

## KONSERVASI RECHARGE AREA DI KAPANEWON JETIS, KABUPATEN BANTUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MELALUI PEMETAAN AKUIFER MENGGUNAKAN METODE VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING (VES)

**Mayang Bunga Puspita<sup>1</sup>, Muhammad Faizal Zakaria<sup>2</sup>, Ismail Mutoriz<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang

<sup>2</sup>Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Negeri "Veteran" Yogyakarta

e-mail : mfaizal@upnyk.ac.id

**Abstrak.** Kapanewon Jetis di Kabupaten Bantul, D.I. Yogyakarta merupakan daerah padat penduduk dengan Tingkat kepadatan kurang lebih 2000 jiwa/m<sup>2</sup>. Adanya sumber air bawah permukaan di Kapanewon Jetis dapat menjadi solusi alternatif bagi masyarakat dalam memenuhi kebutuhan air bersih, terutama dalam situasi darurat. Tujuan penelitian ini yaitu pemetaan dan identifikasi akuifer air tanah dangkal sebagai upaya konservasi air tanah di Kapanewon Jetis. Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) dengan konfigurasi *Schlumberger* dan panjang bentangan maksimum 200 meter telah diterapkan pada 39 titik sounding yang tersebar secara merata di seluruh area studi, yakni Kapanewon Jetis. Resistivitas yang diperoleh bervariasi dari 3 Ωm hingga 800 Ωm dengan interpretasi bawah permukaan berupa soil, akuifer air tanah dangkal, breksi, dan tuff yang masuk dalam bagian Endapan Merapi Muda (Qmi). Analisis data menunjukkan bahwa bagian utara Kapanewon Jetis merupakan daerah resapan utama (*recharge area*) bagi akuifer di wilayah ini. Hal ini ditandai dengan ketinggian akuifer yang jauh lebih tinggi di bagian utara (32-68 meter) dibandingkan dengan bagian selatan (12 meter), yang mengindikasikan bahwa air tanah di utara merupakan sumber utama bagi daerah lain di Kapanewon Jetis.

**Kata Kunci:** Kapanewon Jetis; akuifer air tanah dangkal; Vertical Electrical Sounding (VES)

**Abstract.** *Jetis Subdistrict in Bantul Regency, Yogyakarta Special Region, is a densely populated area with a population density of approximately 2000 people per square meter. The presence of groundwater in Jetis Subdistrict can be an alternative solution for the community to meet their clean water needs, especially in emergency situations. The aim of this study is to map and identify shallow groundwater aquifer as an effort to conserve groundwater in Jetis Subdistrict. The Vertical Electrical Sounding (VES) method with Schlumberger configuration and a maximum spread length of 200 meters has been applied at 39 sounding points spread evenly across the entire study area, namely Jetis Subdistrict. The obtained resistivity varies from 3 Ωm to 800 Ωm with subsurface interpretation consisting of soil, shallow groundwater aquifer, breccia, and tuff, which are part of the Young Merapi Deposits (Qmi). Data analysis shows that the northern part of Jetis Subdistrict is the main recharge area for the aquifer in this region. This is indicated by the much higher aquifer level in the northern part (32-68 meters) compared to the southern part (12 meters), indicating that groundwater in the north is the main source for other areas in Jetis Subdistrict.*

**Keywords:** *Jetis Subdistrict; shallow groundwater aquifer; Vertical Electrical Sounding (VES)*

## PENDAHULUAN

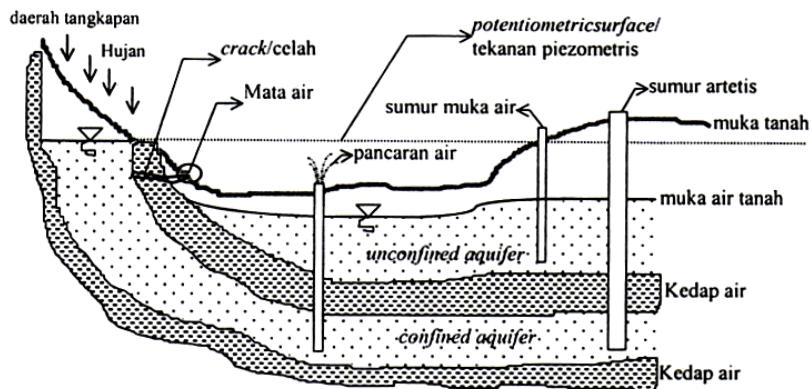
Kapanewon Jetis merupakan daerah padat penduduk di Kabupaten Bantul, Yogyakarta dengan kurang lebih 58 ribu jiwa dalam satu Kapanewon, dengan tingkat kepadatan penduduk sekitar 2000 jiwa/m<sup>2</sup> (Badan Pusat Statistik Kabupaten Bantul, 2024). Keadaan ini tentu saja membutuhkan perhatian khusus dari pemerintah setempat, terutama dalam penanganan kebutuhan air bersih bagi masyarakat. Potensi keberadaan air bersih di permukaan semakin berkurang dengan banyaknya produksi sumur dangkal di permukaan. Keberadaan air bawah permukaan yang ada di Kapanewon Jetis dapat membantu masyarakat dalam pemenuhan air bersih dalam kondisi darurat.

