

IDENTIFIKASI LAPISAN BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK DI SEKITAR REMBESAN LUMPUR DI DESA BAKUSTULAMA, KECAMATAN TASIFETO BARAT, KABUPATEN BELU

Claudia Hendrika Putri Lau, Hery Leo Sianturi, Albert Zicko Johannes, Jehunias L. Tanesib
Progran Studi Fisika, Fakultas Sains Dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
Jln. Adi Sucipto, Penfui, Kota Kupang, 85111, Indonesia
E-mail: hlsianturi@staf.undana.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengidentifikasi lapisan bawah permukaan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner-Schlumberger. Penelitian ini bertujuan untuk memahami perlapisan batuan dan hidrogeologi di lokasi penelitian. Penelitian dilakukan dengan survei lapangan pada empat lintasan sepanjang 480 meter di Desa Bakustulama. Data resistivitas batuan diukur menggunakan alat resistivity meter dan dianalisis menggunakan perangkat lunak Res2DinV untuk menghasilkan model penampang 2D. Metode ini memanfaatkan resistivitas batuan untuk menentukan sifat dan perlapisan batuan di bawah permukaan, dengan fokus pada zona berpotensi jenuh air dan rekahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan bawah permukaan di Desa Bakustulama terdiri dari batu pasir di lapisan atas (0-20 meter) dengan resistivitas sedang (100-700 Ωm), diikuti oleh lapisan lempung yang sangat jenuh air dengan resistivitas rendah (0-100 Ωm), dan lapisan batu gamping dengan resistivitas tinggi (700-1000 Ωm). Lapisan bawah tanah di Daerah Bakustulama tersusun secara beragam, dengan lapisan batupasir di permukaan hingga kedalaman sekitar 20 meter yang diduga memiliki porositas tinggi sehingga mudah dialiri air. Di bawahnya, lapisan lempung yang jenuh air menjadi dominan dan sulit dilalui fluida.

Kata Kunci: Bakustulama; Geolistrik Resistivitas; Wenner-Schlumberger; Res2DinV.

Abstract

The study has been conducted to identify subsurface layers using the Wenner-Schlumberger geoelectric method. This research aims to understand the rock layering and hydrogeology at the research site. The research was conducted with a field survey on four 480-meter-long tracks in Bakustulama Village. Rock resistivity data was measured using a resistivity meter and analyzed using Res2DinV software to produce a 2D cross-sectional model. This method utilizes rock resistivity to determine the nature and layering of rocks in the subsurface, focusing on potentially water-saturated zones and fractures. The results show that the subsurface layer in Bakustulama Village consists of sandstone in the upper layer (0-20 meters) with medium resistivity (100-700 Ωm), followed by a highly water-saturated clay layer with low resistivity (0-100 Ωm), and a limestone layer with high resistivity (700-1000 Ωm). The subsoil in the Bakustulama Area is diversely arranged, with sandstone layers at the surface to a depth of about 20 meters that suspected to have high porosity and are easily drained by water. Underneath, water-saturated clay layers are dominant and difficult for fluids to pass through.

Keywords: Bakustulama; Resistivity Geoelectricity; Wenner-Schlumberge; Res2DinV.

PENDAHULUAN

Mud volcano, atau gunung lumpur adalah fenomena geologis dimana material berupa lumpur, gas, dan air keluar dari permukaan bumi. Fenomena ini biasanya terjadi di daerah dengan aktivitas geotermal atau tektonik yang tinggi [1]. Proses terbentuknya gunung lumpur dimulai dari adanya perubahan

tekanan atau perubahan kimia di bawah permukaan tanah. Hal ini dapat terjadi karena aktivitas tektonik, pergerakan lempeng bumi, atau keberadaan sumber air panas yang menimbulkan reaksi kimia dengan batuan di sekitarnya. Ketika gas tertentu terakumulasi di bawah permukaan tanah, maka dapat

mendorong material-material seperti lumpur dan pasir naik ke permukaan [2].

Salah satu *mud volcano* atau *gunung lumpur* di daerah Nusa Tenggara Timur adalah gunung lumpur yang berada di dataran pulau Timor di Desa Bakustulama, Kecamatan Tasifeto Barat, Kabupaten Belu. Gunung lumpur yang berada di daerah ini merupakan semburan lumpur vulkanik dengan temperatur rendah (dingin) [3].

