



## MONITORING POTENSI TANAH LONGSOR MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DI DESA SAMANGKI KECAMATAN SIMBANG KABUPATEN MAROS

Andi Syam Rizal<sup>1\*</sup>, Jumardin<sup>2</sup>, Minarti<sup>3</sup>, Aryadi Nurfalqa<sup>4</sup>, Agussalim<sup>5</sup>

<sup>123</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

<sup>4</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains, Universitas Cokroaminoto Palopo

<sup>5</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Muslim Maros

\*Corresponding Address: andi.syamrizal@uin-alauddin.ac.id

### Info Artikel

#### Riwayat artikel

Dikirim: 4 Mei 2023

Direvisi : 30 Mei 2023

Diterima: 1 Juni 2023

#### Kata Kunci:

Desa Samangki

Resistivitas

Tanah longsor

#### DOI:

[10.24252/jpf.v11i2.37314](https://doi.org/10.24252/jpf.v11i2.37314)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui area rawan longsor menggunakan metode resistivitas di Desa Samangki Kecamatan Simbang Kabupaten Maros. Penelitian ini dilakukan di Desa Samangki Kecamatan Simbang Kabupaten Maros pada 5 titik di lereng jalur Maros – Bone. Pengukuran dilakukan untuk mendeteksi potensi tanah longsor menggunakan metode resistivitas konfigurasi wenner alpha. Data yang diperoleh berupa besar tegangan dan arus kemudian dianalisis melalui Software Microsoft Excel dan Res2DInv untuk mendapatkan penampang model 2-Dimensi. Hasil penampang 2-D digunakan untuk memperoleh struktur batuan di bawah permukaan bumi. Hasil penelitian menunjukkan adanya lapisan napal pasir, gamping pasir, dan gamping koral pada wilayah pengukuran yang merupakan bagian dari formasi tonasa batugamping. Adapun area yang rawan terjadi tanah longsor yaitu pada lintasan 2, lintasan 3, lintasan 4, dan lintasan 5, kecuali lintasan 1 yang masih didominasi oleh batuan yang memiliki nilai resistivitas tinggi dan mampu menahan area yang beresistivitas rendah di bagian atas lereng. Sedangkan ke 4 lintasan lainnya berada di area yang curam dan terindikasi adanya rekahan yang tersaturasi air sehingga berpotensi terjadi tanah longsor.

### ABSTRACT

This study aims to determine the area prone to landslides using the resistivity method in Samangki Village, Simbang District, Maros Regency. This research was conducted in Samangki Village, Simbang District, Maros Regency at 5 points on the slopes of the Maros – Bone route. Measurements were made to detect potential landslides using the Wenner alpha resistivity configuration method. The data obtained in the form of voltage and current were then analyzed using Microsoft Excel and Res2DInv software to obtain a cross-section of a 2-dimensional model. The results of the 2-D cross section are used to obtain the rock structure below the earth's surface. The results showed that there are layers of sandy marl, sandy limestone, and coral limestone in the measurement area which is part of the limestone tonnage

---

formation. The areas that are prone to landslides are on track 2, track 3, track 4, and track 5, except for track 1 which is still dominated by rocks that have high resistivity values and are able to withstand areas of low resistivity at the top of the slopes. While the other 4 tracks are in steep areas and there are indications of fractures saturated with water so there is a potential for landslides.

---

© 2023 The Author(s). Published by Department of Physics Education. Alauddin State Islamic University Makassar

---

## PENDAHULUAN

Tanah longsor merupakan perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran yang bergerak ke bawah atau keluar lereng. Proses terjadinya tanah longsor yaitu berupa air yang meresap ke dalam tanah dan akan menambah bobot tanah. Apabila air menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah lapuk di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng. Terjadinya tanah longsor disebabkan oleh gaya gravitasi pada lereng yang curam sebagai faktor utama dan faktor tambahan seperti curah hujan yang tinggi, penggunaan lahan yang kurang tepat, serta struktur geologi [1, 2].

Indonesia merupakan negara yang memiliki struktur geologi yang kompleks karena terletak di sebuah lingkaran atau cincin api di dunia. Cincin api itu merupakan lingkaran aktif bumi yang bisa bergerak sesuai dengan keadaan pada inti bumi. Karena hal tersebut menjadikan Indonesia memiliki banyak gunung api sehingga sering mengalami bencana alam, seperti gempa bumi, banjir, tsunami, dan bencana alam lainnya.

