



Analisis Resiko Longsor Di Desa Garapia Menggunakan Electrical Resistivity Tomography (ERT) Untuk Identifikasi Kedalaman Bidang Gelincir

Gita Triyana Risti Katili^a, Yayu Indriati Arifin^{b*}, Ahmad Zainuri^c

^{abc}Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo

*email: yayu_arifin@ung.ac.id

ARTICLE INFO

Sejarah artikel:

Diterima: 05 April 2024

Direvisi: 10 Mei 2024

Diterima : 30 Juni 2024

Keywords: Longsor, Geolistrik, Garapia, Stratigrafi, struktur

How to cite this article:

Katili, G. T. R., Arifin, Y. I., Zainuri, A. (2024). Analisis Resiko Longsor di Desa Garapia Menggunakan Electrical Resistivity Tomography (ERT) untuk Identifikasi Kedalaman Bidang Gelincir. Journal of Applied Geoscience and Engineering, 3(1), 35-45. <https://doi.org/10.34312/Jage.v3.i3.26910>

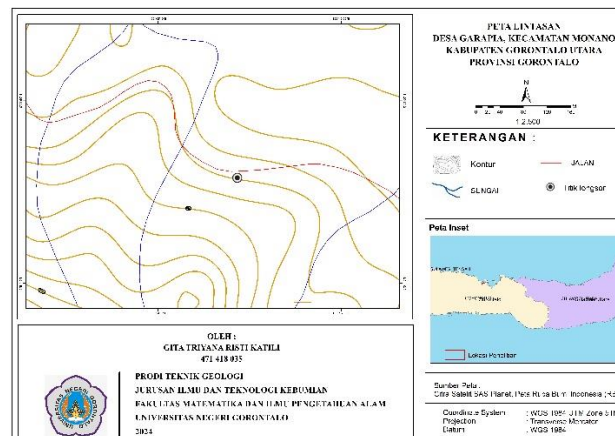
ABSTRACT

This study explores the geological conditions and the depth of landslide slip surfaces in Garapia Village, North Gorontalo Regency, using Electrical Resistivity Tomography (ERT). By analyzing stratigraphy and geoelectrical data, the research aims to provide a comprehensive understanding of subsurface structures and their implications for landslide risks. Stratigraphic analysis reveals two primary geological units: weathered basalt, characterized by its grayish-black color, and alluvial deposits, indicating ongoing sedimentation. Structural analysis shows a Northeast-Southwest alignment, reflecting tectonic influences that may impact slope stability. ERT measurements identify three subsurface layers with varying resistivities: soil (10.6 – 783 Ωm), basalt (783 – 41,867 Ωm), and andesite (41,867 – 244,307 Ωm). A significant slip surface detected at depths of 9.85 to 18.7 meters shows low resistivity (4.75 – 48.1 Ωm), suggesting clay that is prone to landslides. The study highlights ERT's effectiveness in accurately identifying slip surface depths, offering valuable insights for landslide risk assessment and mitigation. This approach provides enhanced precision compared to traditional methods, thus improving disaster planning and risk management.

1. PENGANTAR

Indonesia dikenal dengan potensi bencana alam yang tinggi, yang merupakan cerminan dari dinamika geologis dan morfologis negara ini. Dinamika lempeng bumi yang intensif membentuk berbagai bentuk relief permukaan, termasuk pegunungan dengan lereng curam yang berpotensi menyebabkan longsor, serta wilayah pesisir yang rentan terhadap banjir, penurunan tanah, dan tsunami (Arifin & Kasim, 2012; Permana, 2014; Lihawa et al., 2021). Longsor merupakan masalah signifikan di daerah dengan kondisi morfologi dan geologi tertentu, seperti pada ruas jalan di daerah pegunungan. Jalan yang terletak di kelereng curam atau di atas material yang tidak stabil dan zona patahan berisiko tinggi terhadap longsor. Hujan lebat dapat meningkatkan tegangan geser dan menurunkan kekuatan geser material pembentuk lereng, memperbesar risiko longsor (Yilmaz, 2011). Selain faktor alam, peningkatan beban lalu lintas dan perubahan tutupan lahan juga berkontribusi pada terjadinya longsor.

