

## Deteksi Zona Resapan Akuifer Menggunakan Metode Resistivitas dan Polarisasi Terinduksi

As'ari As'ari<sup>1\*)</sup>, Seni Herlina J Tongkukut<sup>2)</sup>, Ernawatil Gani<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Department of Physics Sam Ratulangi University Manado, Indonesia

\*Corresponding author: as.ari2222@unsrat.ac.id

### ABSTRAK

Zona resapan yang merupakan penyedia air bagi akuifer sering diabaikan, mengakibatkan penggunaan sumberdaya air tanah secara berkelanjutan akan terganggu. Penelitian dimaksudkan untuk menentukan daerah tangkapan air hujan sebagai penyedia air bagi akuifer di pesisir Pantai Tondano Timur. Lokasi penelitian di daerah pesisir Tondano Timur Kabupaten Minahasa, yang merupakan daerah berbukit, sulit diperoleh sumber air tawar dan tutupan lahannya akan dibuka. Eksplorasi deteksi lapisan batuan bawah permukaan menggunakan metode geolistrik resistivitas dan polarisasi terinduksi (*Induced Polarisation*), konfigurasi dipol-dipol, spasi 10 m. Akuisisi data menggunakan *multielectrode resistivity and IP meter MAE Type X612-EM*. Lintasan pengukuran kedua metode sama, data diukur pada 2 lintasan, dengan lintasan 1 sepanjang 240 m dan lintasan 2 sepanjang 360 m. Teridentifikasi zona resapan air hujan dengan resistivitas  $48 < \rho < 192 \Omega\text{m}$ , pada lintasan 1 terdapat zona resapan pada meter ke 105-135, lapisan dengan resistivitas rendah diidentifikasi pada meter ke 70-150 dengan resistivitas 3-48  $\Omega\text{m}$  dan kedalaman  $\geq 15$  m. Berdasarkan pada hasil IP meter tidak ditemukan dugaan akuifer air tanah, sehingga air hujan diperkirakan langsung mengalir ke laut. Pada lintasan 2 zona resapan terdeteksi pada meter ke 80-105 dan meter ke 275-315. Lapisan dengan nilai resistivitas rendah pada meter ke 100-275 dengan resistivitas 3-48  $\Omega\text{m}$ , mempunyai kedalaman  $\geq 20$  m. Hasil pengukuran IP, lapisan dengan chargeabilitas rendah  $\leq 0,8$  ms terdapat pada meter ke 180-200. Dugaan akuifer air tanah pada meter ke 180-200 dengan kedalaman 45-65 m.

**Kata kunci :** Akuifer; resistivitas; zona resapan

## Detection of Aquifer Infiltration Zones Using Resistivity and Induced Polarization Methods

### ABSTRACT

Infiltration zones that are water providers for aquifers are often neglected, resulting in the sustainable use of groundwater resources will be disrupted. The research is intended to determine rainwater catchment areas as water suppliers for aquifers on the coast of East Tondano Beach. The location of the research is in the coastal area of East Tondano, Minahasa Regency. Exploration of subsurface rock layer detection using the resistivity geoelectric method and induced polarisation, dipole-dipole configuration, 10 m space. Data acquisition using *multielectrode resistivity and IP meter MAE type X612-EM*. The measurement line of the two methods is the same, the data was measured on 2 lines, with line 1 being 240 m long and line 2 being 360 m long. A rainwater infiltration zone with a resistivity of  $48 < \rho < 192 \Omega\text{m}$  was identified, on track 1 there was a infiltration zone at meters 105-135, a layer with low resistivity was identified at meters 70-150 with a resistivity of 3-48  $\Omega\text{m}$  and a depth of  $\geq 15$  m.. Based on the results of the IP meter, no suspected groundwater aquifer was found, so rainwater is estimated to flow directly into the sea. On line 2, the infiltration zone was detected at meters 80-105 and meters 275-315. The layer with a low resistivity value at 100-275 meters with a resistivity of 3-48  $\Omega\text{m}$ , has a depth of  $\geq 20$  m. The

results of the IP measurement, layer with low chargeability  $\leq 0.8$  ms are found on the 180-200th meter. Suspected groundwater aquifer at 180-200 meters with a depth of 45-65 m.