Gunung api memiliki siklus letusan masing-masing. Bahkan gunung api yang sudah tidak aktif dapat aktif kembali akibat getaran yang ditimbulkan oleh gunung api yang lain saat terjadi gempa vulkanik. Saat terjadi letusan, gunung tersebut mengeluarkan material yang dapat mempengaruhi berubahnya kondisi lingkungan di sekitarnya termasuk tanah menjadi lapuk.

Maka dari itu jenis tanah pelapukan yang sering dijumpai di Indonesia adalah hasil letusan gunung api. Tanah ini memiliki komposisi sebagian besar lempung dengan sedikit pasir dan bersifat subur. Tanah pelapukan yang berada di atas batuan kedap air pada perbukitan dengan kemiringan sedang hingga terjal berpotensi mengakibatkan tanah longsor pada musim hujan dengan curah hujan berkuantitas tinggi. Jika perbukitan tersebut tidak ada tanaman keras berakar kuat dan dalam, maka kawasan tersebut rawan bencana tanah longsor.

Di awal tahun 2021, jalur yang dilewati pengendara dari Makassar ke Bone telah terjadi longsor, tepatnya di Desa Samangki Kecamatan Simbang Kabupaten Maros

sekitar *fly over*. Akibatnya pengendara roda empat tidak bisa melalui jalur tersebut dan diminta untuk mengambil jalur alternatif yakni Buludua dari Kabupaten Barru. Beruntung disaat kejadian tidak memakan korban.

Beberapa faktor yang menyebabkan seringnya terjadi longsor di Kabupaten Maros yaitu kondisi geologi yang meliputi morfologi seperti perbukitan, struktur batuan yang menyusun serta tingkat curah hujan daerah tersebut. Berdasarkan catatan BPBD Kabupaten Maros korban bencana tanah longsor tertinggi di Kabupaten Maros yakni tahun 2013 mencapai 15 KK [3].

Pada penelitian sebelumnya masih di Kabupaten Maros tepatnya di Kecamatan Camba, telah dilakukan identifikasi terhadap beberapa titik yang rawan longsor menggunakan metode resistivitas. Hal ini dilakukan agar pemerintah dan masyarakat setempat melakukan mitigasi tanah longsor untuk menghindari malapetaka yang datang tiba-tiba [4].

Mitigasi tanah longsor perlu dilakukan dengan tepat karena banyaknya kerugian yang ditimbulkan. Undang-undang No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana menerangkan bahwa mitigasi merupakan suatu upaya untuk mengurangi risiko bencana baik melalui upaya fisik maupun sosial yang meliputi kemampuan masyarakat dalam menghadapi bencana alam [5].

Menurut Permendagri No. 33 Tahun 2006 ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam upaya mitigasi bencana, diantaranya adalah penyediaan informasi dan peta kawasan rentan bencana untuk setiap wilayah, sosialisasi untuk meningkatkan kewaspadaan dan kesadaran masyarakat dalam menghadapi bencana, memahami apa yang perlu dilakukan dan dihindari, mengetahui cara penyelamatan diri jika terjadi bencana, serta pengaturan dan penataan kawasan rentan bencana [6].

Dari beberapa peristiwa longsor di Kabupaten Maros maka perlu dilakukan monitoring kawasan rawan longsor menggunakan metode resistivitas untuk mengetahui struktur batuan dan memetakan bagian rawan longsor di Desa Samangki Kecamatan Simbang Kabupaten Maros. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui area rawan longsor menggunakan metode resistivitas di Desa Samangki Kecamatan Simbang Kabupaten Maros. Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi kepada pemerintah dan masyarakat sekitar terhadap kawasan yang berpotensi terjadinya tanah longsor di di Desa Samangki Kecamatan Simbang Kabupaten Maros.