Kabupaten Gorontalo Utara, khususnya Kecamatan Monano dan Desa Garapia, termasuk dalam kategori daerah rawan longsor. Data informasi bencana Indonesia (DIBI) menunjukkan bahwa daerah ini sering mengalami longsor, terutama selama musim hujan. Pada awal tahun 2022, banjir dan longsor di Desa Garapia menyebabkan kerusakan signifikan pada infrastruktur jalan. Desa Garapia terletak di sebelah timur Kota Gorontalo pada koordinat N 0°51'47.6" E 122°43'11.6". Daerah ini secara administratif termasuk dalam Kabupaten Monano, Gorontalo Utara, yang memiliki luas 1.777,022 km². Mengingat kondisi topografi yang berada di bawah pegunungan, wilayah ini sangat rentan terhadap bencana alam.



Gambar 1. Lokasi penelitian, desa Garapia kecamatan Monano, kabupaten Gorontalo utara, provinsi Gorontalo

Oleh karena itu, penting untuk melakukan penelitian guna memahami kondisi geologi dan kedalaman bidang gelincir di Desa Garapia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi geologi daerah penelitian dan menentukan kedalaman bidang gelincir longsor menggunakan metode Electrical Resistivity Tomography (ERT). Identifikasi kondisi geologi akan memberikan informasi dasar mengenai struktur bawah permukaan, sedangkan pemetaan bidang gelincir menggunakan ERT akan membantu dalam memahami kedalaman dan distribusi bidang longsor, yang penting untuk upaya mitigasi dan penanggulangan bencana di masa mendatang.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengidentifikasi kondisi geologi di Desa Garapia, dan (2) Menentukan kedalaman bidang gelincir longsor dengan menggunakan metode Electrical Resistivity Tomography (ERT). Hal ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pemahaman geologi dan risiko longsor di wilayah tersebut serta mendukung upaya mitigasi bencana di masa depan.

2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan sistematis untuk menjamin validitas dan reliabilitas hasil yang diperoleh. **Tahap pertama** adalah persiapan, yang meliputi studi literatur untuk mengumpulkan informasi terkait dengan lokasi penelitian. Literatur yang dikaji mencakup referensi geologi, peta topografi, dan studi sebelumnya tentang longsor di daerah Garapia (Arifin & Kasim, 2021; Bachri, 2011; Bemmelen, 1949). Informasi ini membantu dalam memahami konteks geologi dan memberikan dasar untuk perencanaan lapangan. Selain itu, pembuatan peta topografi dilakukan dengan memanfaatkan data sekunder dan pemetaan awal untuk menentukan lokasi pengamatan dan pengukuran yang tepat (Badan Pusat Statistik, 2023).

Tahap kedua adalah penelitian lapangan. Pada tahap ini, observasi langsung dilakukan untuk menilai kondisi geologi di lapangan, mencakup litologi, geomorfologi, dan struktur geologi (Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996; Moody & Hill, 1956). Pengamatan ini termasuk

pengambilan sampel batuan untuk analisis lebih lanjut di laboratorium. Selanjutnya, dilakukan pengukuran geolistrik menggunakan metode Electrical Resistivity Tomography (ERT). Pengukuran dilakukan sepanjang bentangan 100 meter di area penelitian dengan memasang elektroda secara sistematis untuk mendapatkan data resistivitas tanah pada berbagai kedalaman (Telford et al., 1990; Perrone et al., 2012).

Setelah data dikumpulkan, **tahap ketiga** adalah analisis dan pengolahan data. Proses ini melibatkan analisis petrologi dan petrografi untuk mengidentifikasi jenis dan karakteristik batuan yang diambil (Zakaria, 2015). Selanjutnya, data resistivitas dari ERT diolah untuk menentukan nilai resistivitas bawah permukaan. Interpretasi data ini memungkinkan identifikasi struktur geologi dan kedalaman bidang gelincir longsor. Hasil dari proses ini disajikan dalam bentuk peta lintasan, peta geologi, peta geomorfologi, dan penampang 2D, yang membantu dalam visualisasi struktur bawah permukaan dan lokasi potensi longsor (Sujarwo, 2016; Lihawa et al., 2021).

Untuk memastikan **validitas dan reliabilitas** hasil penelitian, langkah-langkah berikut diambil. Pertama, pengecekan kualitas data dilakukan dengan cara memverifikasi akurasi dan konsistensi data yang dikumpulkan, termasuk kalibrasi alat dan perbandingan dengan data dari studi sebelumnya (Permana, 2014; Zainuri & Kasim, 2018). Selain itu, benchmarking dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian dengan hasil dari penelitian sebelumnya untuk memastikan kesesuaian dan validitas hasil. Proses ini juga melibatkan replikasi pengukuran di beberapa titik untuk memastikan konsistensi dan mengurangi kemungkinan kesalahan sistematis. Dengan langkah-langkah ini, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan hasil yang valid dan dapat diandalkan, yang dapat digunakan sebagai dasar untuk studi lebih lanjut atau aplikasi praktis dalam mitigasi bencana.

3. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Penelitian dan Interpretasi

Penelitian ini berfokus pada dua tujuan utama: (1) mengidentifikasi kondisi geologi di Desa Garapia, dan (2) menentukan kedalaman bidang gelincir longsor menggunakan metode Electrical Resistivity Tomography (ERT). Penjelasan hasil penelitian ini disusun dengan menghubungkan antara data stratigrafi, struktur geologi, dan hasil analisis geolistrik serta memberikan interpretasi dan pembahasan yang mendalam sesuai dengan referensi yang ada.

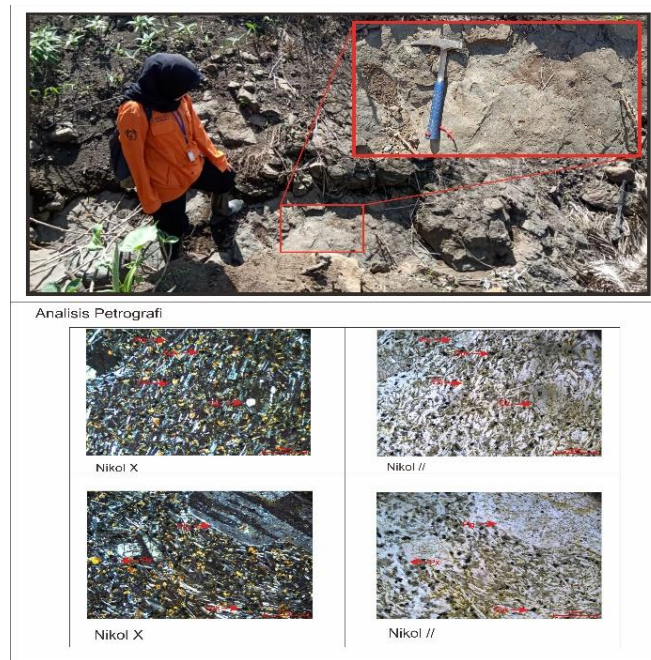
1. Identifikasi Kondisi Geologi di Desa Garapia

Stratigrafi Daerah Penelitian:

Berdasarkan **Sandi Stratigrafi Indonesia (1996)**, daerah penelitian di Desa Garapia ditentukan memiliki dua satuan batuan utama, yaitu satuan basalt dan satuan endapan alluvial.

1. Satuan Basalt:

- **Ciri Litologi:** Secara megaskopis, batuan ini berwarna abu-abu kehitaman dengan tingkat kristalin hipokristalin dan gelas sebagian. Struktur kristalnya termasuk subhedral dengan granularitas forfiritik, mengindikasikan bahwa basalt ini telah mengalami pelapukan. Batuan ini terdiri dari plagioklas, hornblende, olivin, piroksen, dan kuarsa.



Gambar 2. Singkapan batuan basalt dan kenampakan sayatan tipis

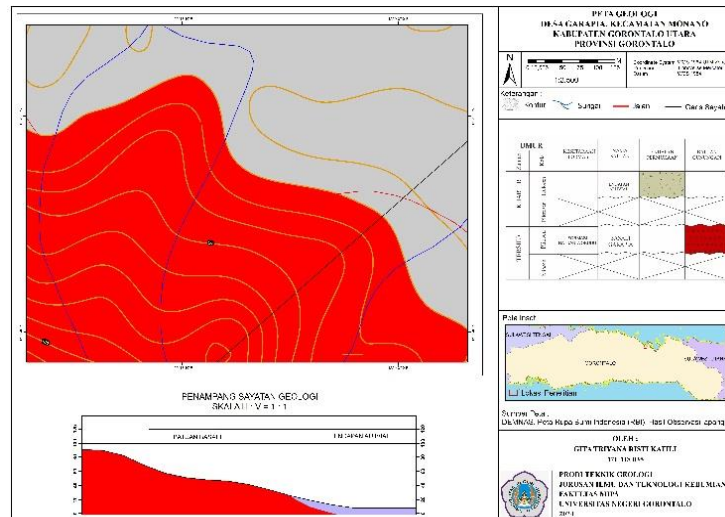
- **Interpretasi:** Batuan basalt ini menggambarkan aktivitas vulkanik yang relatif lama dan telah mengalami proses pelapukan. Kehadiran mineral seperti olivin dan piroksen, bersama dengan tekstur holokristalin, menunjukkan bahwa batuan ini mengalami proses pembekuan dari magma dengan komposisi mineral yang khas untuk basalt (Bachri, 2011; Telford et al., 1990).