**Keywords:** Aquifer; resistivity; infiltration zones

(Article History: Received 30-09-2024; Accepted 18-11-2024; Published 18-11-2024)

## PENDAHULUAN

Propinsi Sulawesi Utara merupakan daerah kepulauan, mempunyai garis pantai yang panjang. Secara geografis terdiri dari pegunungan, perbukitan, dataran rendah, dataran tinggi dan pantai. Faktor-faktor lokal ini menyebabkan kondisi cuaca sangat beragam, tidak merata di semua daerah. Curah hujan merupakan salah satu unsur iklim yang sangat besar peranannya dalam mendukung ketersediaan air, terutama pada lahan tadah hujan dan lahan kering (Herlina & Prasetyorini, 2020; Sunarmi *et al.*, 2022). Ketersediaan air tanah dipengaruhi beberapa faktor, antara lain: cuaca yang berkaitan dengan intensitas curah hujan, kondisi geografi suatu daerah, jenis batuan penyusun lapisan tanah dan eksploitasi air tanah. Perubahan iklim memberikan kontribusi terhadap masalah pasokan air karena mengubah ketersediaan, kuantitas, dan kualitas sumber daya air, sehingga mempengaruhi seluruh siklus pasokan air (Ashraf *et al.*, 2018; Unsal *et al.*, 2014).

Pemanfaatan air tanah harus dilakukan secara bijaksana, dengan memperhatikan daya dukung suatu daerah agar tidak menimbulkan ketimpangan sehingga mengakibatkan habisnya sumberdaya air tanah. Air tanah saat ini telah menjadi isu di dunia dan Indonesia akibat terjadinya degradasi air tanah, penurunan laju infiltrasi diakibatkan oleh adanya perubahan tutupan lahan (Purwoarminta *et al.*, 2019). Habisnya sumberdaya air tanah akan mengakibatkan bencana kekeringan ketika suplai air hujan tidak ada terutama di musim kemarau. Penyebaran air tanah yang tidak merata menimbulkan masalah bagi masyarakat dalam memenuhi kebutuhan hidupnya (As'ari *et al.*, 2019). Sehingga langkah-langkah mitigasi dan konservasi pengelolaan air tanah yang merupakan bagian pencapaian pelestarian sumberdaya air dan tanah harus dilakukan (Aly *et al.*, 2017).

Mitigasi Bencana adalah upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik secara struktur atau fisik melalui pembangunan fisik alami dan/atau buatan maupun nonstruktur atau nonfisik melalui peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana di Wilayah Pesisir (Undang-Undang No. 27, 2007). Guna pemanfaatan yang berkelanjutan maka harus dilakukan konservasi air tanah. Zona konservasi air tanah terdiri dari daerah imbuhan dan zona perlindungan mata air (Putranto *et al.*, 2020). Air tanah jika tidak dikelola dengan baik, pemanfaatan air tanah secara berlebihan dapat menurunkan kualitas dan kuantitas air tanah (Hendrayana *et al.*, 2020). Kualitas dan kuantitas akuifer tergantung pada ketersediaan air hujan dan infiltrasinya ke dalam tanah. Perubahan tutupan lahan seperti ruang terbuka hijau dapat menurunkan laju infiltrasi air hujan ke bawah permukaan tanah bahkan hilangnya zona resapan air (Mahdiyah *et al.*, 2023; Purwoarminta *et al.*, 2019).

Perlu adanya kajian potensi resapan air tanah dengan model-model penentuan resapan air tanah untuk kawasan konservasi sebagai kawasan resapan air tanah (Wibowo, 2019). Resapan air tanah dan akuifer merupakan satu sistem, maka penentuan area resapan air tanah dapat dilakukan dengan mendeteksi keberadaan akuifer. Keberadaan akuifer dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik (Baban *et al.*, 2023; Mohamaden *et al.*, 2016; Sulaiman *et al.*, 2022).

Karakteristik batuan yang terdapat di pantai pesisir adalah spesifik, berbeda dengan batuan yang terletak jauh dari pantai. Jenis batuan di daerah Tondano Timur merupakan endapan piroklastik gunung api berkomposisi andesit yang terciptakan oleh pecahan batuapung, lapilli, breksi, ignimbrit padat dan tufa (Effendi & Bawono, 1997). Daerah penelitian mempunyai topografi bergelombang dan di sebelah Timur berbatasan dengan Laut Maluku. Riset deteksi area resapan di pesisir pantai Tondano Timur belum pernah dilakukan. Eksplorasi geofisika metode geolistrik resistivitas dan polarisasi terinduksi mampu untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi sistem akuifer. Metode ini digunakan secara bersamaan untuk memberikan informasi yang lebih komprehensif tentang komposisi dan struktur bawah permukaan. Metode geolistrik digunakan karena metode ini efektif, efisien biayanya dan bersifat non-invasif (Antareza *et al.*, 2021).