## METODE

Penelitian ini dilakukan di Desa Samangki Kecamatan Simbang Kabupaten Maros pada 5 titik di lereng jalur Maros – Bone seperti pada gambar 1 yang berwarna merah. Adapun kondisi geologi di wilayah tersebut terdiri dari formasi tonasa batu gamping, sedangkan di sekitarnya terdapat formasi camba, endapan aluvium, batuan gunung api formasi camba, basal, dan beberapa sesar di sekitar titik pengukuran. Formasi tonasa merupakan batuan tertua yang terdiri dari batu gamping dan napal yang terbentuk pada Zaman Eosen sampai Miosen Tengah. Sedangkan formasi camba

adalah batuan sedimen yang terdiri atas batu pasir tufaan yang bersilangan dengan tufa, batu lanau, dan batuan vulkanik. Batuan sedimen ini terendap tidak bersesuaian menutupi formasi tonasa di laut dangkal pada Zaman Miosen tengah dan Akhir [7].

Pengukuran dilakukan untuk mendeteksi potensi tanah longsor menggunakan metode resistivitas konfigurasi wenner alpha. Untuk menentukan nilai resistivitas semu suatu batuan di bawah permukaan bumi, secara matematis dituliskan [8, 9]:

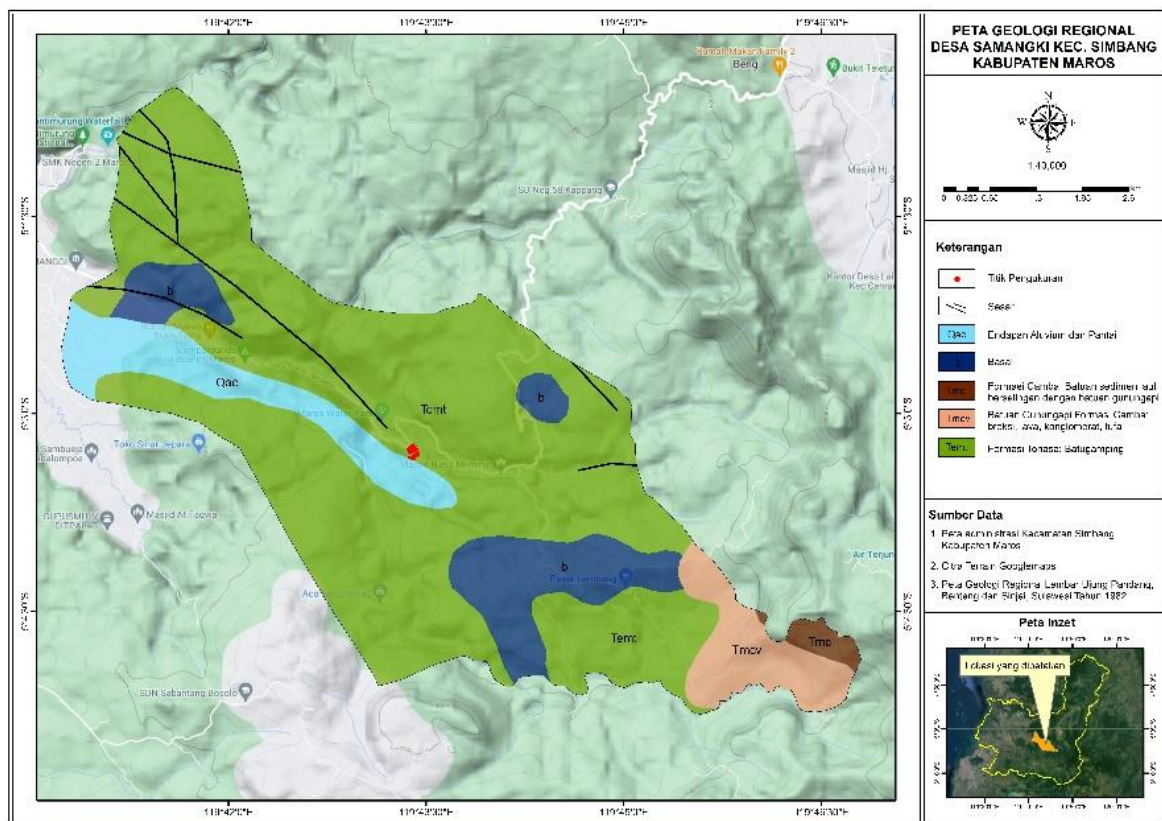
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \tag{1}$$

