhatikan kelebihan dan kekurangan masing-masing susunan dengan mempertimbangkan ketersediaan peralatan dan perangkat lunak untuk akuisisi dan pengolahan data. Konfigurasi yang dapat digunakan dalam pengujian resistivitas ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Susunan elektroda dalam akuisisi data resistivitas.

Gonçalves dkk. (2021) melakukan pengujian untuk mendapatkan korelasi antara

pengujian resistivitas elektrik dengan jumlah pukulan uji SPT pada tanah tropikal di daerah Brazil. Metode ERT menunjukkan potensi besar untuk mengekstrapolasi data dari survei SPT dan memperbaiki kekurangan karakterisasi struktural lapisan tanah atau batuan dalam proyek teknik sipil. Imani dkk. (2020) menggabungkan pengujian ERT dengan *Seismic Refraction Tomography* (SRT) untuk menjelaskan karakteristik longsor di daerah Xiaoshan, Hangzhou, China. Hasil pengujian dikalibrasi terhadap dua titik uji bor dan SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy*). Identifikasi adanya bidang gelincir berdasarkan metode geolistrik ditandai dengan adanya kontras resistivitas antar dua batuan yang berdekatan, yaitu lapisan kedap air yang memiliki nilai resistivitas tinggi yang berada diantara lapisan yang memiliki nilai resistivitas lebih kecil (Maharani dkk., 2018).

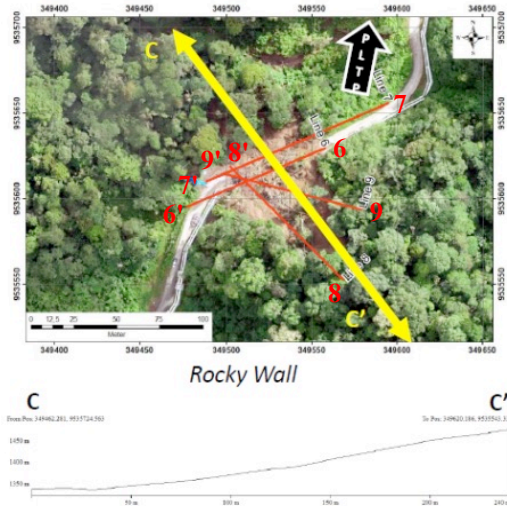
Upaya mitigasi bencana tanah longsor dilakukan untuk menghentikan atau mengurangi gerakan tanah longsor sehingga kerusakan yang ditimbulkan dapat diminimalkan. Pengetahuan yang baik dan memadai terkait dengan bidang gelincir dapat menentukan keberhasilan metode penanganan pergerakan tanah. Melalui penelitian ini, dilakukan interpretasi lapisan tanah dengan data ERT dan hasil uji pemboran. Hasil analisis dibandingkan dengan data pergerakan tanah yang terjadi dan digunakan untuk mengevaluasi potensi pergerakan tanah pada lereng tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Penyelidikan tanah dengan geolistrik ERT dilakukan untuk mengetahui struktur bawah permukaan area longsor, mekanisme pergerakan tanah dan potensi kedalaman bidang gelincir. Lintasan pengambilan data ERT di area kajian ditentukan dengan memperhatikan luasan area longsor. Pengujian dilakukan sebanyak empat lintasan (Line 6'-6, Line 7'-7, Line 8'-8 dan Line 9'-9), seperti terlihat pada Gambar 3. Data hasil ERT akan dibandingkan dengan data hasil pengeboran yang dilakukan oleh Golder Associates, Inc. pada tahun 2015 dengan hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

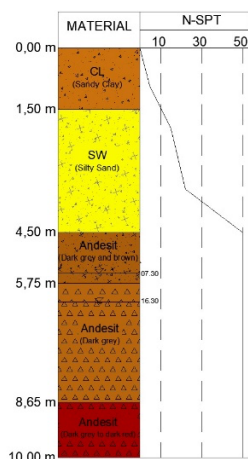
Data topografi didapatkan berdasarkan data yang diambil sebelum dan setelah longsor terjadi. Peta topografi setelah longsor dapat

dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan data topografi tersebut dibuat sayatan untuk analisis stabilitas lereng secara dua dimensi.



Gambar 3. Lokasi lintasan pengambilan data ERT.