Untuk mengetahui kondisi lapisan bawah permukaan pada daerah penelitian diperlukan identifikasi dengan metode geofisika. Salah satu metode geofisika yang digunakan adalah metode geolistrik untuk mendapatkan data bawah permukaan yang akurat [4]. Metode ini dilakukan dengan menginjeksikan arus ke dalam permukaan tanah sehingga dapat mengetahui nilai resistivitas (tahanan jenis) batuan di bawah permukaan [5]. Metode geolistrik merupakan teknik geofisika yang penting dalam pemetaan sifat-sifat batuan di bawah permukaan bumi. Salah satu parameter yang diukur dalam metode geolistrik adalah nilai tahanan jenis batuan (Resistivitas). Resistivitas adalah kemampuan suatu material untuk menghambat arus listrik yang melewatinya. Material dengan nilai resistivitas rendah memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, sedangkan material dengan nilai resistivitas tinggi memiliki konduktivitas listrik yang rendah. Dalam metode geolistrik, nilai tahanan jenis batuan menjadi penting karena dapat memberikan informasi tentang sifat-sifat batuan di bawah permukaan [6].

Penelitian tentang identifikasi lapisan bawah permukaan telah banyak dilakukan [7]. Metode geolistrik konfigurasi Wenner-Schlumberger sering digunakan dalam eksplorasi sumber mata air, sumber panas bumi, digunakan sebagai pendukung eksplorasi bahan-bahan tambang dan juga dapat mengidentifikasi keadaan struktur bawah permukaan [8].

METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data.

Pada penelitian ini sumber data yang digunakan yaitu data primer dari hasil pengukuran secara langsung di lokasi penelitian dengan menggunakan alat geolistrik berupa Resistivity meter IRES 300TF 2D VES, gulungan kabel, elektroda

arus, elektroda potensial, aki, GPS, dan palu. Persebaran titik pengukuran sebanyak 4 lintasan dengan panjang lintasan 480 meter dan spasi setiap elektroda sebesar 10 meter. Jika jarak antara elektroda sumber dan elektroda penerima terlalu kecil maka informasi mengenai sifat batuan dan air tanah pada tiap lapisan akan sangat dangkal [9]. Data yang diperoleh pada pengukuran setiap lintasan berupa nilai arus listrik (I) dan beda potensial (ΔV).

Pengolahan Data.

Perangkat lunak yang di gunakan dalam penelitian ini adalah *software* Res2DinV. Data yang telah diperoleh di lokasi penelitian kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel untuk mendapatkan nilai ρ dengan menggunakan persamaan

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Setelah melakukan proses perhitungan dalam Microsoft Excel dimasukan kedalam notepad dengan ketentuan yang berlaku dan disimpan dalam bentuk file *.txt atau *.dat. Selanjutnya, dilakukan Inversi di *software* Res2Dinv untuk memperoleh gambaran penampang 2D geologi bawah permukaan di lokasi penelitian.

Analisis Data.

Dalam analisis data, langkah pertama adalah pemrosesan dan interpretasi data geolistrik yang diperoleh dari survei lapangan. Selanjutnya, analisis data akan mencakup pemodelan dan interpretasi hasil survei geolistrik menggunakan perangkat lunak khusus. Data resistivitas yang terkumpul akan dimasukkan ke dalam model 2D untuk menghasilkan gambaran yang lebih rinci tentang distribusi lapisan-lapisan di bawah permukaan dan kemungkinan hubungannya dengan rembesan lumpur. Interpretasi nilai resistivitas dilakukan dengan mengacu pada data pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Resistivitas Jenis Batuan [10]

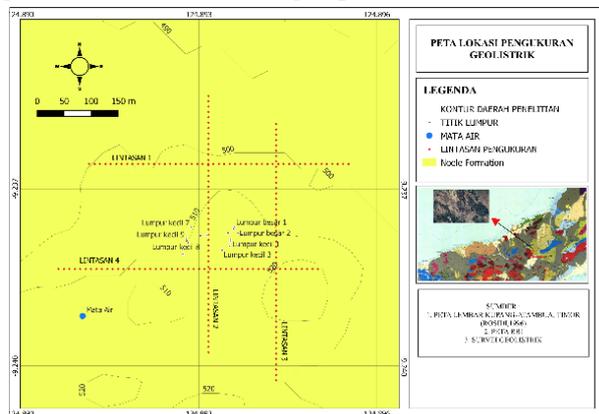
Type of Rocks	Resistivity ($\Omega.m$)
Igneous and Metamorphic Rocks	
Granit	$5 \times 10^3 - 10^6$
Basal	$10^3 - 10^6$
Slate	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
Quartzite	$10^2 - 2 \times 10^8$
Sedimentary Rocks	