Tujuan penelitian ini yaitu menentukan zona resapan air hujan sebagai penyedia air bagi akuifer di pesisir Pantai Tondano Timur. Kepastian keberadaan zona resapan air hujan digunakan untuk konservasi air tanah, sehingga pemanfaatan air tanah dapat berkelanjutan.

### **METODE PENELITIAN**

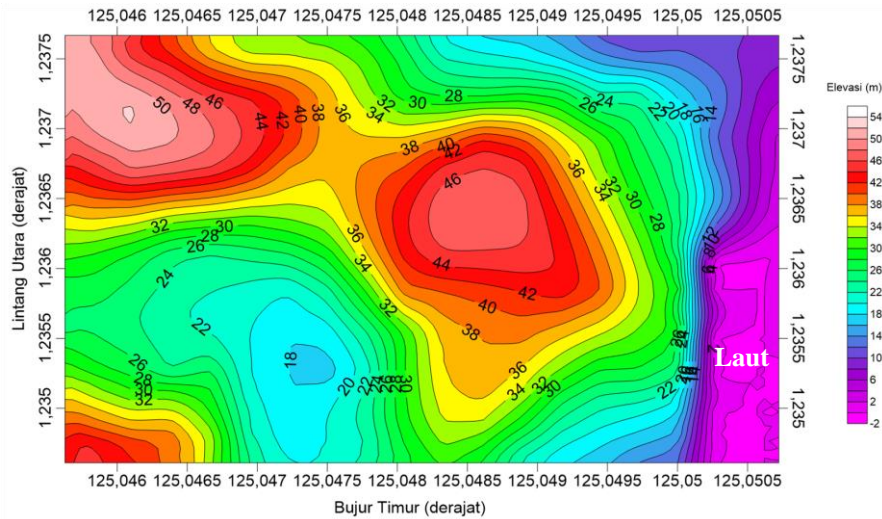
Penelitian dilakukan di pesisir Pantai Kecamatan Tondano Timur Kabupaten Minahasa, penelitian dilaksanakan pada bulan Januari tahun 2024 bertepatan dengan fase bulan kuartal ketiga. Akuisisi data geolistrik menggunakan alat *multichannel and multielectrode resistivity and IP meter MAE type X612-EM*. Eksplorasi geofisika metode geolistrik resistivitas dan polarisasi terinduksi (*Induced Polarisation*) menggunakan konfigurasi dipol-dipol. Digunakan pemetaan 2D geolistrik untuk menggambarkan lapisan tanah berdasarkan distribusi resistivitas bawah permukaan secara vertikal dan horizontal sepanjang lintasan pengukuran. Survei geolistrik menghasilkan gambar bawah permukaan resolusi tinggi, karena resistivitas sensitif terhadap perubahan hidrogeologi, litologi dan sifat-sifat geologi (Baban *et al.*, 2023).

Metode geolistrik resistivitas akurat untuk mendeteksi sedimen yang jenuh air tawar, sedang metode polarisasi terinduksi untuk sedimen yang jenuh air asin (Masria *et al.*, 2024). Konfigurasi dipol-dipol mendeteksi geologi lebih detil dari Wenner dan Wenner-Schlumberger, resolusi dan detil geologi yang lebih baik dari pol-pol (Burbey & Seaton, 2002). Konfigurasi dipol-dipol paling efisien dan efektif dalam mendeteksi air tanah (Puluyio *et al.*, 2018). Suatu batuan atau material jika dikenakan arus listrik akan memberikan respon yang berbeda-beda, kemampuan suatu material untuk menyimpan arus listrik sesaat yang dikenakan kepadanya disebut chargeabilitas. Pengukuran menggunakan metode IP dilakukan untuk melihat nilai chargeabilitas air dalam sebuah akuifer. Metode IP (*Induced Polarisation*) dapat membedakan air dan lapisan tanah (Baban *et al.*, 2023).