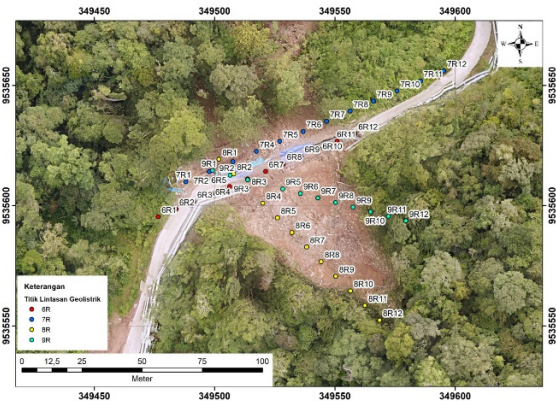
Dalam akuisisi data ERT digunakan jarak antar elektroda sebesar 8 hingga 10 m. Jarak menyesuaikan dengan kondisi permukaan tanah di lapangan. Dalam penelitian ini digunakan tiga skema pengujian yaitu susunan Wenner, Schlumberger, dan Dipole-dipole. Penumpukan (*stacking*) antar elektroda antara empat hingga delapan dengan panjang denyut maksimal selama satu detik. Standar deviasi maksimum sebesar 1%.



Gambar 4. Data uji pembaran di lokasi penelitian.

Data kemudian diolah melalui perangkat lunak Res2dinv dan Zondres2D pada alat akuisisi dengan gabungan metode Wenner, Schlumberger, dan Dipole-dipole sesuai dengan tujuan penelitian. Masing-masing metode

memiliki kelebihan dan kekurangan, dan dapat dikombinasikan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Besar arus minimum yang dapat dibaca sebesar 0.10 mA dengan tegangan terukur minimum sebesar 1.00 mV. Rentang resistivitas digunakan sebesar 1.00 hingga 99999.99 Ohm/m. Nilai kesalahan maksimum dalam pembacaan diatur sebesar 10%.



Gambar 5. Data topografi setelah longsor.

Parameter inversi digunakan untuk merubah resistivitas semu menjadi nilai resistivitas yang sesungguhnya. Digunakan jumlah lapisan dengan rentang 10 hingga 14 lapis. Digunakan nilai nodal antara sebesar 4 buah nodal. Diskretisasi dilakukan mengikuti pola regular. Digunakan inversi dengan model Occam. Iterasi dilakukan hingga didapatkan root mean square (RMS) kurang dari 0.1, sesuai dengan toleransi kesalahan parameter konversi.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis balik (*back analysis*) untuk membandingkan kedalaman radius point bidang gelincir dengan deformasi lereng aktual (setelah longsor) dengan potensi deformasi model lereng sebelum longsor. Hal ini berdasarkan pada hipotesis bahwa lereng permukaan setelah terjadinya longsor merupakan bidang gelincir (*slip surface*) untuk geometri lereng sebelum longsor terjadi. Metode analisis balik (*back analysis*) digunakan dengan melakukan *trial* dan *error* analisis stabilitas lereng dengan menggunakan perangkat lunak *Slope/W*. Penentuan bidang gelincir menggunakan skema *entry* dan *exit* pada perangkat lunak *Slope/W*.

Tujuan dilakukan analisa balik perkiraan rentang kedalaman *point radius* longsor menggunakan model lapisan tanah sebelum longsor terjadi dengan model lapisan tanah yang diperbaharui hasil interpretasi penampang

resistivitas 2D adalah untuk memvalidasi hasil interpretasi nilai resistivitas lapisan tanah yang berpotensi menjadi titik lemah atau rentan mengalami pergerakan longsor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permukaan tanah secara umum merupakan campuran lanau berpasir (*silty sand*), batu kerikil berpasir, lempung lanauan, batu kerikil berlempung. Pada area penelitian juga ditemukan efek alternasi pada batuan-batuan di sekitar area manifestasi panas bumi dan area ekskavasi lokasi pembangkit listrik panas bumi.

Kemiringan lereng pada lokasi kajian memiliki kemiringan 40° dan tersusun oleh batuan yang lapuk di permukaan lerengnya. Batuan lapuk ini bersifat lepas dan mudah menyerap air, sehingga saat curah hujan tinggi dapat terjadi pergerakan tanah. Kondisi pergerakan tanah yang terjadi pada lokasi kajian dapat dilihat pada Gambar 6.