Pemetaan dan identifikasi potensi air tanah bawah permukaan dapat dilakukan menggunakan metode Geofisika (Telford et al., 1990; Zakaria, 2019a, 2019b; Zakaria & Suyanto, 2020). Pendekatan metode Geofisika yang digunakan adalah metode Geolistrik. Metode Geolistrik memanfaatkan arus listrik buatan yang diinjeksikan ke bawah permukaan dan mendapatkan respon kelistrikan bawah permukaan. Respon kelistrikan berupa nilai resistivitas batuan tersebut dapat menggambarkan variasi potensi air tanah di bawah permukaan (Gyulai et al., 2017; Zakaria et al., 2021). Resistivitas sendiri merupakan kemampuan batuan dalam menghambat arus listrik yang melewatinya. Nilai resistivitas sangat baik dalam membedakan litologi-litologi dan batuan di bawah permukaan serta kandungan fluida yang ada didalamnya. Air dalam pori akan cenderung menurunkan nilai resistivitas daripada batuan asalnya (Reynolds, 2011), sehingga metode geolistrik akan sesuai dalam eksplorasi air tanah di bawah permukaan. Metode geolistrik terdiri dari beberapa konfigurasi yang penggunaannya tergantung pada target eksplorasi. Konfigurasi Schlumberger menghasilkan profil 1D yang cocok digunakan pada identifikasi perlapisan (Reynolds, 2011). Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger sering disebut juga sebagai *Vertical Electrical Sounding (VES)*. Untuk target air tanah yang sifatnya melampir akan cocok menggunakan metode ini, terbukti beberapa peneliti menggunakan konfigurasi Schlumberger dalam eksplorasi air tanah (Hasan et al., 2021; Irawan et al., 2024; Kamur et al., 2024; Krisnasiwi & Sundari, 2021).

Pemetaan dan identifikasi bawah permukaan juga merupakan salah satu upaya konservasi air tanah di suatu daerah. Dengan mengetahui daerah-daerah yang berpotensi air tanah bawah permukaan, serta arah aliran air tanah tersebut, maka dapat ditentukan area-area konservasi yang harus dijaga kelestarian dan kondisi permukaan di daerah tersebut.

## AIR TANAH DAN GEOLOGI LOKAL

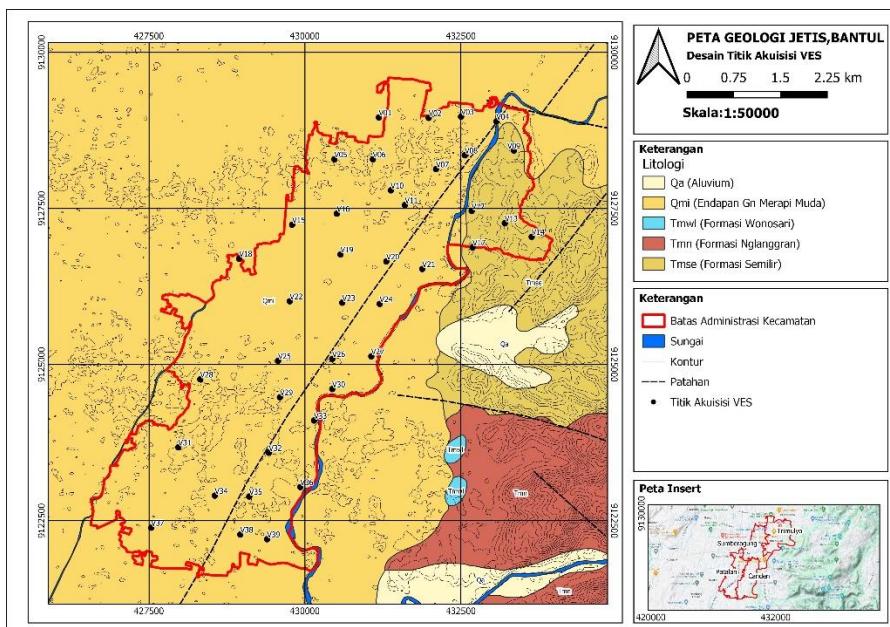
Air tanah didefinisikan sebagai air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah (INDONESIA, 2019). Air tanah juga didefinisikan sebagai semua air yang terdapat dalam ruang batuan dasar atau regolith dapat juga disebut aliran yang secara alami mengalir ke permukaan tanah melalui pancaran atau rembesan (Prastistho et al., 2018). Terdapat beberapa jenis air tanah, diantaranya: (Kodoatie, 2021). Akuifer bebas (*unconfined aquifer*), Akuifer tertekan (*confined aquifer*), dan Akuifer semi tertekan (*leaky aquifer*). Di antara ketiganya, akuifer tertekan memiliki potensi air tanah yang paling besar. Air tanah ini memiliki kedalaman yang cukup dalam dan ketebalan yang tebal. Gambaran akuifer dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Penampang melintang akuifer tertekan (*confined aquifer*) dan akuifer tak tertekan (*unconfined aquifer*) (Kodoatie, 2021)

Daerah daratan di mana hujan turun ke akuifer disebut daerah imbuhan (*recharge area*). Area ini umumnya memiliki karakteristik pergerakan aliran air tanah vertikal ke bawah. Area ini umumnya banyak dipengaruhi oleh gravitasi atau aliran air tanah yang mengikuti kemiringan akuifer (Purwanto et al., 2022). Akuifer adalah suatu area tanah atau batuan di bawah tanah yang mempunyai banyak celah dan ruang serta mempunyai kemampuan menyimpan air

Secara geologi, daerah penelitian terdiri satu litologi atau formasi yaitu Endapan Gunung Merapi Muda (Gambar 2). Endapan Gunungapi Merapi Muda berumur Kuarter dan terdiri dari material lepas sebagai hasil kegiatan letusan Gunungapi Merapi. Endapan Gunungapi Merapi Muda terdiri dari beberapa batuan, berupa tuf, abu, breksi, agglomerat, dan lelehan lava tak terpilahan (Rahardjo et al., 1995). Batuan-batuan ini memiliki potensi menjadi akuifer karena memiliki porositas yang cukup besar.



**Gambar 2.** Peta Geologi Daerah Jetis (modifikasi dari Rahardjo et al., 1995) dan persebaran titik VES

## METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode Vertical Electrical Sounding (VES) yang termasuk ke dalam metode geolistrik aktif. Pada metode ini, arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus dan beda potensial yang terjadi diukur melalui dua buah elektroda potensial (Reynolds, 2011; Telford et al., 1990). Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda berbeda

kemudian dapat diturunkan variasi harga tahanan jenis (resistivitas) masing-masing lapisan bawah permukaan bumi yang berada di bawah titik ukur (*sounding point*). Setiap medium pada dasarnya memiliki nilai resistivitas yang dipengaruhi oleh batuan penyusun/ komposisi mineral, homogenitas batuan, kandungan mineral, kandungan air, permeabilitas, tekstur, suhu, dan umur geologi (Reynolds, 2011).

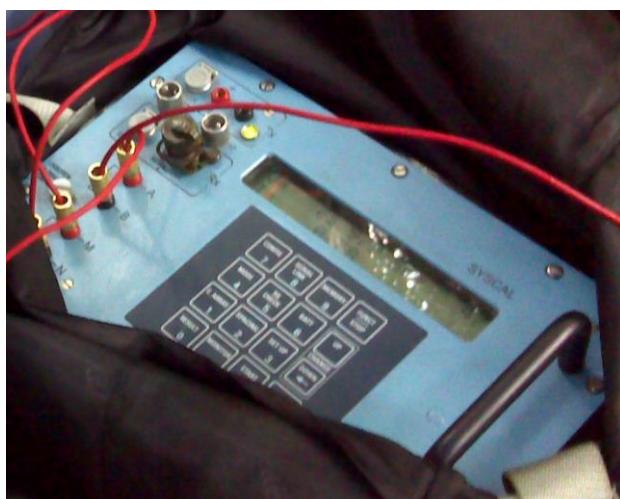
Dalam medan homogen, maka resistivitas semu adalah resistivitas yang sebenarnya dan tidak tergantung spasi elektrodanya. Karena medium Bumi yang tidak homogen (heterogen), maka kenyataan di lapangan bahwa bumi berlapis-lapis dengan masing-masing perlapisan batuan mempunyai nilai resistivitas tertentu. Pada metode ini, resistivitas yang terukur (*apparent resistivity*) bukan resistivitas sebenarnya dan tergantung dari spasi elektrodanya dengan rumusan (Reynolds, 2011).

$$\rho_a = k \frac{V}{I}$$

Dengan  $k$  merupakan faktor geometri yang nilainya bergantung konfigurasi yang digunakan, spasi elektroda arus (AB), dan spasi elektroda potensial (MN). Dalam penelitian ini digunakan Konfigurasi Schlumberger dengan nilai faktor geometris sebagai berikut (Reynolds, 2011):

$$k = \pi \frac{AB^2 - MN^2}{4MN}$$

Peralatan yang digunakan berupa *Resistivitymeter Syscal Junior* (Gambar 3), dua buah elektroda arus, dua buah elektroda potensial, 4 kabel gulung, dan satu buah aki 12V. Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan data di Kapanewon Jetis sejumlah 39 titik data VES tersebar di seluruh area penelitian (Gambar 2), dengan bentangan sepanjang 200 meter.



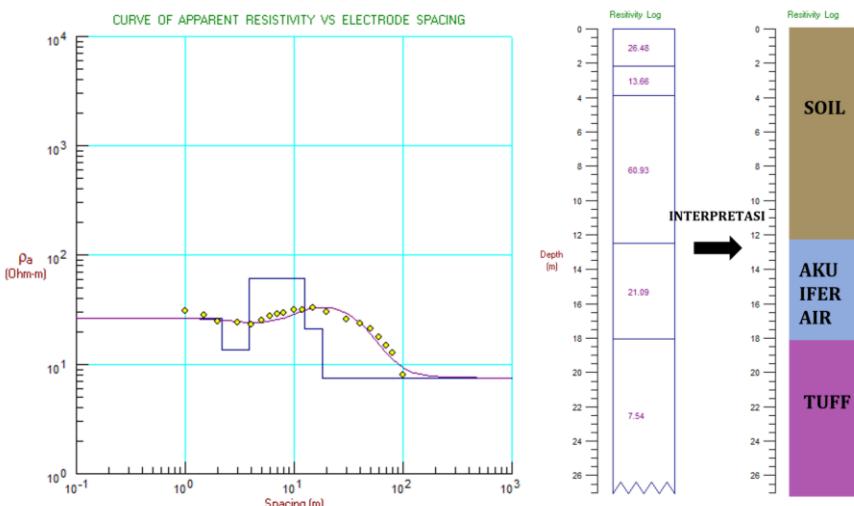
Gambar 3. Resistivitymeter Syscal Junior (dokumentasi pribadi)

Data yang baik ditunjukkan oleh kurva yang *smooth* dan jika naik tidak lebih dari 45°. Pengolahan menggunakan *software Progress* akan jauh lebih mudah ketika QC terlaksanakan dengan baik. Untuk memperoleh hasil resistivitas bawah permukaan, dilakukan proses *forward modeling* dan *inverse modeling* pada *Progress*. Hasil resistivitas bawah permukaan diinterpretasikan sebagai lapisan-lapisan batuan sesuai dengan referensi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data lapangan dilakukan pada 2 Juni 2024 hingga 10 Juni 2024 di Kapanewon Jetis, Kabupaten Bantul. Dari akuisisi data ini diperoleh 39 titik VES, yang tersebar di seluruh area Kapanewon Jetis yang berada pada Formasi Semilir (Tmse) dan Endapan Gunung Merapi Muda (Qmi) seperti pada Gambar 2. Pengolahan inversi 1D dilakukan dengan membandingkan *forward modelling* (garis ungu pada Gambar 4) dan

data lapangan (titik-titik kuning pada Gambar 4). Perbandingan keduanya digambarkan dalam *RMS error*. Model resistivitas (garis warna biru tua pada Gambar 4) akan disesuaikan sampai dengan mendapatkan *error* yang kecil. Hasil akhir dari pengolahan merupakan profil 1D bawah permukaan (Gambar 4 bagian tengah) yang akan diinterpretasikan menjadi litologi di bawah permukaan sesuai dengan nilai resistivitas yang ada dihasilkan. Error dari pengolahan data bervariasi antara 7% dengan maksimal error 10%. Beberapa error data dapat dilihat pada tabel 2.



**Gambar 4.** Proses pengolahan data dan interpretasi data geolistrik

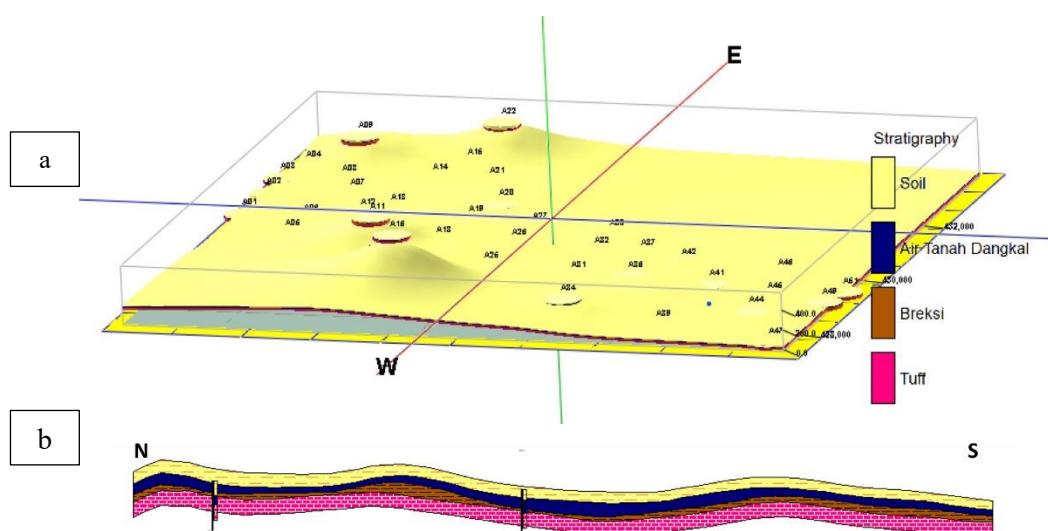
Dari hasil pengolahan menunjukkan beberapa titik memberikan respon turun di awal grafik yang memberikan informasi mengenai keberadaan akuifer air tanah dangkal yang berada pada lapisan batupasir (11  $\Omega\text{m}$  – 45  $\Omega\text{m}$ ). Selain air tanah dangkal, batuan yang teridentifikasi berupa *soil*, *tuff*, dan breksi yang merupakan bagian dari Endapan Gunung Merapi Muda (Qmi) (Rahardjo et al., 1995). Lapisan soil memiliki nilai resistivitas yang bervariasi dari rendah hingga tinggi karena terdiri dari lapukan batuan di daerah maupun tanah urugan dan berada pada lapisan paling atas di dekat permukaan. Breksi adalah batuan sedimen klastik yang terdiri dari fragmen batuan yang menyudut berukuran besar ( $>64$  mm) terikat oleh matriks yang lebih halus, dengan resistivitas yang relatif tinggi (Reynolds, 2011; Telford et al., 1990) yang memiliki rentang 70  $\Omega\text{m}$  hingga 800  $\Omega\text{m}$ . Selanjutnya, *tuff* merupakan batuan piroklastik yang terbentuk dari endapan abu vulkanik yang memiliki resistivitas rendah (Reynolds, 2011; Telford et al., 1990) dengan rentang 3  $\Omega\text{m}$  hingga 9  $\Omega\text{m}$ . Hasil interpretasi keseluruhan titik dapat dilihat pada Tabel 1. Interpretasi ini akan dikorelasikan secara 3D dan 2D (Gambar 5a dan 5b), serta dibuat persebaran kedalaman dan ketinggian permukaan air tanah dangkal dalam peta (Gambar 6 dan Gambar 7).

**Tabel 1.** Interpretasi litologi dari nilai resistivitas batuan (Reynolds, 2011; Telford et al., 1990)

Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Interpretasi
3 – 190	<i>Soil</i>
(Bervariasi di lapisan paling atas)	
11 – 45	Akuifer air tanah dangkal
70 – 800	Breksi
3 – 9	<i>Tuff</i>

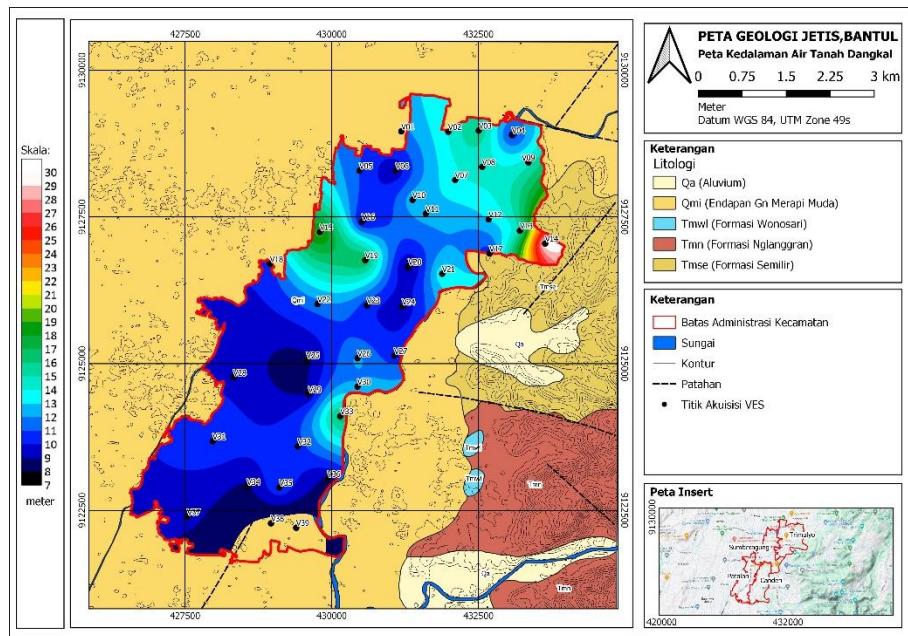
**Tabel 2.** Interpretasi titik geolistrik dan error data

No	Titik	X	Y	Z	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ohm.m)	Interpretasi	Error Data
1	V01	431185	9128958	68	0	11.73	14.94-184.18 (Bervariasi)	Soil	14.85%
					11.73	8.06	14.67	Air Tanah Dangkal	
					19.79	~	526.21	Breksi	
2	V05	430472	9128288	80	0	11.03	34.07-70.96 (Bervariasi)	Soil	6.77%
					11.03	10.04	11.4	Air Tanah Dangkal	
					21.07	10.58	82.9	Breksi	
					31.65	~	6.79	tuff	
3	V10	431376	9127791	70	0	12.74	8.19-58.88 (Bervariasi)	Soil	4.50% (terdapat sumur warga kedalaman: 5 m)
					12.74	3.44	12.98	Air Tanah Dangkal	
					16.18	~	2.89	Tuff	
4	V20	431306	9126652	61	0	8.46	25.06-65.41 (Bervariasi)	Soil	4.33%
					8.46	9.02	15.9	Air Tanah Dangkal	
					17.48	21.1	95.95	Breksi	
					38.58	~	3.03	Tuff	
5	V25	429569	9125060	39	0	8.69	6.59-34.96 (Bervariasi)	Soil	9.38% (terdapat sumur warga: kedalaman 6 m)
					8.69	4.63	21.67	Air Tanah Dangkal	
					13.32	38.31	100.25	Breksi	
					51.63	~	308.66	Breksi	
6	V31	429107	9122887	43	0	10.89	4.31-74.45 (Bervariasi)	Soil	5.46% (terdapat sumur warga kedalaman 11 meter)
					10.89	9.61	25.89	Air Tanah Dangkal	
					20.5	~	110.4	Breksi	
7	V39	429393	9122203	35	0	7.03	34.25-92.52 (Bervariasi)	Soil	4.38%
					7.03	2.51	15.17	Air Tanah Dangkal	
					9.54	15.22	58.3	Breksi	
					24.76	~	4.64	Tuff	



**Gambar 5.a.** Distribusi soil, akuifer air tanah dangkal, breksi dan tuff pada area penelitian; b. Penampang 2D dari utara ke selatan area penelitian.

Persebaran *soil*, akuifer air tanah dangkal, breksi, dan *tuff* terlihat di Gambar 5a. Penampang pada Gambar 5b memperlihatkan bahwa seluruh batuan melampar di sepanjang daerah penelitian, begitu juga dengan akuifer air tanah dangkal. Akuifer berada pada endapan Gunung Merapi Muda (Qmi).



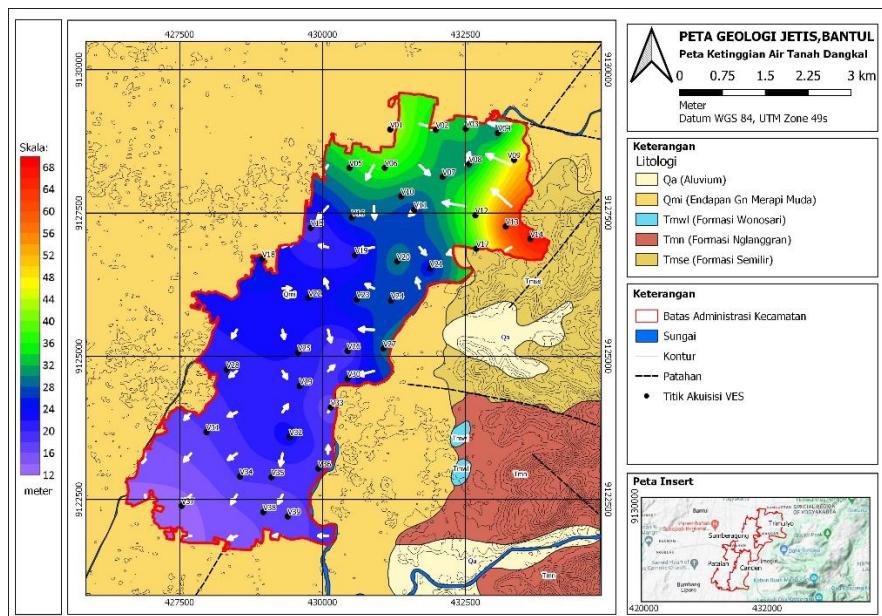
Gambar 6. Peta kedalaman air tanah;



Gambar 7. (a) Sumur warga di Kecamatan Jetis dekat titik V25, (b) Sumur warga dekat titik V31 (tampak luar di atas, tampak dalam di bawah), (c) Sumur warga dekat titik V10.

Analisis kedalaman akuifer tiap titik dapat memberikan hasil peta kedalaman air tanah (Gambar 6a). Di bagian utara kedalaman akuifer air tanah relatif dangkal, sedangkan di bagian selatan lebih dalam. Bagian utara memiliki kedalaman akuifer 20-30 meter, sedangkan di daerah selatan 7-10 meter. Hasil interpretasi kedalaman

akuifer dari data resistivitas menunjukkan korelasi yang baik dengan data pengukuran muka air tanah pada sumur warga di dekat titik V25, V31, dan V10 yang memiliki kedalaman masing-masing 6 meter, 11 meter, dan 5 meter (Gambar 7). Kedalaman akuifer yang diperoleh dari kedua metode tersebut menunjukkan nilai yang hampir identik, sehingga memperkuat validitas hasil interpretasi.



**Gambar 8.** Peta ketinggian air tanah dan arah aliran air tanah, garis putih menunjukkan aliran air tanah dangkal

Ketinggian atau elevasi akuifer air tanah dangkal (Gambar 7) dapat diperoleh dari elevasi permukaan dikurangi kedalaman akuifer. Daerah utara relatif memiliki ketinggian akuifer lebih tinggi (32-68 meter) dibandingkan daerah selatan (12 meter) Kapanewon Jetis. Hal ini menunjukkan bahwa bagian utara Kecamatan Jetis merupakan *recharge area* dari akuifer di Kapanewon Jetis. Tanda panah putih menunjukkan arah pengaliran air tanah dangkal. Air tanah dangkal mengalir dari bagian utara ke bagian tengah dan bagian selatan daerah penelitian.

Dengan memahami bahwa bagian utara merupakan daerah resapan utama, upaya konservasi air tanah di Kapanewon Jetis harus difokuskan pada perlindungan wilayah tersebut dari alih fungsi lahan, pencemaran, dan kerusakan lingkungan lainnya. Dengan demikian, ketersediaan air tanah dapat terjaga untuk memenuhi kebutuhan masyarakat saat ini dan masa depan.

## PENUTUP

### Simpulan dan Saran

Penelitian yang dilakukan memberikan hasil resistivitas batuan dengan rentang  $3 \Omega\text{m}$  hingga  $800 \Omega\text{m}$ . Berdasarkan nilai resistivitas yang diperoleh, dapat diinterpretasikan bahwa bawah permukaan Jetis terdiri dari berbagai jenis material, mulai dari *soil*, akuifer dangkal, hingga batuan breksi dan *tuff*. Analisis lebih lanjut terhadap data resistivitas menunjukkan bahwa bagian utara Jetis berperan sebagai daerah resapan utama bagi akuifer di wilayah ini, hal ini dibuktikan dengan ketinggian muka air tanah yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan bagian selatan. Temuan ini mengindikasikan bahwa air tanah di bagian utara merupakan sumber utama bagi wilayah lain di Jetis.

Untuk mencapai pengelolaan air tanah yang berkelanjutan, disarankan untuk melakukan kolaborasi multidisiplin, memanfaatkan teknologi informasi geospasial, dan melibatkan masyarakat secara aktif dalam proses pengambilan keputusan. Pendekatan yang terintegrasi ini akan menghasilkan solusi yang lebih efektif dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik Kabupaten Bantul. (2024). *Badan Pusat Statistik Kabupaten Bantul*. <https://bantulkab.bps.go.id/id>

Gyulai, Szűcs, P., Turai, E., Baracza, M. K., & Fejes, Z. (2017). Geoelectric Characterization of Thermal Water Aquifers Using 2.5D Inversion of VES Measurements. In *Surveys in Geophysics* (Vol. 38, Issue 2, pp. 503–526). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10712-016-9393-z>

Hasan, M. F. R., p Azhari, A., & Agung, P. A. M. (2021). Investigasi Sumber Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger Dan Pengeboran. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 7(2).

INDONESIA. (2019). UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 17 TAHUN 2019 TENTANG SUMBER DAYA AIR. In *UNDANG-UNDANG*.

Irawan, L. Y., Arinta, D., Panoto, D., Pradana, I. H., Sulaiman, R., Nurrizqi, E., & Prasad, R. R. (2024). Identifikasi karakteristik akuifer dan potensi air tanah dengan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger di Desa Arjosari, Kecamatan Kalipare, Kabupaten Malan. *Jurnal Pendidikan Geografi: Kajian, Teori, Dan Praktek Dalam Bidang Pendidikan Dan Ilmu Geografi*, 27(1), 9.

Kamur, S., Iskandar, A., & Awal, S. (2024). Analisis Potensi Air Tanah Di Kecamatan Molawe Kabupaten Konawe Utara Menggunakan Geolistrik S-Field Multichannel Metode Wenner. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 5(3), 314–319.

Kodoatie, R. J. (2021). *Tata ruang air tanah*. Penerbit Andi.

Krisnasiwi, I. F., & Sundari, W. (2021). Pendugaan potensi air tanah menggunakan metode geolistrik di Desa Oeseli dan Desa Oelolot Kecamatan Rote Barat Laut Kabupaten Rote Ndao Propinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Teknologi*, 15(2), 64–72.

Prastistho, B., Pratiknyo, P., Rodhi, A., Prasetyadi, C., Massora, M. R., & Munandar, Y. K. (2018). *Hubungan Struktur Geologi dan Sistem Air Tanah*. LPPM UPN “Yogyakarta” Press.

Purwanto, M. S., Fajar, M. H. M., Haq, Z. M., Fachyeni, A. S., Dewi, I. S., Amalina, S., & Sari, U. I. (2022). Penentuan Recharge Area Pada Kabupaten Tanah Datar Menggunakan Citra Landsat 8 Dan Sistem Informasi Geografis (Sig). *Jurnal Geosaintek*, 8(3), 242–249.

Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H. M. D. (1995). *Peta geologi lembar Yogyakarta, Jawa [peta]*. <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=141772>

Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons.

Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). Applied geophysics. 2nd edition. *Applied Geophysics. 2nd Edition*.

Zakaria, M. F. (2019a). Identifikasi Akuifer Air Tanah Dalam Menggunakan Metode Geolistrik Schlumberger di Desa Wedomartani, Kabupaten Sleman. *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan*, 3(1), 20–25.

Zakaria, M. F. (2019b). Identifikasi Akuifer Air Tanah Dalam Menggunakan Metode Geolistrik Schlumberger di Desa Wedomartani, Kabupaten Sleman. *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan*, 3(1), 20. <https://doi.org/10.31315/jmel.v3i1.2743>

Zakaria, M. F., Kusumayudha, S. B., Prastistho, B., Rahatmawati, I., & Setyaningrum, T. (2021). Subsurface identification as preliminary survey of geo-ecotourism cave development using Electrical Tomography Resistivity (ERT) method in Tritis Cave and its surroundings. *AIP Conference Proceedings*, 2363(1).

Zakaria, M. F., & Suyanto, I. (2020). Identifikasi akuifer air tanah di Desa Senawang, Kecamatan Orong Telu, Kabupaten Sumbawa menggunakan metode geolistrik schlumberger. *Jurnal Fisika*, 10(1), 44–49.