Data topografi daerah penelitian diperoleh dari *google earth pro* yang diolah menggunakan perangkat lunak *TCX* dan surfer untuk menghasilkan peta topografi. Peta topografi digunakan untuk menganalisa arah aliran air di permukaan tanah. Data hasil pengukuran diolah menggunakan perangkat lunak *Res2Dinv* yang menghasilkan penampang lintang bawah permukaan resistivitas dan chargeabilitas. Hasil olah data digunakan untuk menganalisis sistem akuifer, dan menentukan dugaan adanya akuifer dan zona infiltrasi air.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta topografi menggambarkan bahwa daerah penelitian berbukit dengan ketinggian mencapai 36-54 m di atas permukaan laut dan berada di tepi laut (warna ungu) (Gambar 1).



**Gambar 1.** Peta Topografi Daerah Penelitian

Air hujan yang mengalir di permukaan tanah yang tinggi ke area yang lebih rendah mengikuti gaya gravitasi. Berdasarkan peta topografi ini digunakan sebagai referensi untuk menentukan lintasan pengukuran geolistrik resistivitas.



**Gambar 2.** Lintasan pengukuran geolistrik resistivitas

Lintasan pengukuran ditentukan dengan menganalisis aliran muka air tanah bebas, pola aliran air tanah bebas mengikuti kemiringan topografi, mengalir dari topografi tinggi menuju ke topografi rendah (Putranto *et al.*, 2020). Lintasan pengukuran untuk kedua metode adalah sama. Ketidaklurusan lintasan pengukuran karena faktor topografi, jalan raya, jurang dan vegetasi. Lintasan pengukuran dilakukan pada dua lintasan (Gambar 2):

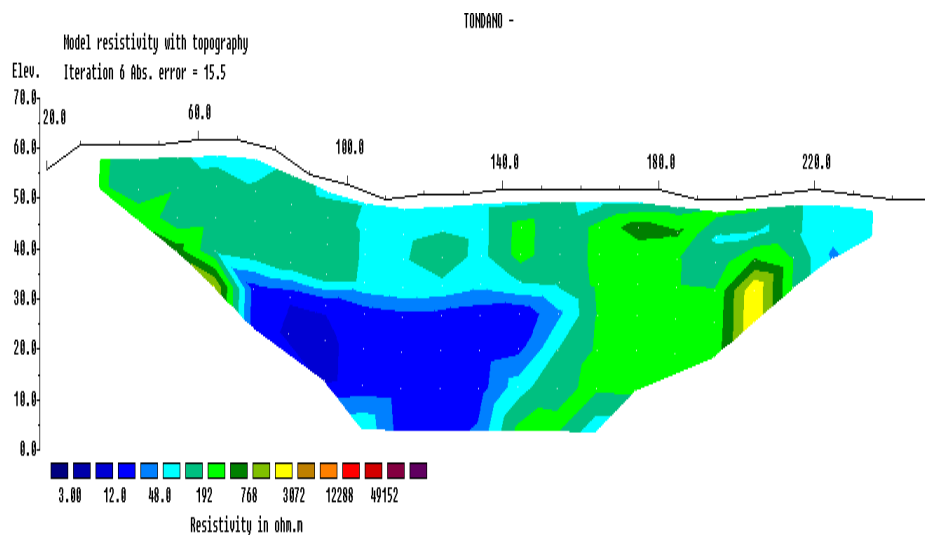
1. Lintasan 1, Panjang 240 m, spasi antar elektroda 10 m.
2. Lintasan 2, Panjang lintasan 360 m, spasi antar elektroda 10 m.

## Penampang Lintang Resistivitas Bawah Permukaan

### Lintasan 1

Lapisan akuifer diwakili oleh struktur tanah yang berasosiasi dengan air sehingga mempunyai nilai resistivitas rendah. Lapisan akuifer diidentifikasi dengan nilai resistivitas sedang (17–111 Ωm) (Mohamaden *et al.*, 2016). Lapisan batu kapur diidentifikasi sebagai akuifer dengan resistivitas 34-7013 Ωm (Dayani et al., 2022). Zona resistivitas rendah 10-800 Ωm pada retakan sebagai akuifer (Sulaiman *et al.*, 2022). Lapisan akuifer dengan resistivitas < 30 Ωm, tetapi masih disesuaikan dengan nilai chargebilitas hasil pengukuran *IP meter* (Baban *et al.*, 2023).

Gambar 3 menunjukkan kondisi lapisan batuan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitasnya. Terdapat tiga kategori lapisan batuan berdasarkan nilai resistivitasnya, 1. Resistivitas rendah yaitu lapisan dengan nilai resistivitas ( $0 < \rho \leq 48 \text{ } \Omega\text{m}$ ) yang diinterpretasikan sebagai tufa berporositas tinggi; 2. Resistivitas sedang yaitu lapisan dengan nilai resistivitas ( $48 < \rho \leq 192 \text{ } \Omega\text{m}$ ) dan diinterpretasikan sebagai tufa berporositas sedang; 3. Resistivitas tinggi, lapisan dengan nilai resistivitas 192 Ωm ke atas yang diinterpretasikan sebagai andesit (Tabel 1).



**Gambar 3.** Tampang lintang resistivitas bawah permukaan Lintasan 1

Tabel 1. Resistivitas di area Tondano Timur dan interpretasinya

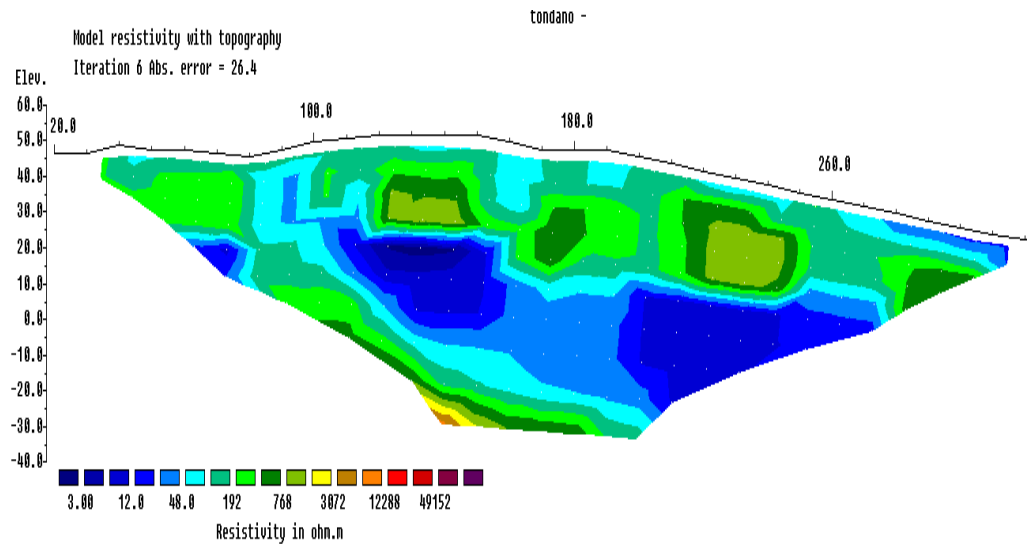
Resistivitas (Ωm)	Legenda Resistivitas	Interpretasi
3 - 48		Tufa dengan porositas tinggi
<48 - 192		Tufa dengan porositas sedang
>192		Andesit

Lintasan 1 bergelombang, tampak dengan sumbu horisontal yang merupakan bentangan elektroda dari meter pertama sampai meter ke 240. Tampak pada lintasan ini resistivitas rendah diidentifikasi pada meter ke 70-150 dengan resistivitas 3-48 Ωm. Kedalaman  $\geq 15$

m, zona infiltrasi air hujan pada meter ke 105-135 yang merupakan zona resapan atau masuknya air hujan ke bawah permukaan tanah ( $48 < \rho < 120 \Omega m$ ).

**Lintasan 2**

Gambar 4 menunjukkan kondisi lapisan batuan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitasnya. Lintasan 2 bergelombang, tampak dengan sumbu horisontal yang merupakan bentangan elektroda dari meter pertama sampai meter ke 360. Pada Lintasan 2 diidentifikasi lapisan dengan nilai resistivitas rendah pada meter ke 100-275 dengan resistivitas 3-48  $\Omega m$  (warna biru), mempunyai kedalaman  $\geq 20$  m. Zona infiltrasi air hujan pada meter ke 80-105 dan meter ke 275-315 yang merupakan area resapan.



**Gambar 4.** Tampang lintang resistivitas bawah permukaan Lintasan 2

**Pengukuran Polarisasi Terinduksi**

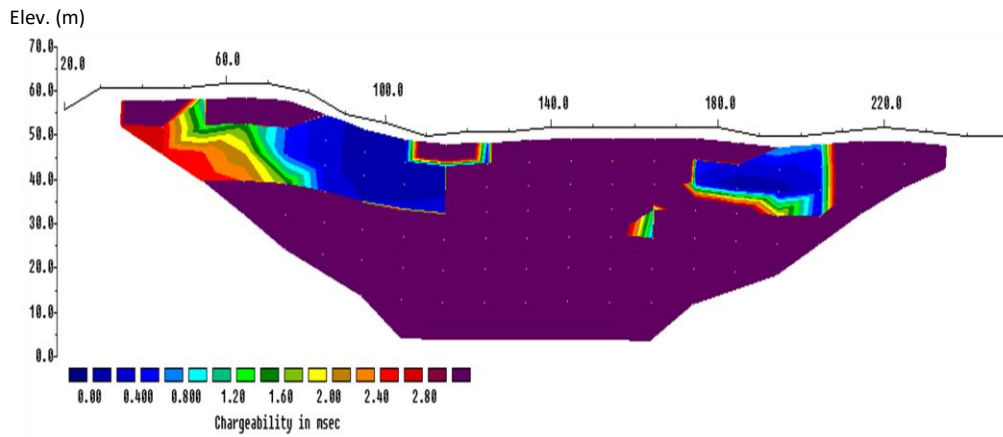
Hasil ukur metode IP pada lintasan 1 ditunjukkan oleh Gambar 5, menunjukkan untuk area akuifer, yaitu pada meter ke 70-150 dan kedalaman  $\geq 15$  m memiliki nilai chargebilitas  $\geq 2,8$  ms (warna coklat tua). Lapisan ini diinterpretasikan sebagai lapisan batuan tufa (300-800 ms). Zona resapan pada meter ke 105-135 mempunyai nilai chargebilitas  $\geq 2,8$  ms (warna coklat tua).

Tabel 2. Nilai chargebilitas di area Tondano Timur dan interpretasinya

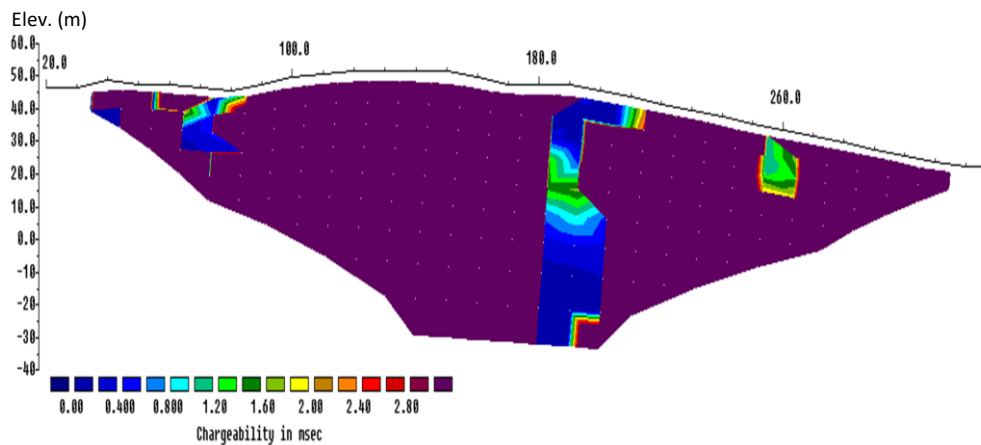
Chargebilitas (ms)	Legenda chargebilitas	Interpretasi
0-0,8	 0.00 0.400 0.800	Tufa dengan air tanah
>0,8	 0.800 1.20 1.60 2.00 2.40 2.80	Tufa tidak mengandung air

Lintasan 2 mempunyai variasi nilai chargebilitas seperti Gambar 6. Pada meter ke 100-275 dan kedalaman  $\geq 20$  m didominasi dengan nilai chargebilitas  $\geq 2,8$  ms (warna coklat tua). Lapisan batuan diinterpretasikan sebagai lapisan lapisan batuan tufa yang tidak mengandung air (300-800 ms). Hanya di meter ke 80-200 terdapat lapisan dengan chargebilitas 0-1,8 ms dari permukaan sampai lapisan terdalam (Tabel 2).