Berdasarkan pengamatan tipe pergerakan tanah yang terjadi pada lokasi kajian adalah berupa *translational slide* atau longsor translasi. Terjadi proses perubahan keadaan tegangan-regangan dari massa tanah di sepanjang dasar lereng yang mengarah ke pemisahan massa dan gerakan tanah menuruni lereng, sambil mempertahankan kontak yang terus menerus antara massa tanah yang bergeser dan tanah yang tidak terganggu di bawahnya. Jika dilihat berdasarkan data DEM dan pengamatan di lapangan, lereng pada lokasi kajian merupakan bagian dari longsor terdahulu yang terlihat dengan adanya *major scarp* sebagai mahkota longsor dan *depositional area* sebagai material endapan longsor terdahulu.

Hasil uji lintasan pengujian Line 6'-6 ditunjukkan seperti pada Gambar 7. Pada bagian permukaan di elektroda ke 2, 3-4, 5-6 dan 9 terdapat aliran permukaan dan rembesan air yang membuat litologi menjadi lebih basah, sehingga akan mempengaruhi hasil pembacaan yang dilakukan. Pada sisi elektroda ke 12 terdapat material longsor di permukaan yang ditunjukkan dengan nilai resistivitas $50 \Omega\text{m}$. Pada sisi barat terdapat lapisan yang memiliki nilai resistivitas 14 hingga $28 \Omega\text{m}$.

Lintasan Line 7'-7 membentang dari arah barat ke arah timur. Hasil pengujian nilai resistivitas ditunjukkan pada Gambar 8. Pada bagian permukaan di sisi barat (elektroda 12) dan memanjang ke arah timur, terdapat beberapa

rembesan air yang mengakibatkan nilai resistivitas batuan turun menjadi 1 hingga $3 \Omega\text{m}$. Pada sisi timur terdapat lapisan jenuh air (saturated) dengan nilai resistivity antara 3,5 hingga $12 \Omega\text{m}$.



(a) tampak atas



(b) tampak samping

Gambar 6. Pergerakan tanah pada lokasi kajian.

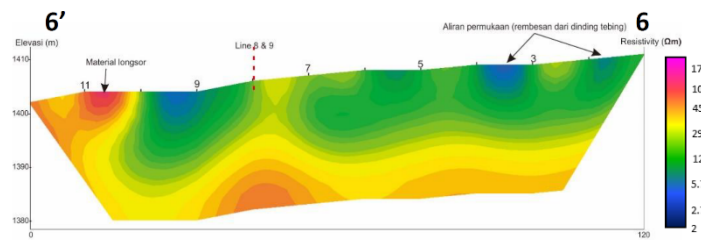
Hasil pengujian lintasan pengujian ERT Line 8'-8 ditunjukkan seperti pada Gambar 9. Lintasan 8'-8 diambil melintang dari atas ke bawah di pusat longsor *rocky wall*. Pada bagian permukaan di sisi tenggara terdapat lapisan dengan nilai resistivitas 30 hingga $170 \Omega\text{m}$. Litologi ini merupakan massa batuan yang mengalami longsor. Pada bagian bawah terdapat lapisan dengan nilai resistivitas 8 hingga $25 \Omega\text{m}$. Pada sisi barat laut terdapat saturated layer dengan nilai resistivitas 2.7 hingga $5 \Omega\text{m}$.

Berdasarkan hasil pengujian pada Line 9'-9 diperoleh nilai resistivitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Pada bagian permukaan di sisi tenggara terdapat litologi dengan nilai resistivitas 30 hingga $165 \Omega\text{m}$. Litologi ini merupakan massa batuan yang mengalami longsor. Pada bagian bawah terdapat lapisan dengan nilai resistivitas 10 hingga $25 \Omega\text{m}$.