2. Satuan Endapan Alluvial:

- **Ciri Litologi:** Terdiri dari material lepas dengan ukuran bervariasi, dari pasir halus hingga bongkah batuan, hasil dari erosi dan sedimentasi. Endapan ini dikategorikan sebagai satuan termuda yang terkait dengan proses aluvium Holosen yang masih berlangsung.
- **Interpretasi:** Endapan alluvial menunjukkan lingkungan sedimentasi aktif di masa kini, yang sering terkait dengan proses hidrologi dan geomorfologi yang dapat mempengaruhi risiko longsor (Zakaria, 2015).



Gambar 3. Endapan Alluvial

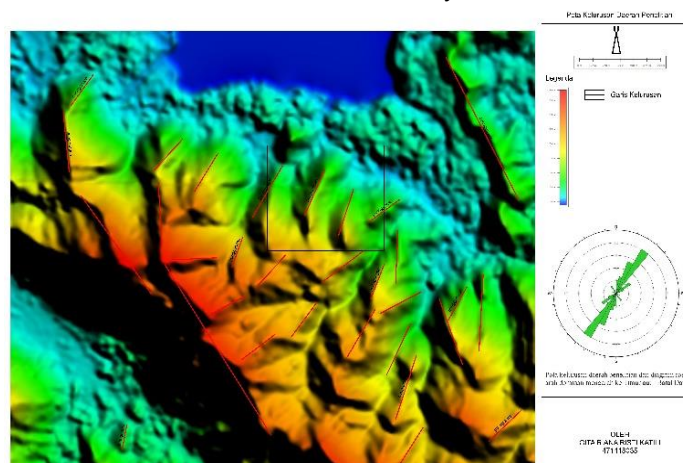


Gambar 4. Peta Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian menunjukkan distribusi dan batasan satuan batuan ini secara visual, membantu dalam memahami sebaran geologi di area penelitian.

1. Struktur Geologi Daerah Penelitian:

Analisis lineament dari data DEMNAS menunjukkan bahwa kelurusan punggung daerah penelitian memiliki arah umum Timur Laut dan Barat Daya.



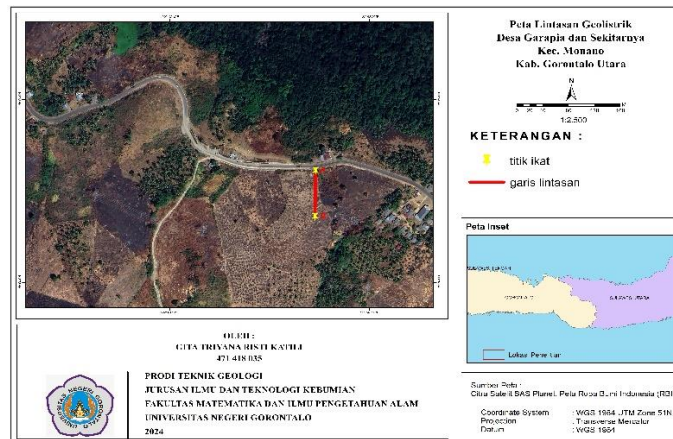
Gambar 5. Pola kelurusan daerah penelitian

- **Interpretasi:** Struktur geologi ini kemungkinan besar merupakan hasil dari tektonik regional yang lebih besar, seperti aktivitas patahan dan lipatan yang dapat mempengaruhi stabilitas lereng dan potensi longsor. Patahan dan kelurusan ini sering kali terkait dengan area berisiko tinggi terhadap longsor dan pergerakan tanah (Hamilton, 1979; Moody & Hill, 1956).

2. Penentuan Kedalaman Bidang Gelincir Longsor

Hasil dan Interpretasi Geolistrik:

Pengambilan data dilakukan pada lintasan A-B sepanjang 100 meter, dengan hasil analisis geolistrik yang menunjukkan distribusi resistivitas tanah bawah permukaan.



Gambar 6. Peta Pengambilan data geolistrik

Table 1 Nilai Resistivitas batuan

Nilai	Nama Batuan
10.6 – 783	Alluvium
783 – 41.867	Basalt
41.867 – 244.307	Andesit

1. **Lapisan Pertama:**

- **Nilai Resistivitas:** 10.6 – 783 Ω m (warna biru tua hingga biru muda), kedalaman 1.25 hingga 6.38 meter.
- **Interpretasi:** Ini diidentifikasi sebagai tanah (soil), yang merupakan lapisan permukaan yang umumnya memiliki nilai resistivitas rendah karena kandungan air dan organik yang tinggi (Todd & Mays, 2005).

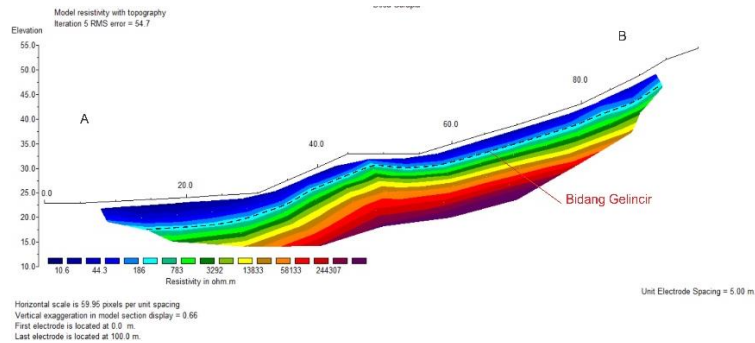
2. **Lapisan Kedua:**

- **Nilai Resistivitas:** 783 – 41.867 Ω m (warna hijau hingga merah), kedalaman 9.26 hingga 12.4 meter.
- **Interpretasi:** Batuan basalt, dengan nilai resistivitas yang relatif tinggi, menunjukkan bahwa lapisan ini terdiri dari material padat dan kurang permeabel. Resistivitas tinggi ini sesuai dengan nilai yang biasa ditemukan pada basalt yang belum sepenuhnya mengalami pelapukan (Telford et al., 1990).

3. **Lapisan Ketiga:**

- **Nilai Resistivitas:** 41.867 – 244.307 Ω m (warna coklat hingga ungu), kedalaman 15.9 meter.
- **Interpretasi:** Batuan andesit, dengan resistivitas sangat tinggi, menunjukkan material padat dan lebih resistif terhadap aliran listrik. Batuan andesit ini dapat menjadi komponen stabil yang membantu dalam struktur geologi (Bemmelen, 1949).

Penampang Resistivitas Lintasan A-B



Gambar 7. Hasil penampang yang menunjukkan keterdapatannya adanya bidang gelincir

Menunjukkan adanya perlapisan bidang gelincir pada kedalaman 9,85 hingga 18,7 meter dari permukaan, dengan nilai resistivitas 4,75 – 48,1 Ω m berupa lempung.

- **Interpretasi:** Bidang gelincir ini menunjukkan adanya potensi risiko longsor pada kedalaman yang signifikan. Lempung yang memiliki nilai resistivitas rendah adalah material yang sering kali menjadi penyebab longsor, karena kemampuannya menyimpan dan mengalirkan air, yang berpotensi mengurangi kekuatan geser tanah (Permana, 2014; Sujarwo, 2016).

B. Diskusi dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk memahami kondisi geologi dan potensi longsor di Desa Garapia melalui analisis stratigrafi dan geolistrik. Di bawah ini disajikan pembahasan yang menghubungkan data hasil penelitian dengan interpretasi serta bagaimana setiap bagian informasi saling terkait.

Identifikasi Kondisi Geologi di Desa Garapia

Stratigrafi Daerah Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa geologi di Desa Garapia terdiri dari dua satuan batuan utama: basalt dan endapan alluvial. Satuan basalt, yang digambarkan pada Gambar 2, adalah batuan vulkanik dengan ciri-ciri megaskopis seperti warna abu-abu kehitaman dan struktur kristal hipokristalin. Ini menandakan bahwa batuan ini terbentuk dari lava yang telah mendingin. Dalam pengamatan mikroskopis, batu basalt terdiri dari plagioklas, olivin, dan piroksen, yang merupakan mineral khas lava basaltik (Bachri, 2011).

Endapan alluvial, yang ditunjukkan pada Gambar 3, merupakan satuan termuda di daerah penelitian. Endapan ini terdiri dari material lepas seperti pasir hingga bongkah batuan yang terbentuk dari proses erosi dan sedimentasi. Material ini menunjukkan bahwa proses sedimentasi masih berlangsung dan berperan penting dalam geomorfologi lokal (Zakaria, 2015).

Analisis Stratigrafi: Ketersediaan lapisan basalt di bawah endapan alluvial menunjukkan urutan geologi yang mempengaruhi stabilitas tanah. Basalt yang lebih padat dan stabil berada lebih dalam, sementara endapan alluvial yang lebih labil terletak di permukaan. Interaksi antara kedua satuan ini dapat mempengaruhi potensi longsor, terutama saat material alluvial terkena curah hujan tinggi.

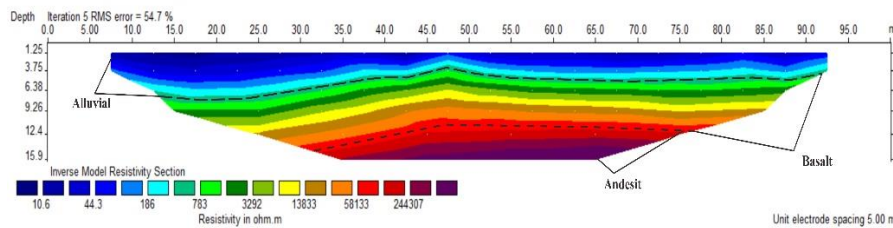
Struktur Geologi Daerah Penelitian

Analisis lineament dari data DEMNAS menunjukkan pola kelurusan Timur Laut-Barat Daya (Gambar 5). Struktur ini mengindikasikan adanya tektonik regional yang dapat mempengaruhi stabilitas lereng. Kelurusan ini kemungkinan berhubungan dengan aktivitas patahan atau

lipatan yang dapat meningkatkan risiko longsor, terutama jika dikombinasikan dengan endapan alluvial yang cenderung labil (Hamilton, 1979).

Keterkaitan Struktur Geologi: Struktur geologi yang mengikuti pola kelurusan Timur Laut-Barat Daya dapat menandakan adanya kelemahan struktural dalam batuan yang berpotensi menjadi bidang gelincir. Aktivitas tektonik ini dapat mengubah arah dan stabilitas lereng, berkontribusi pada risiko longsor di daerah dengan endapan alluvial.

Penentuan Kedalaman Bidang Gelincir Longsor Hasil dan Interpretasi Geolistrik



Gambar 8. Hasil pengolahan 2D yang menunjukkan batas lapisan batuan daerah penelitian

Data geolistrik yang diperoleh dari hasil pengolahan 2D menunjukkan adanya tiga lapisan utama berdasarkan nilai resistivitas yang berbeda:

1. Lapisan Tanah (Soil):

- o Nilai resistivitas antara 10.6 – 783 Ωm , terletak pada kedalaman 1.25 hingga 6.38 meter. Resistivitas rendah pada lapisan ini menunjukkan kandungan air dan material organik yang tinggi. Tanah ini adalah lapisan yang sangat rentan terhadap pergerakan tanah karena kemampuannya menyerap dan menyimpan air, yang dapat menyebabkan peningkatan beban pada lereng (Todd & Mays, 2005).

2. Lapisan Batuan Basalt:

- o Nilai resistivitas 783 – 41.867 Ωm , terletak pada kedalaman 9.26 hingga 12.4 meter. Batuan basalt memiliki resistivitas yang lebih tinggi, menandakan material yang lebih padat dan kurang permeabel. Lapisan ini berfungsi sebagai stabilizer dan penguat struktur geologi bawah permukaan (Telford et al., 1990).

3. Lapisan Batuan Andesit:

- o Nilai resistivitas 41.867 – 244.307 Ωm pada kedalaman 15.9 meter menunjukkan material batuan andesit. Resistivitas yang sangat tinggi mengindikasikan material padat yang dapat berfungsi sebagai dasar stabil di bawah basalt (Bemmelen, 1949).

Penampakan Bidang Gelincir Longsor

Hasil analisis menunjukkan adanya bidang gelincir pada kedalaman 9,85 hingga 18,7 meter dengan resistivitas 4,75 – 48,1 Ωm , yang mengindikasikan adanya lempung (Gambar 9). Resistivitas rendah pada lempung menunjukkan material yang sangat rentan terhadap perubahan kelembaban, yang sering kali menjadi penyebab longsor.