**Gambar 5.** Penampang chargeabilitas bawah permukaan lintasan 1



**Gambar 6.** Penampang chargeabilitas bawah permukaan lintasan 2

Memperhatikan nilai-nilai resistivitas dan chargeabilitas pada lintasan 1 dan lintasan 2. Nilai resistivitas air tanah dalam batuan sedimen bervariasi tergantung pada kandungan garam terlarut  $> 1 \Omega\text{m}$ , interval resistivitas air tawar 10-100  $\Omega\text{m}$  (Riwayat *et al.*, 2018). Lapisan dengan resistivitas 3-48  $\Omega\text{m}$  pada lintasan 1 tidak diinterpretasikan sebagai lapisan akuifer, hal ini karena setelah dicek dengan hasil IP meter menunjukkan bahwa lapisan ini mempunyai nilai chargeabilitas  $\geq 2,8 \text{ ms}$ , sedang nilai chargeabilitas air tanah adalah 0 ms (Telford *et al.*, 2004). Diduga bahwa air dari zona resapan pada meter ke 105-135 yang mengalir melalui area resistivitas 3-48  $\Omega\text{m}$  hanya ditransmisikan saja dan air yang meresap langsung dialirkan menuju laut. Pertimbangan ini didasarkan bahwa Lokasi lapisan berpori pada lintasan satu dekat dengan laut (sekitar 100 meter).

Untuk Lintasan 2, lapisan dengan resistivitas rendah 3-48  $\Omega\text{m}$  (Gambar 4) tidak semua bagian diinterpretasikan sebagai akuifer. Hasil identifikasi dengan metode IP (Gambar 6) menunjukkan bahwa chargeabilitas rendah  $\leq 0,8 \text{ ms}$  terdapat pada meter ke 180-200. Nilai chargeabilitas air tanah adalah 0 ms (Telford *et al.*, 2004), sehingga jika dioverlap antara penampang lintang resistivitas dan chargeabilitas hanya bagian meter ke 180-200

dengan kedalaman 45-65 m yang mempunyai kemungkinan akuifer mengandung air. Maka untuk memastikan dan evaluasi pendugaan ini masih diperlukan pengeboran.

### KESIMPULAN

Teridentifikasi zona resapan air hujan dengan resistivitas  $48 < \rho < 192 \Omega\text{m}$ , pada lintasan 1 pada meter ke 105-135, lapisan dengan resistivitas rendah diidentifikasi pada meter ke 70-150 dengan resistivitas  $3-48 \Omega\text{m}$  dan kedalaman  $\geq 15$  m. Pada lintasan 2 zona resapan terdeteksi pada meter ke 80-105 dan meter ke 275-315. Lapisan dengan nilai resistivitas rendah pada meter ke 100-275 dengan resistivitas  $3-48 \Omega\text{m}$ , mempunyai kedalaman  $\geq 20$  m. Dugaan akuifer air tanah dengan resistivitas  $3-48 \Omega\text{m}$  pada meter ke 180-200 dengan kedalaman 45-65 m.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada LPPM Universitas Sam Ratulangi yang telah membantu pendanaan melalui skim RDUU-K2 dan semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aly, S.T., Suharjo, Diniyati, A., & Arozaq, M. (2017). Model Konservasi Airtanah Daerah Lereng Gunung Merapi Berbasis Budaya Lokal di Kabupaten Klaten Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS 2017*, 862–869.
- Antareza, M.A., Wafi, A., Lasmana, Y., & Mariyanto, M. (2021). Geoelectrical survey and cone penetration test data for groundwater potential determination around Gatot Subroto Street, Banjarmasin. *Journal of Physics: Conference Series*, 1825(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1825/1/012015>
- As'ari, A., Tongkukut, S. H. J., Pogaga, B. A. ., Akasi, I. A., Sagai, F. S., & Loupatty, T. B. (2019). Investigasi Akuifer Air Tanah di Banua Buha Asri 1 Kelurahan Buha Manado Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas. *Jurnal Ilmiah Sains*, 20(1), 1-5. <https://doi.org/10.35799/jis.20.1.2020.25143>
- Ashraf, M.A.M., Yusoh, R., Sazalil, M.A., & Abidin, M.H.Z. (2018). Aquifer Characterization and Groundwater Potential Evaluation in Sedimentary Rock Formation. *Journal of Physics: Conference Series*, 995(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/995/1/012106>
- Baban, E. N., Amin, A. K., & Ahmed, K. M. (2023). Combined Electrical Tomography (ERT/IP) Methods and Geoelectrical Parameters to Evaluate Groundwater in Qularaisi Area NW Sulaimani City - Kurdistan Region-IRAQ. *Iraqi National Journal of Earth Science*, 23(1), 1–34. <https://doi.org/10.33899/earth.2023.135144.1024>
- Burbey, T. J., & Seaton, W. J. (2002). Evaluation of two-dimensional resistivity methods in a fractured crystalline-rock terrane. *Journal of Applied Geophysics*, 51(1), 21–41.
- Dayani, D. ., Wilopo, W., & Azwartika, I. (2022). Geoelectric Methods for Groundwater Exploration in the Food Estate Area of Central Sumba Regency, East Nusa Tenggara, Indonesia. *ICSBE*, 4(19), 19. <https://doi.org/http://doi.org/10.20885/icsbe.vol2.art12>
- Effendi, A.C., & Bawono, S. S. (1997). Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi Utara. Geological research and development Centre.
- Hendrayana, H., Riyanto, I.A., & Nuha, A. (2020). Tingkat Pemanfaatan Airtanah di Cekungan Airtanah (CAT) Yogyakarta-Sleman. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi*, 4(2), 127–137. <https://doi.org/10.29408/geodika.v4i2.2643>