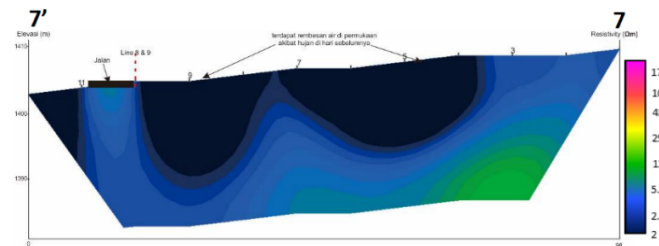
Hasil uji ERT menunjukkan bahwa lapisan yang labil merupakan lapisan bagian atas dengan nilai resistivitas berkisar antara 30 hingga 180 Ωm . Batuan sisi Barat dari jalan memiliki tingkat kejenuhan yang lebih tinggi daripada batuan di sisi Timur walaupun tersusun oleh litologi sama. Hal ini menunjukkan adanya porositas dan pembebanan yang tinggi saat terjenuhkan oleh air dari permukaan maupun bawah permukaan.

Berdasarkan interpretasi hasil pengujian ERT pada Line 6'-6 dan Line 7'-7, lapisan tanah secara umum tersusun atas lapisan tanah jenuh

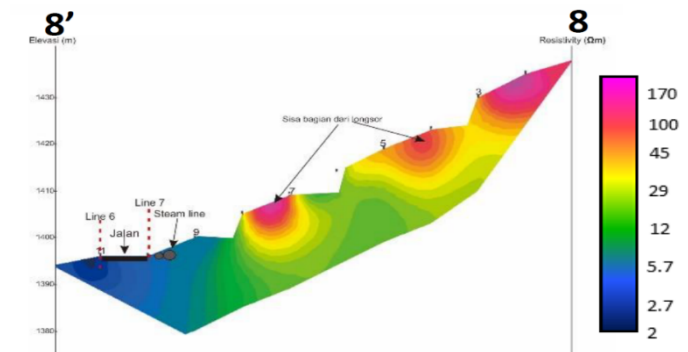
berupa Lanau berpasir berlempung. Lapisan tanah ini mewakili tanah dengan nilai resistivitas yang berkisar antara 0 hingga 30 Ωm . Pada lapisan ini, terdapat lapisan yang lebih basah dibandingkan lapisan yang lain dikarenakan adanya aliran air dari rembesan. Lapisan tanah lain merupakan lapisan breksi andesit lapuk dan material longsoran yang berada pada kondisi yang kering dengan nilai resistivitas berkisar antara 30 hingga 130 Ωm .



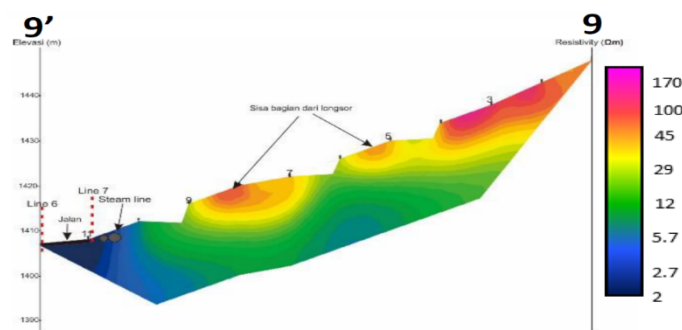
Gambar 7. Hasil uji ERT Line 6'-6.



Gambar 8. Hasil uji ERT Line 7'-7.



Gambar 9. Hasil uji ERT Line 8'-8.



Gambar 10. Hasil uji ERT Line 9'-9.

Hasil interpretasi struktur geologi bawah permukaan berdasarkan penampang resistivitas 2D, pada Line 8'-8 menunjukkan ketebalan lapisan lanau berpasir berlempung (*clayey sandy silt*) yang lebih tebal, dengan ketebalan 10 s.d 20 m dari permukaan lereng *rocky wall*. Lapisan lanau berpasir berlempung mewakili tanah dengan nilai resistivitas antara 30 hingga 170 Ω m. Berdasarkan hasil interpretasi struktur geologi bawah permukaan berdasarkan penampang resistivitas 2D, pada Line 9'-9 ketebalan lapisan lanau berpasir berlempung (*clayey sandy silt*) yang lebih tipis jika dibandingkan dengan Line 8'-8, dengan ketebalan 5 s.d 10 m dari permukaan lereng *rocky wall*.

Pemodelan lapisan struktur geologi bawah permukaan longsoran, menggunakan hasil interpretasi penampang ERT 2D Line 8'-8, hal tersebut dikarenakan dua hal, yang pertama Line 8'-8 merupakan lintasan yang memotong pusat longsoran dan yang kedua dikarenakan lintasan 8'-8 menunjukkan lapisan tanah yang diduga mudah bergerak, yaitu lapisan lanau berpasir berlempung (*clayey sandy silt*) yang lebih tebal (10 s.d. 20 m) dibandingkan Line 9'-9.

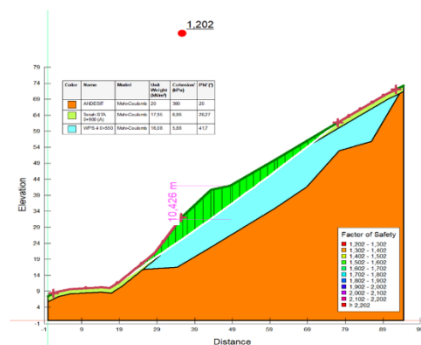
Dengan model perlapisan tanah hasil rekonstruksi sebagai input untuk melakukan *back analysis*, diperoleh kedalaman zona kritis pada kedalaman kurang dari 10,43 m, seperti terlihat pada Gambar 11. Bila dibandingkan dengan data kontur setelah tanah mengalami pergerakan, maka tebal massa longsoran mendekati hasil analisis dengan penampang tanah hasil *overlay* antara ERT dan data pemboran. Berdasarkan data pemodelan, diketahui bahwa massa tanah hasil pergerakan tanah masih memiliki risiko pergerakan tanah (masih terdapat risiko bidang gelincir di bawah bidang gelincir longsoran yang telah terjadi), seperti dapat dilihat pada Gambar 12.

4. KESIMPULAN

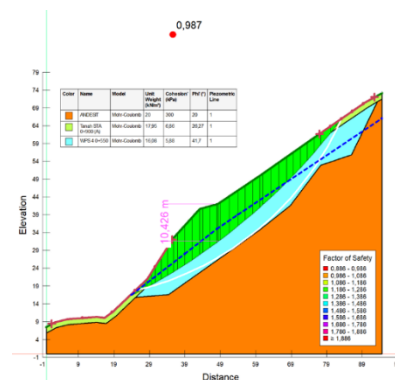
Berdasarkan pengamatan geologi permukaan, secara umum lereng *rocky wall* pada lokasi kajian tersusun oleh dua jenis litologi yaitu lanau pasir berlempung dan breksi andesit. Lanau berpasir berlempung masuk kedalam kelompok kelas MH atau lanau dengan tingkat plastisitas tinggi. Tanah ini memiliki butir lanau-pasir, dominasi clay, grain dominated, dan mempunyai porositas yang tinggi sehingga dapat menyimpan air. Breksi Andesit berwarna coklat coklat keabuan berukuran pasir hingga bongkah

(<30 cm), matrix clay, matrix-dominated, kompak, subrounded, highly weathered, highly fractured, dan sebagian telah teroksidasi.

Uji ERT menghasilkan data lapisan tanah berdasarkan nilai resistivitas yang diukur. Susunan elektroda dapat mempengaruhi hasil pengukuran dan dapat dikombinasikan untuk memperoleh hasil yang lebih baik. Lapisan tanah hasil ERT memiliki korelasi yang cukup baik dengan hasil uji pemboran. Data hasil uji pemboran tetap diperlukan untuk meningkatkan kualitas hasil pembacaan uji ERT. 1. Data hasil penyelidikan tanah berupa uji pemboran dapat digunakan untuk mempertajam interpretasi geologi dan dikorelasikan dengan nilai resistivitas hasil pengujian ERT untuk mendapatkan interpretasi perlapisan tanah yang lebih baik, sehingga model lapisan permukaan tanah dapat menjadi lebih baik dan dapat mendekati keadaan yang lebih faktual. Data uji pemboran yang minim pada lokasi terjadinya longsoran, tidak dapat dipaksakan untuk menggambarkan model dari lapisan tanah, karena model yang dibuat akan memiliki ketebalan yang sama untuk setiap lapisan.



Gambar 11. Hasil *back analysis* statis ketika kondisi longsoran.



Gambar 12. Hasil analisis lereng setelah pergerakan tanah.