Dimana  $\rho_a$  = resistivitas semu ( $\Omega m$ ,  $V$  = tegangan (Volt),  $I$  = kuat arus (Ampere),  $K$  = konfigurasi yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan Konfigurasi Wenner, jadi besar  $K$  adalah [10, 11]:

$$K = 2\pi \cdot a \tag{2}$$

$$K = 2\pi \cdot \left( \frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_1 P_2} - \frac{1}{C_2 P_1} - \frac{1}{C_2 P_2} \right) \tag{3}$$

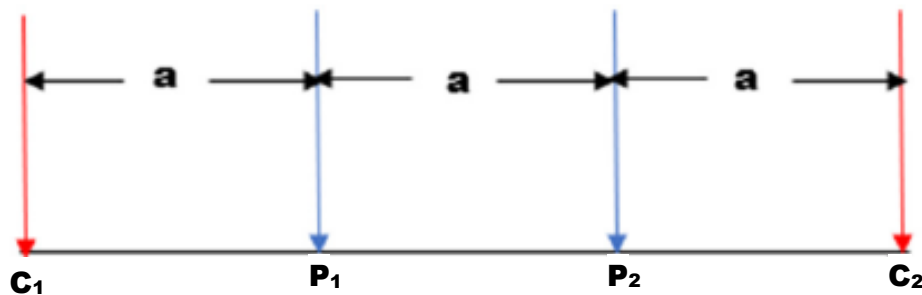
Dengan  $a$  merupakan jarak antara elektroda arus ( $C_1, C_2$ ) dengan elektroda potensial ( $P_1, P_2$ ).



Gambar 1. Lokasi penelitian di Desa Samangki Kecamatan Simbang Kabupaten Maros.

Desain susunan penempatan elektroda arus ( $C_1, C_2$ ) dan elektroda potensial ( $P_1, P_2$ ) dengan jarak yang sama setiap elektroda dapat dilihat pada gambar 2. Setelah dilakukan penyusunan elektroda maka alat resistivitas telah siap diinjeksikan ke bawah permukaan bumi. Panjang bentangan kabel yang digunakan adalah 120 meter dengan spasi terkecil 5 meter.





Gambar 2. Desain Konfigurasi Wenner Alpha [12].

Data yang diperoleh berupa besar tegangan dan arus kemudian dianalisis melalui *Software Microsoft Excel* dan *Res2DInv* untuk mendapatkan model 2-Dimensi. Model 2-D ini kemudian diinterpretasi menggunakan tabel resistivitas batuan untuk memperoleh struktur batuan di bawah permukaan bumi [13].

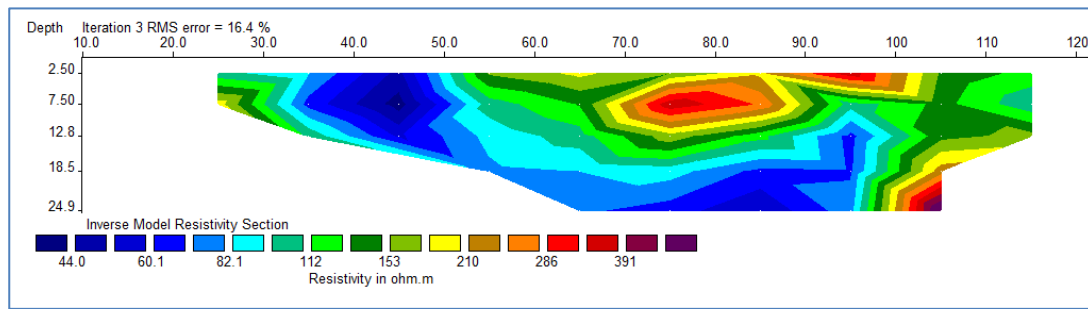
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data pada metode resistivitas akan menghasilkan nilai resistivitas semu, sehingga diperlukan proses inversi data pengukuran untuk mengestimasi nilai resistivitas sebenarnya. Secara umum, inversi resistivitas 2D menggunakan metode algoritma *Least Square Smoothness Constraint* selama proses inversi. Metode ini cocok untuk data yang mengandung noise terdistribusi normal (*Gaussian*). Standar *Smoothness-Constrain Least Square Inversion*, digunakan untuk zona dengan batas antar material cenderung bertahap atau tidak memiliki kontak yang tajam. Sehingga metode ini menghasilkan model bawah permukaan yang halus dan lebih mudah diinterpretasikan [14, 15].