Sandstone	$8 - 4 \times 10^3$
Shale	$20 - 2 \times 10^3$
Limestone	$50 - 4 \times 10^3$
Soils and Waters	
Clay	1 – 100
Alluvium	10 – 800
Groundwater (fresh)	10 – 100
Sea Water	0.2
Chemical	
Iron	9.074×10^{-8}
0.01 M Potassium Chloride	0.708
0.01 M Sodium Chloride	0.843
0.01 M Acetic Acid	6.13
Xylene	6.998×10^{16}

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta Lokasi Penelitian

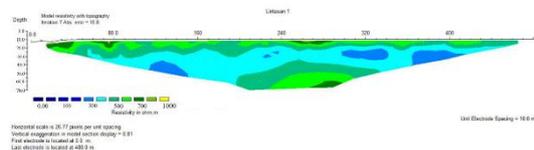
Lokasi penelitian berada di Desa Bakustulama, Kecamatan Tasifeto Barat, Kabupaten Belu. Berikut ini adalah gambar persebaran titik lintasan pengukuran.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

HASIL PENELITIAN

Lintasan 1



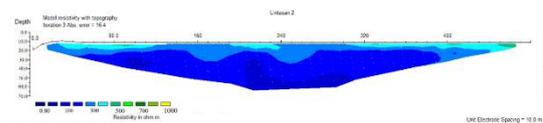
Gambar 2. Penampang Lintasan 1

Lintasan 1 memberikan gambaran yang cukup jelas tentang keberagaman dalam perlapisan batuan bawah permukaan. Pada lapisan permukaan, yang terletak pada kedalaman 0-20 meter, nilai resistivitas berkisar antara $500 \Omega\text{m}$ - $700 \Omega\text{m}$. Nilai ini mengindikasikan adanya batu pasir (*sandstone*). Pada kedalaman 20-40 meter, terjadi penurunan nilai resistivitas yang sangat signifikan hingga mencapai rentang $0.00 \Omega\text{m}$ -

$100 \Omega\text{m}$. Penurunan ini mencerminkan saturasi air yang tinggi dalam lapisan batu lempung Formasi Noele. Batu lempung pada kedalaman ini cenderung bersifat kompak, namun memiliki porositas yang cukup untuk menyimpan air dalam jumlah besar. Saturasi air yang tinggi ini menunjukkan bahwa lapisan tersebut bertindak sebagai zona akuifer, meskipun dengan kemampuan batuan atau tanah untuk meloloskan air yang rendah.

Lapisan bawah yang berada pada kedalaman lebih dari 40 meter memiliki nilai resistivitas yang sedikit meningkat, yakni antara $100 \Omega\text{m}$ - $700 \Omega\text{m}$. Resistivitas ini menunjukkan batu pasir yang punya kemampuan untuk meloloskan air. Karakteristik ini menegaskan bahwa lapisan bawah dapat bertindak sebagai energi dalam bentuk tekanan yang mendorong fluida untuk bergerak, yang menjadi faktor penting dalam mendukung potensi aktivitas mud volcano. Rekahan minor yang ditemukan pada kedalaman 30 - 40 meter juga memberikan indikasi jalur migrasi fluida, meskipun skalanya masih terbatas.

Lintasan 2



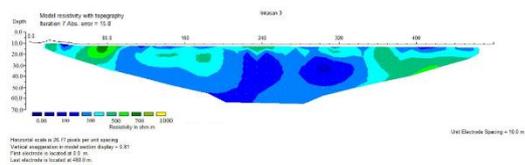
Gambar 3. Penampang Lintasan 2

Lapisan ini berperan sebagai zona transisi antara permukaan yang relatif kering dan lapisan jenuh air di bawahnya. Kehadiran air dalam jumlah sedang di lapisan ini menunjukkan bahwa batu lempung telah terpengaruh oleh proses masuknya air dari permukaan ke dalam tanah, tetapi belum cukup untuk menciptakan zona jenuh air sepenuhnya. Lapisan tengah hingga bawah pada kedalaman di atas 20 meter memperlihatkan resistivitas yang sangat rendah, yaitu antara $0.00 \Omega\text{m}$ - $100 \Omega\text{m}$. Resistivitas yang sangat rendah ini mencerminkan saturasi air yang ekstrem, yang menunjukkan lapisan batu lempung dengan kapasitas penyimpanan air yang sangat tinggi. Homogenitas resistivitas pada lintasan ini menunjukkan bahwa tidak ada banyak variasi dalam perlapisan batuan. Meski demikian, kondisi ini menciptakan potensi tekanan