Hasil *back analysis* yang dilakukan menunjukkan keterkaitan yang baik antara pemodelan dengan data ERT dengan pergerakan tanah yang telah terjadi. Dengan pengujian ERT, dapat diketahui bidang gelincir sehingga dapat dilakukan mitigasi pergerakan lereng dengan tepat. Dengan model perlapisan tanah hasil rekonstruksi sebagai input untuk melakukan back analysis untuk kondisi pembebanan statis yang menghasilkan kedalaman zona kritis pada kedalaman kurang dari 10,43 m. Kedalaman tersebut didapatkan pada saat nilai faktor aman lereng dari longsor sebesar 1,202. Nilai faktor aman lereng akan turun di bawah 1,0 jika terjadi kenaikan muka air tanah pada saat hujan, dengan nilai faktor aman menjadi 0,987. Pada saat nilai faktor aman < 1 , dipastikan kondisi lereng sudah mengalami longsor.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheng, Y. M., dan Lau, C.K. (2014). *Slope Stability Analysis and Stabilization*. CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Fadh, G. A., Suryo, E. A., dan Rachmansyah, A. (2016). *Penerapan Metode Electrical Resistivity Tomography (ERT) untuk Mengetahui Bidang Longsor pada Model Lereng*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Vol. 1, No. 2.
- Goncalves, J. T. D., Botelho, M. A. B., Machado, S. L., dan Netto, L. G. (2021). *Correlation between field electrical resistivity and geotechnical SPT blow counts at tropical soils in Brazil*. Environmental Challenges Vol. 5. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100220>
- Hasan, M., Shang, Y., Jin, W. J., dan Akhter, G. (2020). *An engineering site investigation using non-invasive geophysical approach*. Environ. Earth Sci. 79, 265. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09013-3>.
- Imani, P., Tiang, G., Hadiloo, S., dan El-Raouf, A. A., 2020. *Application of combined electrical resistivity tomography (ERT) and seismic refraction tomography (SRT) methods to investigate Xiaoshan District landslide site: Hangzhou, China*. Journal of Applied Geophysics Vol.184, 104236. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104236>.
- Kumalasari, H., Koestoer, R.H., dan Hasibuan, H.S. (2019). *Disaster Risk Mitigation of Landslide for Sustainability of Geothermal Production in Bandung Regency, West Java Province, Indonesia*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 256 012020. doi:10.1088/1755-1315/256/1/012020.
- Lakshmi, R. (2021). *Study on Soil Investigation Practices among Local Residential Construction Works*. EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR). Vol. 7, Pp 45-49. DOI: 10.36713/epra2013.
- Loke, M. H., Frankcombe, K. dan Rucker, D. F. (2013). *The inversion of data from complex 3-D resistivity and I.P. surveys*. ASEG Extend. Abstr. 1-4. <https://doi.org/10.1071/ASEG2013ab079>
- Maharani, I., Faresi, T. A. Z., Sari R. S., dan Sugiyanto, D. (2018). *Identifikasi Daerah Rawan Longsor Dengan Metode Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger di Kawasan Desa Meunasah Krueng Kala, Aceh Besar*. J. Aceh Phys. Soc., Vol.7, No.3 pp. 139-143, 2018.
- Nurseto, S.T., Satriani, R.A.J., Thamrin, M.H., dan Suryantini, N. (2021). *Productive Structural Geology in Volcanogenic System: A Case Study of Geothermal Lumut Balai Field, Indonesia*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, Vol. 732, 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/732/1/012013>.
- Nurwahyudin, D. S., dan Harmoko, U. (2020). *Pemanfaatan dan Arah Kebijakan Perencanaan Energi Panas Bumi di Indonesia Sebagai Keberlanjutan Maksimalisasi Energi Baru Terbarukan*. Jurnal Energi Baru dan Terbarukan, Vol. 1, No. 3, Pp. 111 - 123. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10032>.
- Perrone, A., Lapenna, V., dan Piscitelli, S. (2014). *Electrical resistivity tomography technique for landslide investigation: A review*. Earth-Science Reviews, Vol. 135, Pp. 65-82. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.04.002>
- Witter, J.B., Trainor-Guitton, W.J., Siler, D.L. (2019). *Uncertainty and risk evaluation during the exploration stage of geothermal development: A review*. Geothermics, Vol. 78, Pp. 233 - 242, <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2018.12.011>.