- Herlina, N., & Prasetyorini, A. (2020). Effect of Climate Change on Planting Season and Productivity of Maize (*Zea mays* L.) in Malang Regency. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(1), 118–128. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.1.118>
- Mahdiyah, U., Akbar, A.A., & Romiyanto, R. (2023). Efektivitas Ruang Terbuka Hijau (RTH) sebagai Daerah Resapan Air dan Penyimpanan Karbon di Kota Pontianak. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(3), 553–564. <https://doi.org/10.14710/jil.21.3.553-564>
- Masria, A., Alshammari, T.O., Ghareeb, M., Seif, A.K., Abd-Elmaboud, M.E., & Ammar, A.I. (2024). 2D and 3D Modeling of Resistivity and Chargeability to Identify the Type of Saturated Groundwater for Complex Sedimentary Facies. *Hydrology*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/hydrology11080120>
- Mohamaden, M.I.I., Hamouda, A.Z., & Mansour, S. (2016). Application of electrical resistivity method for groundwater exploration at the Moghra area, Western Desert, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 42(3), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2016.06.002>
- Puluiyo, J., As'ari, A., & Tongkukut, S.H.J. (2018). Perbandingan Konfigurasi Wenner Wenner- Schlumberger , Dipol-dipol Dan Pol-dipol Dalam Metode Geolistrik Tahanan Jenis Untuk Mendeteksi Keberadaan Air Tanah. *JURNAL MIPA UNSRAT ONLINE*, 7(1), 29–33.
- Purwoarminta, A., Lubis, R.F., & Maria, R. (2019). Imbuhan Airtanah Buatan untuk Konservasi Cekungan Airtanah Bandung-Soreang. *RISSET Geologi Dan Pertambangan*, 29(1), 65. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2019.v29.1004>
- Putranto, T.T., Susanto, N., Pangestuti, D.R., & Pranata, M.A.S. (2020). Pemetaan Hidrogeologi untuk Analisis Zona Konservasi Air Tanah di Cekungan Air Tanah (CAT) Sumowono, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Presipitasi*, 17(2), 154–168.
- Riwayat, A.I., Nazri, M.A.A., & Abidin, M.H.Z. (2018). Application of electrical resistivity method (ERM) in groundwater exploration. *Journal of Physics: Conference Series*, 995(1), 012094.
- Sulaiman, N., Ariffin, N.A., Sulaiman, M.S., Sulaiman, N., & Jamil, R.M. (2022). Groundwater exploration using Electrical Resistivity Imaging (ERI) at Kemahang, Tanah Merah, Kelantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1102(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1102/1/012027>
- Sunarmi, N., Kumailia, E.N., Nurfaiza, N., Nikmah, A.K., Aisyah, H.N., Sriwahyuni, I., & Lailly, S.N. (2022). Analisis Faktor Unsur Cuaca terhadap Perubahan Iklim Di Kabupaten Pasuruan pada Tahun 2021 dengan Metode Principal Component Analysis. *Newton-Maxwell Journal of Physics*, 3(2), 56–64. <https://doi.org/10.33369/nmj.v3i2.23380>
- Telford, W., Geldart, L., & Sheriff, R. (2004). *Applied Geophysics Second Edition*.
- Undang-Undang No. 27. (2007). *Pengelolaan Wilayah Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil. Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(4), 160.
- Unsal, B., Yagbasan, O., & Yazicigil, H. (2014). Assessing the impacts of climate change on sustainable management of coastal aquifers. *Environmental Earth Sciences*, 72(6), 2183–2193. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3130-z>
- Wibowo, M. (2019). Model Penentuan Kawasan Resapan Air untuk Perencanaan Tata Ruang Berwawasan Lingkungan. *Jurnal Hidrosfir*, 1(1), 1–7.