hidrostatik yang signifikan di dalam lapisan tersebut, terutama jika terdapat pengaruh tambahan dari pelepasan tekanan dari bawah permukaan.

Keseragaman geologi lintasan ini memberikan indikasi bahwa meskipun potensi migrasi fluida dapat terjadi, jalur yang mendukung pergerakan fluida mungkin terbatas. Hal ini dikarenakan tidak teridentifikasinya rekahan besar atau zona patahan yang dapat memicu pelepasan fluida secara signifikan.

Lintasan 3



Gambar 4. Penampang Lintasan 3

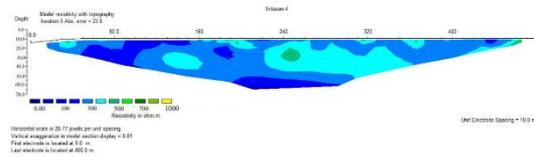
Lintasan 3 menampilkan karakteristik geologi yang paling heterogen dibandingkan dengan lintasan lainnya, dengan distribusi resistivitas yang bervariasi di sepanjang penampangnya. Resistivitas pada kedalaman 0 – 20 meter berkisar antara 300 Ωm - 700 Ωm , mengindikasikan adanya perselingan antara batupasir dan batu gamping. Keberadaan batupasir di zona ini menciptakan heterogenitas yang lebih tinggi, karena batupasir memiliki resistivitas yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan batu gamping.

Bagian tengah lintasan dengan nilai resistivitas antara 0.00 Ωm - 100 Ωm , yang menunjukkan kondisi jenuh air. Kombinasi batu pasir dan batu lempung ini menciptakan variasi litologi yang sangat beragam, yang dapat memengaruhi pola migrasi fluida bawah permukaan. Pada bagian tengah lintasan ini juga teridentifikasi adanya zona patahan. Zona patahan ini menciptakan jalur migrasi fluida vertikal yang potensial, sehingga meningkatkan risiko pelepasan tekanan dari lapisan bawah.

Keberadaan zona patahan dan kemiringan lapisan yang terlihat jelas pada lintasan ini menunjukkan bahwa lintasan 3 memiliki dinamika geologi yang lebih aktif. Potensi tekanan fluida terperangkap dalam zona ini sangat besar, terutama karena adanya variasi resistivitas yang mencerminkan keberadaan zona konduktif di bawah lapisan impermeabel. Karakteristik ini menjadikan lintasan 3 sebagai

salah satu zona dengan risiko tertinggi untuk aktivitas mud volcano, terutama jika ada pemicu seperti aktivitas tektonik atau tekanan fluida yang meningkat secara signifikan.

Lintasan 4



Gambar 5. Penampang Lintasan 4

Lintasan 4 memiliki peralihan batuan yang beragam di antara keempat lintasan. Pada bagian atas dan tengah lintasan dengan kedalaman 0 – 60 meter, nilai resistivitas menunjukkan variasi yang beragam, yaitu antara 0.00 Ωm – 500 Ωm . Variasi ini mencerminkan keberadaan lapisan permukaan yang heterogen, dengan kombinasi antara batu lempung dan kemungkinan fragmen batu pasir. Kondisi ini menciptakan ketidakseragaman yang cukup tinggi, sehingga lapisan atas tidak dapat dianggap sebagai zona yang seragam.

Bagian bawah lintasan, dengan resistivitas yang berkisar antara 0.00 Ωm - 300 Ωm , menunjukkan adanya variasi litologi yang seragam. Rentang resistivitas ini mencerminkan dominasi batu lempung. Kondisi ini menjadikan lintasan 4 sebagai area dengan potensi aktivitas geologi yang sangat tinggi, termasuk kemungkinan terbentuknya jalur migrasi fluida yang dapat memicu mud volcano.