Pada penelitian yang dilakukan di Desa Samangki terdapat 5 lintasan titik pengukuran dengan jarak antar lintasan 50 meter dan nilai resistivitas semu yang diperoleh berada pada rentang 44  $\Omega\text{m}$  – 3943  $\Omega\text{m}$ . Panjang lintasan maksimal 120 m dengan kedalaman yang diperoleh maksimal 24,9 meter. Hasil ini diperoleh dari penampang resistivitas 2D menggunakan *Software Res2DInv* dengan mendapatkan beberapa lapisan batuan di bawah permukaan sesuai formasi tonasa batugamping.

Pada lintasan 1 (Gambar 3) diperoleh *RMS Error* 16,4% dengan 3 kali iterasi. Adapun pada lintasan 1 diinterpretasikan menjadi 3 lapisan. Lapisan pertama merupakan napal pasiran dengan nilai resistivitas 44  $\Omega\text{m}$  - 70  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 18,5 meter. Lapisan kedua, terdapat gamping pasiran dengan nilai resistivitas 60,1  $\Omega\text{m}$  – 210  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 24,9 meter. Lapisan ketiga, terdapat gamping koral dengan nilai resistivitas 210  $\Omega\text{m}$  - 391  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 12,8 meter. Secara terperinci dapat dilihat pada tabel 1. Posisi lapisan napal pasiran berada di atas lereng, sedangkan gamping koral berada di bawah sehingga tampak kokoh menahan lapisan yang memiliki nilai

resistivitas rendah. Maka dari itu pada lintasan ini masih dalam kategori aman dan tidak berpotensi terjadinya tanah longsor.

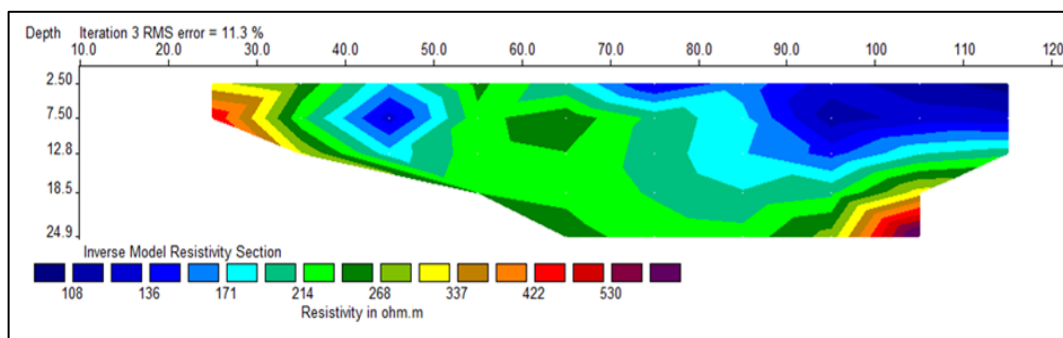


Gambar 3. Penampang resistivitas pada lintasan 1.

Tabel 1. Interpretasi lapisan batuan pada lintasan 1.

Lapisan Batuan	Ketebalan (meter)	Nilai Resistivitas ( $\Omega m$ )
Napal pasiran	18,5	44 - 60,1
Gamping pasiran	24,9	60,1 – 210
Gamping koral	12,8	210 – 391

Pada lintasan 2 (Gambar 4) diperoleh *RMS error* 11,3% dengan 3 kali iterasi diinterpretasikan menjadi 2 lapisan. Pada lapisan pertama diperoleh gamping pasiran dengan nilai resistivitas 108  $\Omega m$  – 214  $\Omega m$  dan ketebalan 18,5 meter. Sedangkan lapisan kedua merupakan gamping koral dengan nilai resistivitas 214  $\Omega m$  – 530  $\Omega m$  dan ketebalan 24,9 meter. Sebagian lapisan gamping koral berada di di atas lapisan gamping berpasir. Hal ini mengindikasikan adanya zona saturasi air tinggi, karena keberadaan air sebagai fluida pengisi pori yang berkontribusi pada penambahan massa lereng batuan, sehingga rawan terjadi longsor pada jarak 110 meter yang merupakan zona resistivitas rendah di bagian bawah lereng.



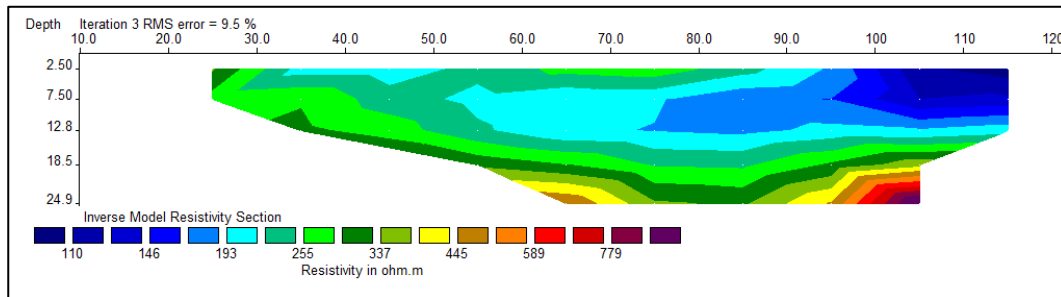
Gambar 4. Penampang resistivitas pada lintasan 2.

Tabel 2. Interpretasi lapisan batuan pada lintasan 2.

Lapisan Batuan	Ketebalan (meter)	Nilai Resistivitas ( $\Omega m$ )
Gamping pasiran	12,8	108 - 214
Gamping koral	24,9	214 - 530

Pada lintasan 3 hasil *RMS error* 9,5% dengan iterasi sebanyak 3 kali diinterpretasikan menjadi 2 lapisan. Pada lapisan pertama terdapat gamping pasiran yang memiliki nilai resistivitas 110  $\Omega m$  - 255  $\Omega m$  dan ketebalan 18,5 meter yang sama dengan lintasan 2. Sedangkan lapisan kedua yakni jenis gamping koral dengan nilai Monitoring Potensi Tanah Longsor Menggunakan Metode Resistivitas...

resistivitas 255 Ωm - 779 Ωm dan ketebalan 24,9 meter. Pada lintasan 3 ini zona resistivitas rendah berada pada jarak 110 meter. Pada bagian ini juga dapat mengakibatkan terjadinya longsor karena zona resistivitas rendah berada di bagian bawah lereng yang menahan massa lapisan resistivitas tinggi yang berada di atasnya.

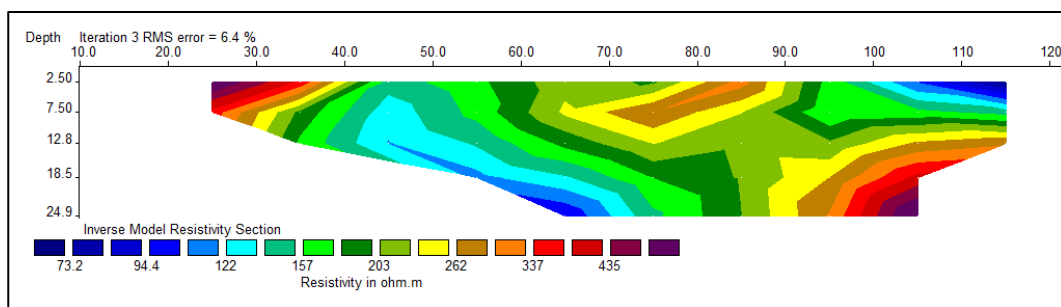


Gambar 5. Penampang resistivitas pada lintasan 3.

Tabel 3. Interpretasi lapisan batuan pada lintasan 3.

Lapisan Batuan	Ketebalan (meter)	Nilai Resistivitas (Ωm)
Gamping pasir	12,8	110 – 255
Gamping koral	24,9	255 – 779

Pada lintasan 4 (Gambar 6) hasil *RMS error* 6,4% dengan iterasi sebanyak 3 kali diinterpretasikan menjadi 2 lapisan. Lapisan pertama berisi gamping pasir yang memiliki nilai resistivitas 73,2 Ωm – 203 Ωm dengan ketebalan 7,5 meter. Pada jarak 45 meter juga ditemukan lapisan gamping pasir namun pada kedalaman 7,5 meter di bawah lapisan gamping koral. Sedangkan lapisan kedua yakni jenis gamping koral dengan nilai resistivitas 203 Ωm - 435 Ωm dan ketebalan 24,9 meter. Zona resistivitas rendah berada pada jarak 110 meter yang dapat mengakibatkan longsor karena berada di bagian area bawah lereng yang menahan massa lapisan resistivitas tinggi di bagian atas lereng.



Gambar 6. Penampang resistivitas pada lintasan 4.

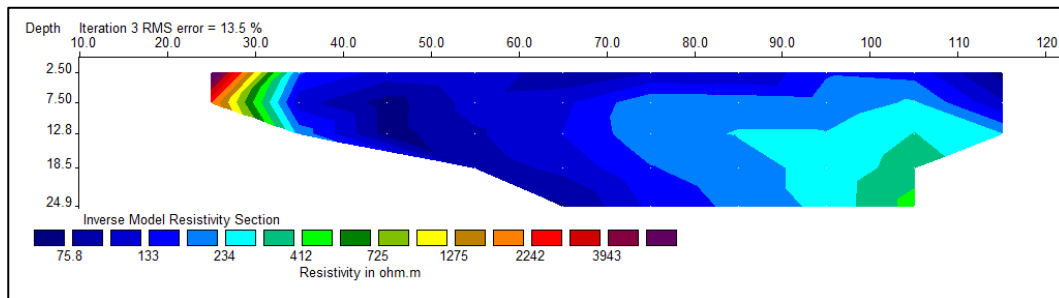
Tabel 4. Interpretasi lapisan batuan pada lintasan 4.

Lapisan Batuan	Ketebalan (meter)	Nilai Resistivitas (Ωm)
Gamping pasir	7,5	73,2 - 203
Gamping koral	24,9	203 - 435

Terakhir, pada lintasan 5 (Gambar 7) hasil *RMS error* 13,5% dengan 3 kali iterasi juga diinterpretasikan menjadi 2 lapisan, sama halnya dengan lintasan 2, lintasan 3, dan lintasan 4. Pada lapisan pertama merupakan gamping pasir yang memiliki nilai resistivitas 75,8 Ωm – 234 Ωm dan ketebalan 24,9 meter. Lapisan ini tampak



mendominasi lintasan 5. Sedangkan lapisan kedua berisi gamping koral dengan nilai resistivitas 234 Ωm - 3943 Ωm dan ketebalan 12,8 meter. Pada lintasan ini juga dicurigai area rawan longsor pada jarak 110 meter yang merupakan zona resistivitas rendah karena posisinya berada di bagian bawah lereng dan menahan massa lapisan resistivitas tinggi di bagian atas.



Gambar 7. Penampang resistivitas pada lintasan 5.

Tabel 5. Interpretasi lapisan batuan pada lintasan 5.

Lapisan Batuan	Ketebalan (meter)	Nilai Resistivitas (Ωm)
Gamping pasiran	24,9	75,8 – 234
Gamping koral	12,8	234 – 3943

Secara struktur geologi, letak lintasan pengukuran berada pada kemiringan lereng 45° sehingga sangat berpotensi terjadinya longsor. Selain itu, dengan adanya rekahan yang tersaturasi air, tentunya akan menambah massa lereng dan mengakibatkan area ini rawan longsor pada lintasan 2, lintasan 3, lintasan 4, dan lintasan 5. Area rawan longsor pada lintasan ini berada pada jarak 110 meter di bagian bawah lereng. Berbeda dengan lintasan 1 yang masih dapat menahan massa lapisan di bagian atas lereng, karena lapisan bawah lereng didominasi oleh lapisan yang memiliki nilai resistivitas tinggi.

Pada penelitian sebelumnya di Kecamatan Camba Kabupaten Maros tepatnya di bagian timur Kecamatan Simbang juga ditemukan beberapa area yang rawan longsor. Hal ini dikarenakan formasi batuan dan tingkat kecuraman lereng dengan Desa Samangki masih sama dengan Kecamatan Camba yang merupakan jalur kendaraan dari Kabupaten Maros menuju Kabupaten Bone. Pada penelitian ini masih perlu dilanjutkan dengan penelitian laboratorium untuk melihat struktur material yang terkandung pada batuan. Hal ini tentunya akan lebih menguatkan dari hasil kesimpulan yang diberikan terkait area rawan longsor pada suatu wilayah.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan adanya lapisan napal pasiran, gamping pasiran, dan gamping koral pada wilayah pengukuran yang merupakan bagian dari formasi tonasa batugamping. Adapun area yang rawan terjadi tanah longsor yaitu pada lintasan 2, lintasan 3, lintasan 4, dan lintasan 5, kecuali lintasan 1 yang masih didominasi oleh batuan yang memiliki nilai resistivitas tinggi dan mampu menahan lapisan yang resistivitas rendah di bagian atas lereng. Sedangkan ke 4 lintasan lainnya





juga berada di area yang curam dan terindikasi adanya rekahan yang tersaturasi air sehingga berpotensi terjadi tanah longsor.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Pengenalan Gerakan Tanah*. Jakarta, 2006.
- [2] Arsyad. U., Barkey. R., Wahyuni, dan Matandung. K. K, *Karakteristik Tanah Longsor di Daerah Aliran Sungai Tangka*. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*. Vol. 10 (1), 203- 214. doi: <http://dx.doi.org/10.24259/jhm.v0i0.3978>.
- [3] Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Maros, *Peta Rawan Longsor Kota Maros*. Cv. Kabupaten Maros, 2015.
- [4] Rahmaniah, Reskywijaya, A. S. Wahyuni, dan H. Jayadi, *Analisis Mineral Tanah Rawan Longsor Menggunakan Xray Diffraction Di Desa Sawaru Kabupaten Maros*. *Jambura Geoscience Review* Vol 2 (1): 41-49, 2020. DOI: 10.34312/jgeosrev.v2i1.2639.
- [5] Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penggulangan Bencana, (Lembaran Negara Tahun 2007 Nomor 66, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4723).
- [6] Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 33 Tahun 2006 Tentang Pedoman Umum Mitigasi Bencana. Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia.
- [7] Tim Penyusun Badan Geologi, *Laporan Tahunan Badan Geologi*. Cv. [www.bgl.esdm.go.id](http://www.bgl.esdm.go.id). Badan Geologi, 2018.
- [8] E Minarto, N N Christy, and A Ruchimat, *Identification of Groundwater Potential Using Wenner Configuration 2D Resistivity Method (Kupang, Nusa Tenggara Timur)*. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1805/1/012034.
- [9] Uttam Singh and Pramod Kumar Sharma, *Study on Geometric Factor and Sensitivity of Subsurface for Different Electrical Resistivity Tomography Arrays*. *Arabian Journal of Geosciences* 15:560, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09844-3>.
- [10] Augie, A.I., Saleh, M., Ologe, O., Salako, K.A., Rafiu, A.A., and Yahaya, M.N. *Correlation of 2D Electrical Resistivity and Self-potential Methods for The Assessment of The Integrity of Goronyo Dam NW Nigeria*. *CMUJ. Nat. Sci.* 21(3): e2022043, 2022. DOI: 10.12982/CMUJNS.2022.043.
- [11] K. Reichling, M. Raupach and N. Klitzsch, *Determination of The Distribution of Electrical Resistivity in Reinforced Concrete Structures using Electrical Resistivity Tomography*. *Journal of Materials and Corrosion* 2014, XXX, No. XXX. DOI: 10.1002/maco.201407763.
- [12] Kehinde D. Oyeyemi, Ahzegbobor P. Aizebeokhai, Mohamed Metwaly, Oluseun Omobulejo, Oluseun A. Sanuade, and Emmanuel E. Okon, *Assessing*

*The Suitable Electrical Resistivity Arrays for Characterization of Basement Aquifers Using Numerical Modeling.* Cv. Journal of Heliyon 8, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09427>.

- [13] Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheiff, R.E., *Applied Geophysics 2nd Edition*. Cambridge University, 1990.
- [14] Sholikha, K. A., dan Santosa, B. J. *Identifikasi Pola Persebaran Sumber Lumpur Bawah Tanah Pada Mud Volcano Gunung Anyar Rungkut Surabaya Menggunakan Metode Geolistrik*. Jurnal Sains dan Seni ITS, 5(1), B6-B10, 2016. DOI: 10.12962/j23373520.v5i1.15528.
- [15] Zakariah, L., Warnana, D. D., Widodo, A., dan Nefrizal, N., *Aplikasi Metode Seismik Refraksi Untuk Lintasan Terowongan Studi Kasus Wilayah "SMBR"*. Jurnal Geosaintek, 4(2), 29-34. DOI: 10.12962/j25023659.v4i1.