Keterkaitan dengan Kondisi Geologi dan Struktur Geologi: Bidang gelincir ini berlokasi di antara lapisan tanah dan batuan basalt, menunjukkan bahwa lempung dengan resistivitas rendah berada di kedalaman yang dapat menyebabkan ketidakstabilan lereng jika kadar air meningkat. Kombinasi lempung yang labil dengan struktur geologi yang menunjukkan kelurusan patahan atau lipatan dapat mempengaruhi potensi longsor secara signifikan (Permana, 2014; Sujarwo, 2016).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan wawasan mendalam mengenai kondisi geologi dan potensi longsor di Desa Garapia dengan menggabungkan analisis stratigrafi dan geolistrik. Berdasarkan temuan yang diperoleh, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Identifikasi Kondisi Geologi: Daerah penelitian di Desa Garapia terdiri dari dua satuan batuan utama: basalt dan endapan alluvial. Satuan basalt, yang teridentifikasi sebagai batuan vulkanik dengan ciri khas warna abu-abu kehitaman dan tekstur hipokristalin, merupakan lapisan yang lebih stabil. Berdasarkan analisis mikroskopis, batuan basalt ini mengandung plagioklas, olivin, dan piroksen, yang menegaskan sifatnya sebagai batuan beku. Di atas basalt, terdapat endapan alluvial yang terdiri dari material lepas seperti pasir dan bongkah batuan hasil proses sedimentasi, menunjukkan bahwa endapan ini merupakan satuan yang lebih muda dan terus berkembang. Struktur geologi di daerah ini mengikuti pola kelurusan Timur Laut-Barat Daya, yang mengindikasikan adanya aktivitas tektonik yang dapat mempengaruhi stabilitas lereng.

2. Penentuan Kedalaman Bidang Gelincir Longsor: Melalui analisis geolistrik pada lintasan A-B, ditemukan tiga lapisan utama dengan nilai resistivitas yang berbeda. Lapisan tanah, dengan resistivitas rendah, terletak pada kedalaman 1,25 hingga 6,38 meter. Lapisan ini menunjukkan material tanah yang sangat rentan terhadap pergerakan tanah akibat kandungan air dan material organik. Di bawahnya, lapisan batuan basalt memiliki resistivitas menengah dan terletak pada kedalaman 9,26 hingga 12,4 meter, menunjukkan kestabilan yang relatif lebih tinggi. Lapisan paling dalam, yaitu batuan andesit dengan resistivitas tinggi, berada pada kedalaman 15,9 meter dan berfungsi sebagai lapisan dasar yang stabil.

Analisis lebih lanjut mengidentifikasi adanya bidang gelincir pada kedalaman 9,85 hingga 18,7 meter, yang ditandai oleh lempung dengan resistivitas rendah. Lempung ini, dengan karakteristik yang sangat rentan terhadap perubahan kelembaban, menunjukkan potensi risiko longsor yang signifikan, terutama ketika dikombinasikan dengan lapisan tanah labil di atasnya.

Keterbatasan Penelitian: Penelitian ini menghadapi beberapa keterbatasan yang perlu dicermati. Metode geolistrik, meskipun efektif, memiliki batasan dalam hal resolusi kedalaman dan akurasi dalam mendeteksi batasan material yang sangat halus. Hasil inversi dengan error 57,7% mencerminkan ketidakpastian dalam model geolistrik yang dihasilkan. Selain itu, interpretasi resistivitas didasarkan pada tabel umum yang mungkin tidak sepenuhnya sesuai dengan kondisi lokal spesifik.

Rekomendasi untuk Penelitian Selanjutnya: Untuk mengatasi keterbatasan ini, disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan metode geofisika tambahan seperti seismik atau radar penembus tanah (GPR) untuk memperoleh data yang lebih rinci. Studi komparatif di area dengan kondisi geologi serupa juga dapat memberikan wawasan lebih luas mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng. Selain itu, pemantauan jangka panjang terhadap kondisi kelembaban tanah dan perubahan struktural perlu dilakukan untuk mengembangkan strategi mitigasi yang lebih efektif.

Implikasi Penelitian: Temuan dari penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk memahami risiko longsor di Desa Garapia. Dengan identifikasi yang jelas mengenai bidang gelincir dan karakteristik geologi, serta pemahaman tentang struktur bawah permukaan yang mempengaruhi stabilitas lereng, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk merancang strategi mitigasi bencana yang lebih baik. Implementasi hasil penelitian dalam perencanaan tata ruang dan kebijakan mitigasi bencana akan berkontribusi pada pengurangan risiko longsor dan peningkatan keselamatan masyarakat di masa depan.

5. REFERENSI

Arifin, Y. I., & Kasim, M. (2021). Penentuan zonasi daerah tingkat kerawanan banjir di Kota Gorontalo Provinsi Gorontalo untuk mitigasi bencana. *Jurnal Sainstek*, 6(06).

- Bachri, S. (2011). Zonasi rawan longsor daerah muara sungai Bone Kota Gorontalo, Provinsi Gorontalo. Universitas Negeri Gorontalo.
- Bachri, S., Sukido, & Ratman, N. (1993). Peta geologi lembar Tilamuta, Sulawesi skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Bemmelen, R. W. (1949). The geology of Indonesia (Vol. 1, No. 1). US Government Printing Office.
- Chaipimonplin, T. (2016). Global navigation satellite system in Thailand. In Proceedings of the ICOIRS (pp. 86-89). Yogyakarta, Indonesia: The 2nd International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing.
- Das, D. M., Singh, R., Kumar, A., Mailapalli, D. R., Mishra, A., & Chatterjee, C. (2016). A multi-model ensemble approach for stream flow simulation. In B. Panigrahi & M. R. Goyal (Eds.), Modeling methods and practices in soil and water engineering (pp. 72-102). CRC Press.
- DeVries, B. (2015). Monitoring tropical forest dynamics using Landsat time series and community-based data. PhD Thesis, Laboratory of Geoinformation Science and Remote Sensing, Wageningen University.
- Fu, Z. Y., Chen, H. S., Zhang, W., Xu, Q. X., Wang, S., & Wang, K. L. (2015). Subsurface flow in a soil mantled subtropical dolomite karst slope: A field rainfall simulation study. *Geomorphology*, 250, 1-14. doi: 10.1016/j.geomorph.2015.08.012.
- Hamilton, W. (1979). Tectonics of the Indonesian region. U. S. Geological Survey Professional Paper 1078.
- Holden, J. (2017). An introduction to physical geography and the environment (4th ed.). England: Pearson.
- Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia. (1996). Sandi Stratigrafi Indonesia. Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Bandung.
- Lihawa, F., Zainuri, A., Patuti, I. M., Permana, A. P., & Pradana, I. G. N. Y. (2021). The analysis of sliding surface in Alo watershed, Gorontalo District, Indonesia. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 3(447), 53-58.
- Moody, J. P., & Hill, M. J. (1956). Wrench-fault tectonics. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67, 1207-1426.
- Perrone, A., Sabatino, P., & Vincenzo, L. (2012). Electrical resistivity tomographies for landslide monitoring: A review. *Berichte Geology*. ISSN 1017-8880.
- Permana, A. P. (2014). Mitigasi bencana longsor jalan Sorong-Makbon Provinsi Papua Barat. *Jurnal Teknik*, 12(1), 45-46.
- Sujarwo, A. (2016). Identifikasi lapisan rawan longsor menggunakan metode geolistrik konfigurasi dipole-dipole di Desa Pendoworejo Kecamatan Girimulya Kabupaten Kulon Progo. Skripsi. Yogyakarta: Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.

-
- Telford, W. W., Geldard, L. P., Sherrif, R. E., & Keys, D. A. (1990). *Applied geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Todd, D. K., & Mays, L. (2005). *Groundwater hydrogeology*. John Wiley & Sons, Inc., Vol. 14, pp. 589–611.
- Travis, B. R. (1955). *The rock book*. Quarterly of The Colorado School of Mines.
- Van Zuidam, R. (1985). *Aerial photo interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. Smith Publisher The Hague, ITC.
- Varikoden, H., Revadekar, J. V., Choudhary, Y., & Preethi, B. (2015). Droughts of Indian summer monsoon associated with El Niño and non-El Niño years. *International Journal of Climatology*, 35, 1916–1925. doi: 10.1002/joc.4097.
- Zakaria, Z. (2015). *Analisis kestabilan lereng tanah*. Bandung: Universitas Padjajaran.
- United States Geological Survey. (2018, October 15). Science application for risk reduction. Retrieved from <https://www.usgs.gov/natural-hazards/science-application-risk-reduction>