Hasil pada lintasan 4 menunjukkan bahwa kombinasi antara saturasi air tinggi, struktur patahan yang kompleks, dan heterogenitas litologi menjadikan zona ini sebagai salah satu lokasi dengan potensi tertinggi untuk aktivitas mud volcano. Zona konduktif pada lintasan ini dapat bertindak sebagai reservoir tekanan, sementara rekahan-rekahan yang teridentifikasi menciptakan jalur migrasi fluida ke permukaan.

PEMBAHASAN

Pola lapisan bawah permukaan di Daerah Bakustulama menunjukkan struktur yang beragam dan kompleks. Dari hasil pengukuran resistivitas, terlihat bahwa lapisan-lapisan ini terdiri dari batu pasir, lempung, dan batu gamping yang tersusun secara bervariasi, baik secara vertikal maupun horizontal. Pada bagian dekat permukaan, khususnya pada kedalaman

0–20 meter, biasanya ditemukan batu pasir dengan sifat berpori dan mampu menyerap air. Lapisan ini memiliki resistivitas yang cukup tinggi, yaitu 300–700 Ωm , yang menunjukkan bahwa batu pasir tersebut cukup kering atau hanya sedikit mengandung air. Namun, di bawah lapisan ini, terdapat lempung dengan resistivitas rendah (0.00 Ωm – 100 Ωm), yang menunjukkan bahwa lempung tersebut sangat jenuh air dan tidak mudah dilewati air, sehingga bertindak sebagai penghalang aliran fluida.

Pada lintasan lain, seperti Lintasan 2, pola lapisan cenderung lebih seragam. Di permukaan, ditemukan lapisan lempung lapuk dengan resistivitas sedang (100 Ωm – 500 Ωm), yang menandakan adanya kandungan air. Di kedalaman lebih dalam, lapisan ini berubah menjadi zona yang benar-benar jenuh air dengan resistivitas yang sangat rendah (0 Ωm – 100 Ωm).

Lintasan 3 menunjukkan pola lapisan yang lebih rumit dibandingkan lintasan lainnya. Di sini, terdapat campuran antara batupasir dan batu lempung. Pada Lintasan 4, ditemukan pola perlapisan yang mencerminkan kombinasi antara batu gamping, lempung, dan fragmen batu pasir di lapisan dangkal hingga kedalaman 60 meter. Lapisan ini berubah menjadi lempung yang sangat jenuh air di kedalaman lebih dalam. Variasi ini menunjukkan bahwa daerah tersebut pernah mengalami proses geologi yang berbeda-beda, seperti pengendapan yang tidak merata atau pengaruh aktivitas tektonik. Lapisan lempung yang ditemukan di kedalaman lebih besar juga menunjukkan potensi tekanan fluida yang tinggi, karena lapisan ini cenderung menjebak air di bawahnya.

Secara keseluruhan, pola lapisan bawah permukaan di Daerah Bakustulama terdiri dari lapisan-lapisan yang dapat dilewati air seperti batu pasir, yang memungkinkan aliran air, dan lapisan yang susah dilewati air seperti lempung, yang menghalangi aliran tersebut. Struktur patahan yang ditemukan di beberapa lintasan memengaruhi pola aliran air dan tekanan bawah tanah, membuat daerah ini rawan terhadap fenomena seperti semburan lumpur.

Keberagaman perlapisan batuan ini memiliki hubungan erat dengan potensi terjadinya fenomena semburan lumpur atau mod vulcano. Berdasarkan peta geologi lembar Kupang-Atambua, Timor, terdapat indikasi bahwa keberadaan zona patahan dan rekahan, menjadi jalur potensial bagi migrasi fluida

bawah permukaan. Patahan ini tidak hanya berfungsi sebagai jalur migrasi fluida, tetapi juga menciptakan zona lemah struktural yang dapat memicu pelepasan tekanan fluida dari dalam lapisan batuan. Kondisi ini diperparah oleh tekanan pori yang tinggi pada lapisan batulempung, menciptakan kondisi yang sangat kondusif bagi terjadinya fenomena semburan lumpur.

Tekanan hidrostatik yang terakumulasi di bawah lapisan lempung kedap air dapat meningkat akibat interaksi antara tekanan fluida, aktivitas tektonik, dan kompaksi sedimen. Ketika tekanan mencapai batas kritis, fluida akan mencari jalur untuk dilepaskan, sering kali membawa material lumpur ke permukaan. Proses ini menciptakan fenomena semburan lumpur atau mud volcano, yang tidak hanya bergantung pada tekanan tetapi juga pada sifat litologi, komposisi mineralogi, dan dinamika hidrogeologis setempat.

KESIMPULAN

Lapisan bawah tanah di Daerah Bakustulama tersusun secara beragam, dengan lapisan batupasir di permukaan hingga kedalaman sekitar 20 meter yang memiliki porositas tinggi sehingga mudah dialiri air. Di bawahnya, lapisan lempung yang jenuh air menjadi dominan dan sulit dilalui fluida. Keberadaan patahan pada beberapa lintasan membuat air dan fluida dari kedalaman lebih besar dapat bergerak ke atas, sehingga memengaruhi tekanan di bawah permukaan.

Batuan di daerah ini bisa dikenali dari nilai resistivitasnya. Batu pasir memiliki resistivitas tinggi (100–700 Ωm), menandakan sifatnya yang berpori dengan kandungan air rendah. Batu gamping memiliki resistivitas tinggi (700–1000 Ωm) dan kadang menjadi lapisan peralihan. Sementara itu, lempung yang jenuh air memiliki resistivitas rendah (0–100 Ωm), menunjukkan kandungan air yang sangat tinggi. Zona dengan resistivitas sangat rendah (0–100 Ωm) mengindikasikan adanya air dengan kandungan mineral tinggi atau elektrolit yang membuatnya lebih konduktif.

SARAN

Penelitian lanjutan disarankan menggunakan metode geofisika dengan resolusi lebih tinggi, seperti seismik refleksi. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran lebih detail tentang struktur patahan, ketebalan

lapisan batuan, dan jalur migrasi fluida yang memengaruhi dinamika bawah permukaan, khususnya pada area dengan potensi mud volcano.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Amelinda K, Santosa BJ. 2016. Identifikasi Pola Persebaran Sumber Lumpur Bawah Tanah Pada Mud Volcano Gunung Anyar Rungkut Surabaya Menggunakan Metode Geolistrik. *J. Sains dan Seni ITS*. **5**(1): 2337.
- 2 Jusfarida, Abdilbar AA. 2020. Aktivitas Tektonik Sebagai Pemicu Munculnya Mud Volcano Buhjel Tase' Madura. *PROSIDING, Semin. Teknol. Kebumihan dan Kelaut. (SEMITAN II)*. **2**(1): 629.
- 3 Hadimuljono JS, Yensusnimar D, Wicaksono AB, Suliantara. 2016. Rembesan Migrasi di Daerah Timor Barat. *Lembaran Publ. Miny. Dan Gas Bumi*. **50**(3): 1.
- 4 Chandrasasi D, Asmaranto R, Partarini NMC. 2018. Penerapan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner – Schlumberger Untuk Analisis Rembesan Pada Maindam Waduk Greneng, Kabupaten Blora. *J. Tek. Pengair*. **9**(2): 114.
- 5 Yuristina AP, Supriyadi, Khumaedi. 2015. Pendugaan Persebaran Air Bawah Permukaan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger Di Desa Tanggungarjo Kabupaten Grobogan. *Unnes Phys. J*. **4**(1): 76.
- 6 Sakka. *Metoda Geolistrik Resistivitas*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. UNHAS, Makasar. 2002.
- 7 Priambodo IC, Purnomo H, Rukmana N. 2011. Aplikasi Metoda Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger pada Survey Gerakan Tanah di Bajawa, NTT. *Bull. Vulkanol. dan Bencana Geol*. **6**(2): 1.
- 8 Wahyudi A, Azwar A, Muhandi M. 2021. Penggunaan Metode Geolistrik Resistivitas untuk Identifikasi Lapisan Bawah Permukaan Gunung Tujuh Kabupaten Kayong Utara. *J. Fis. Unand*. **10**(1): 62.
- 9 Sianturi HL, Susilo A, Mohamad JN, Pingak RK. 2023. Analysis of Landslide Using Resistivity Method in the Avalanche Area of Tolnaku, Kupang Regency, East Nusa Tenggara, Indonesia. *Int. J. Saf. Secur. Eng*. **13**(5): 925.
- 10 Loke DM. A practical guide to 2-D and 3-D surveys Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies.