

## Perbandingan Metode Geolistrik dengan Metode *Audio Magnetotelluric* (ADMT) pada Uji Posisi Akuifer di Rumah Sakit Universitas Udayana

## Comparison of Geoelectric Method with Audio Magnetotelluric Method (ADMT) in Aquifer Position Testing at Udayana University Hospital

Rani Junita Marbun<sup>1\*</sup>, I Nengah Simpen<sup>1</sup>, I Nengah Sandi<sup>1</sup>, Komang Ngurah Suarbawa<sup>1</sup>, Ni Nyoman Rupiasih<sup>1</sup>, Wayan Gede Suharta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

Email: [\\*ranijunitamarbu123@gmail.com](mailto:*ranijunitamarbu123@gmail.com); [simpen.nengah@yahoo.com](mailto:simpen.nengah@yahoo.com); [nengahsandi@unud.ac.id](mailto:nengahsandi@unud.ac.id); [suarbawa@unud.ac.id](mailto:suarbawa@unud.ac.id); [rupiasih@unud.ac.id](mailto:rupiasih@unud.ac.id); [gede\\_suharta@unud.ac.id](mailto:gede_suharta@unud.ac.id)

**Received: 14<sup>th</sup> May 2025; Revised: 17<sup>th</sup> May 2025; Accepted: 20<sup>th</sup> May 2025**

**Abstrak** – Air tanah merupakan sumber daya penting untuk menunjang kehidupan, termasuk di Rumah Sakit Universitas Udayana yang membutuhkan pasokan air bersih yang stabil. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode geolistrik konfigurasi Wenner dengan metode *Audio Magnetotelluric* (ADMT) dalam mengidentifikasi posisi akuifer. Pengukuran dilakukan di sekitar sumur bor rumah sakit dengan panjang lintasan 230 m untuk metode geolistrik dan 50 m untuk metode ADMT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan metode geolistrik, posisi akuifer terdeteksi pada kedalaman 30-37 m dengan resistivitas 77,5-144  $\Omega$ m dan dengan metode ADMT pada kedalaman 30-38 m dengan resistivitas 1-3  $\Omega$ m. Dari segi waktu, metode ADMT lebih unggul dengan waktu total 50 menit dan pada metode geolistrik waktu total 3 jam 20 menit. Dari aspek biaya, metode geolistrik lebih ekonomis yaitu dengan biaya alat sekitar Rp 126.000.000, dan metode ADMT dengan biaya alat sekitar Rp 205.000.000. Metode ADMT lebih akurat dalam mendeteksi posisi akuifer yaitu dengan akurasi 96% dengan jangkauan kedalaman 100 m, sedangkan akurasi metode geolistrik 92% dengan kedalaman 37 m. Dari hasil-hasil tersebut, metode ADMT direkomendasikan untuk eksplorasi air tanah yang lebih akurat dan efisien.

**Kata kunci:** Geolistrik; *Audio Magnetotelluric* (ADMT); akuifer; resistivitas; eksplorasi air tanah.

**Abstract** – Groundwater is an important resource for supporting life, including at Udayana University Hospital, which requires a stable supply of clean water. This study aims to compare the Wenner configuration geoelectric method with the *Audio Magnetotelluric* (ADMT) method in identifying the position of aquifers. Measurements were conducted around the hospital borehole with a track length of 230 m for the geoelectric method and 50 m for the ADMT method. The results showed that with the geoelectric method, the aquifer position was detected at a depth of 30-37 m with a resistivity of 77.5-144  $\Omega$ m and with the ADMT method at a depth of 30-38 m with a resistivity of 1-3  $\Omega$ m. In terms of time, the ADMT method is superior, with a total time of 50 minutes and the geoelectric method with a total time of 3 hours 20 minutes. From the cost aspect, the geoelectric method is more economical, with a tool cost of around Rp 126,000,000, and the ADMT method with a tool cost of around Rp 205,000,000. The ADMT method is more accurate in detecting the position of aquifers with an accuracy of 96% with a depth range of 100 m, while the accuracy of the geoelectric method is 92% with a depth of 37 m. Based on these results, the ADMT method is recommended for more accurate and efficient groundwater exploration.

**Keywords:** Geoelectric; *Audio Magnetotelluric* (ADMT); aquifer; resistivity; groundwater exploration.

## 1. Pendahuluan

Air merupakan kebutuhan dasar yang tidak tergantikan bagi seluruh makhluk hidup di bumi. Selain sebagai konsumsi, air juga digunakan dalam aktivitas seperti pertanian, industri dan layanan publik. Seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan pertumbuhan wilayah, kebutuhan akan ketersediaan air bersih semakin meningkat secara signifikan. Dalam banyak kasus, sumber air permukaan seperti sungai dan danau tidak mampu lagi mencukupi kebutuhan tersebut, sehingga air tanah menjadi salah satu alternatif yang diandalkan [1].

Air tanah adalah air yang tersimpan di dalam pori-pori tanah dan celah-celah batuan di bawah permukaan bumi. Keberadaan dan distribusi air tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi dan hidrogeologi suatu wilayah. Salah satu satuan geologi penting dalam sistem air tanah adalah akuifer, yaitu lapisan geologi yang mampu menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah cukup untuk dimanfaatkan secara berkelanjutan. Akuifer biasanya terdiri dari material berpori seperti pasir, kerikil atau batuan retakan dan memiliki peran penting dalam sistem penyediaan air bersih, khususnya pada daerah yang tidak memiliki cukup sumber air permukaan [2].

Rumah sakit universitas Udayana merupakan salah satu infrastruktur yang sangat membutuhkan kapasitas air bersih yang cukup untuk mendukung operasional pelayanan kesehatan. Oleh karena itu perlu dilakukan identifikasi akuifer sekitar sumur bor yang berada di Rumah Sakit Universitas Udayana apakah sudah sesuai berada pada posisi akuifer yang ditemukan [3].

Pendekatan yang banyak digunakan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan dan keberadaan akuifer yaitu metode geolistrik dan metode Audio Magnetotelluric (ADMT). Metode geolistrik bekerja dengan mengalirkan arus listrik melalui dua elektroda arus dan 2 elektroda beda potensial dan metode Audio Magnetotelluric (ADMT) bekerja menggunakan medan elektromagnetik alami domain frekuensi yang mampu menyelidiki kedalaman yang lebih besar dibandingkan metode geolistrik [4].

Kedua metode ini memiliki karakteristik, kedalaman jangkauan, serta resolusi yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas metode geolistrik konfigurasi Wenner dan ADMT dalam mendeteksi dan memetakan posisi serta kedalaman akuifer di kawasan Rumah Sakit Universitas Udayana.

## 2. Landasan Teori

### 2.1. Air tanah

Air tanah merupakan air yang menempati ruang di antara butir tanah atau rekahan batuan pada lapisan geologi bawah permukaan. Air ini berasal dari air hujan yang meresap ke dalam tanah, kemudian bergerak melalui lapisan geologi yang permeabel dan tertahan dalam satuan batuan yang disebut akuifer [5]. Pengambilan air tanah umumnya dilakukan dengan pengeboran sumur dalam hingga kedalaman lebih dari 200 meter, yang kemudian dipompa untuk dimanfaatkan. Sebagai bagian dari sistem hidrogeologi, air tanah sangat dipengaruhi oleh jenis batuan penyusunnya dan klasifikasi litologinya, termasuk formasi akuifer, akuitar, akuikud, dan akuifug [6]. Air tanah banyak ditemukan pada akuifer, yaitu formasi pengikat air tanah atau formasi yang dapat disebut reservoir air tanah. Formasi ini sangat memungkinkan mengikat air tanah dalam jumlah yang besar dan bergerak melaluinya dan di bawah permukaan terdapat sejumlah akuifer [7].

### 2.2. Metode geolistrik

Metode geolistrik tahanan jenis bekerja dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah melalui dua elektroda arus (A dan B), kemudian mengukur beda potensial menggunakan dua elektroda potensial (M dan N). Berdasarkan hukum Ohm dan distribusi arus dalam medium homogen, diperoleh nilai resistivitas semu dari Persamaan (1).

$$\rho_{a_g} = K_w \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Dimana  $\rho_{a_g}$  = resistivitas semu geolistrik ( $\Omega m$ ),  $K_w$  = faktor geometri (konstanta) jarak elektroda,  $\Delta V$  = beda potensial (V),  $I$  = arus listrik (A).

Terdapat beberapa konfigurasi elektroda dalam metode geolistrik resistivitas salah satunya yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, konfigurasi wenner. Konfigurasi Wenner menggunakan empat

elektroda yang ditempatkan sejajar dengan jarak sama antar elektroda. Konfigurasi ini sangat sensitif terhadap perubahan vertikal resistivitas dan cocok untuk mendeteksi lapisan-lapisan akuifer pada kedalaman dangkal hingga menengah [8].

### 2.3. Metode Audio Magnetotelluric (ADMT)

Metode ADMT merupakan suatu metode dalam geofisika yang bekerja berdasarkan gelombang elektromagnetik domain frekuensi [9]. Peralatan ADMT merupakan suatu instrumen yang dikembangkan dan dirancang oleh perusahaan AIDU bersama dengan Guilin Institute of Hydrogeological Exploration and Research. Metode ADMT memiliki prinsip kerja yang didasarkan pada proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada anomali bawah permukaan. Medan elektromagnetik yang menembus bawah permukaan akan menembus bawah permukaan bumi sehingga menghasilkan arus sekunder (*Eddy current*). Metode ADMT secara garis besar memanfaatkan medan elektromagnetik yang mempunyai korelasi dari hukum Maxwell. Fenomena gelombang elektromagnetik ini diturunkan dari persamaan Maxwell, Persamaan (2)-(5) [10].

$$\nabla \cdot \vec{E} = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (4)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (5)$$

Dimana  $E$  = intensitas medan listrik (V/m),  $B$  = induksi medan magnetic (T atau Wb/m<sup>2</sup>),  $H$  = intensitas medan magnetic (A/m),  $J$  = rapat arus listrik (A/m<sup>3</sup>),  $D$  = perpindahan dielektrik (C/m<sup>2</sup>),  $\rho$  = rapat muatan listrik (C/m<sup>3</sup>).

Medan elektromagnetik dengan frekuensi tinggi memiliki daya tembus yang lebih kecil dibandingkan dengan elektromagnetik yang berfrekuensi rendah. Dapat dikatakan bahwa semakin kecil frekuensi yang digunakan, maka daya penetrasi gelombang elektromagnetik akan semakin dalam. Jangkauan gelombang elektromagnetik menembus material sehingga memiliki intensitas sebesar 1/e dari intensitas semula disebut *skin depth*. *Skin depth* merupakan jarak ( $\delta$ ) sepanjang kuat medan listrik teratenuasi oleh 1/e dari kuat

medan listrik awal [11]. Selama  $\sqrt{\frac{i\omega\mu\sigma}{2}}z = e^{-1}$  maka *skin depth* dapat dituliskan dengan Persamaan (6).

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \approx 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{f}} (m) \quad (6)$$

Untuk pengukuran dimana  $E$  tegak lurus terhadap  $H$ , maka didapatkan informasi mengenai resistivitas semu bumi diperoleh dengan menggunakan hubungan antara medan listrik dan medan magnet, yang dikenal sebagai impedansi ( $Z$ ) dengan Persamaan (7).

$$Z = \frac{E}{H} \quad (7)$$

Dimana  $Z$  = impedansi ( $\Omega$ ),  $E$  = Komponen medan listrik (V/m),  $H$  = Komponen medan magnet (A/m). Nilai resistivitas semu bawah permukaan diperoleh dari transformasi impedansi terhadap frekuensi. Semakin rendah resistivitas, semakin besar kemungkinan zona tersebut merupakan akuifer karena air tanah bersifat konduktif [9].

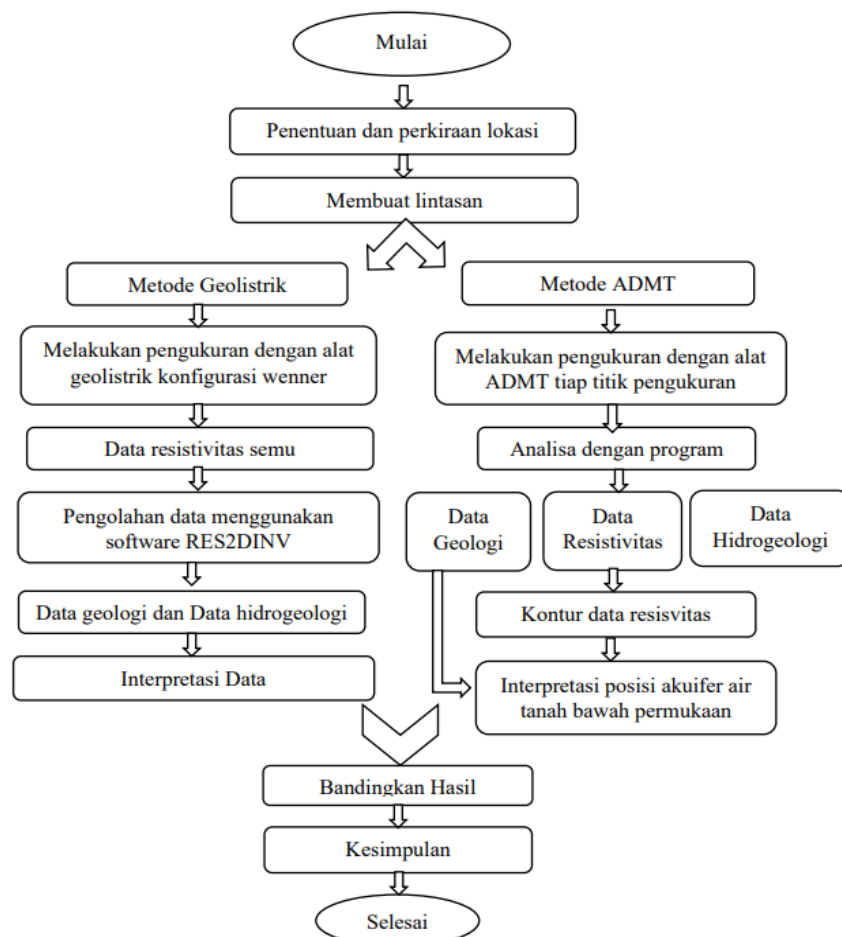
### 3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2025 di lingkungan Rumah Sakit Universitas Udayana yang berada di wilayah Bukit Jimbaran, Kecamatan Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Alat yang digunakan pada penelitian ini, dengan metode geolistrik yaitu *Resistivity* meter otomatis, kabel untuk mengalirkan arus, elektroda untuk tancapan dalam pengukuran, palu untuk menancapkan elektroda, rol meter untuk mengukur jarak elektroda, aki 12 V sebagai sumber arus dan laptop yang telah di install program RES2DINV untuk pengolahan data. Pada metode ADMT alat yang digunakan yaitu satu set ADMT 300 HT2 untuk melakukan pengukuran, meteran 50 m untuk menentukan posisi pengukuran, hp android untuk perekam dan analisis data dan program AIDU untuk pengolahan data. Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Penelitian ini diawali dengan penentuan lokasi dan membuat lintasan. Pengukuran dilakukan pada lintasan yang sama dengan panjang lintasan yang berbeda yaitu pada geolistrik panjang lintasan 230 m dan pada metode ADMT 50 m. Pada metode geolistrik pengukuran dilakukan dengan elektroda ditancapkan dengan titik yang telah ditentukan dan memenuhi aturan konfigurasi wenner. Kemudian aki disambungkan ke kabel alat geolistrik, kemudian kabel disambungkan ke elektroda dengan penjepit disambungkan juga ke alat pengukur geolistrik, masing-masing pada arus dan potensial. Setelah itu, nilai potensial (V) dipastikan dalam keadaan nol dengan memutar tombol coarse, jika nilai V sudah nol, output diputar ke angka 1. Tekan tombol start kurang lebih 5 detik dan tekan tombol hold, kemudian nilai resistivitas dicatat. Dilakukan hal yang sama untuk n2 dan seterusnya, dimana masing-masing elektroda dipasang jarak sesuai dengan n yang digunakan. Pada metode ADMT dilakukan lintasan pengukuran dalam arah melintang, kemudian titik-titik pengukuran ditentukan yaitu jarak antar titik 5 m. Setelah itu, alat ADMT dan hp android dihubungkan melalui *Bluetooth*, program AIDU dibuka dan lakukan pengukuran dengan meletakkan alat ADMT pada titik-titik pengukuran. Pada hp android menu “*New Measurement*” dipilih kemudian menu “*Measure*” diklik dan ditunggu hingga pengambilan data selesai. Menu “*Confirm*” diklik kemudian geser alat ADMT ke titik pengukuran selanjutnya sampai titik terakhir pengukuran.

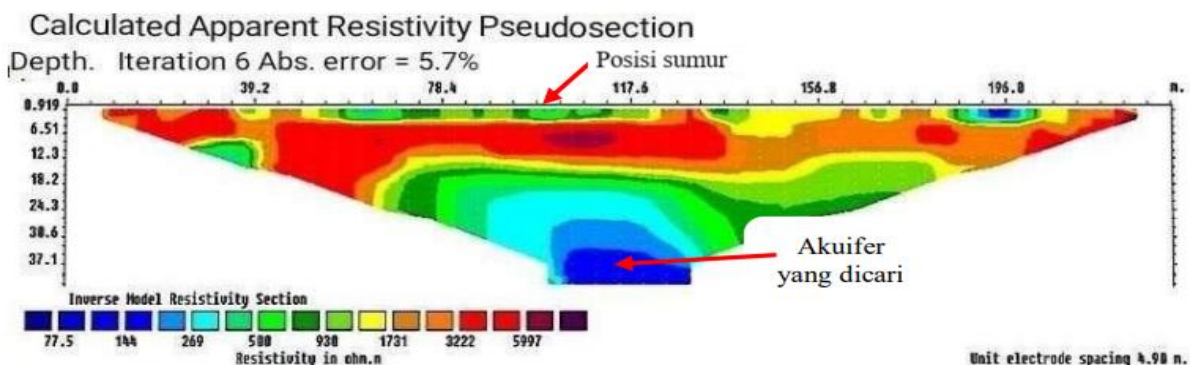
Pada geolistrik, analisis data dilakukan dengan menghitung nilai resistivitas semu dengan mengolah data hasil pengukuran lapangan dengan menggunakan Persamaan (1). Setelah diperoleh nilai resistivitas semu, kemudian disusun sesuai format yang dibaca oleh program RES2DINV dengan aturan konfigurasi Wenner, selanjutnya pada program RES2DINV data dapat diolah. Selanjutnya diinterpretasikan sesuai nilai resistivitas yang terdapat pada gambar penampang hasil pengolahan data program RES2DINV dengan cara mengklasifikasikan ke dalam rentang nilai resistivitas berdasarkan jenis litologi dan hidrogeologi. Pada metode ADMT, analisis data dilakukan menggunakan Hp android yaitu program AIDU dengan pilih menu “*Draw*” kemudian “*Isoline graph*”, tunggu beberapa saat sampai kontur resistivitas hasil pengukuran tampil.

#### 4. Hasil Dan Pembahasan

Pada penelitian ini, analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran metode geolistrik dan metode ADMT. Wilayah Rumah Sakit Universitas Udayana berada pada Formasi Selatan Bukit Jimbaran yang tersusun atas batu gamping dan terumbu yang berlapis serta berfosil. Batuan ini termasuk ke dalam klasifikasi akuifug atau lapisan yang tidak dapat dilalui air, kecuali jika terdapat retakan atau pelapukan yang menciptakan porositas sekunder.

##### 4.1. Hasil pengukuran geolistrik

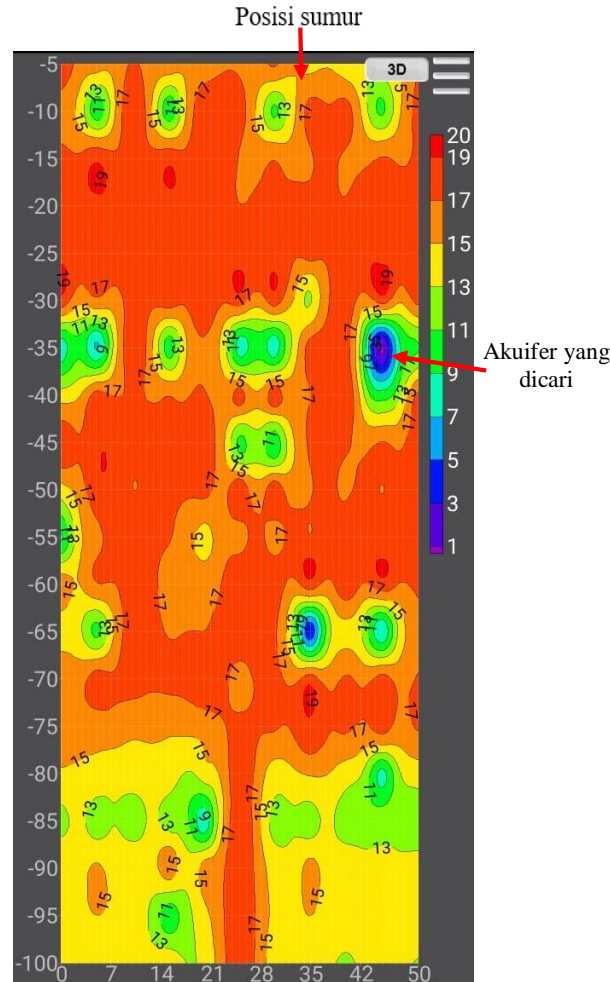
Metode geolistrik menunjukkan distribusi resistivitas dengan kedalaman hingga 37 m, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Dari hasil pemodelan 2D, pada kedalaman sekitar 30-37 m di tengah lintasan ditemukan zona dengan resistivitas 77,5-144  $\Omega\text{m}$ , yang diduga sebagai akuifer, yaitu kondisi dimana suatu lapisan mengandung air dan lapisan ini ditunjukkan oleh warna biru muda hingga biru tua, yang terdapat pada kedalaman 37,1 m.



Gambar 3. Kontur resistivitas pengukuran metode geolistrik.

#### 4.2. Hasil pengukuran metode ADMT

Metode ADMT menghasilkan kontur resistivitas hingga kedalaman 100 m seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Ditemukan zona resistivitas sangat rendah yaitu 1-3  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 30-38 m, yang diduga sebagai akuifer dan ditunjukkan oleh warna biru-ungu.



**Gambar 4.** Kontur resistivitas pengukuran metode ADMT.

#### 4.3. Perbandingan akurasi pengukuran

Akurasi pengukuran dalam mendeteksi akuifer antara metode geolistrik dan metode ADMT berdasarkan rentang kedalaman dan resistivitas ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Data perbandingan hasil pengukuran metode geolistrik dengan metode ADMT.

Metode	Kedalaman Akuifer (m)	Rentang Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Selisih Posisi Akuifer Hasil Pengukuran dengan Sumur Bor Unud (m)
Geolistrik	30-37	77,5-144	2
ADMT	30-38	1-3	1

Berdasarkan hasil pengukuran dilapangan, kedua metode sama-sama menunjukkan keberadaan zona akuifer pada kedalaman sekitar 30-38 m. Namun, terdapat perbedaan nilai resistivitas. Zona resistivitas rendah pada ADMT lebih tajam, sehingga memudahkan interpretasi keberadaan akuifer. Dari hasil pengolahan data dan pengecekan posisi sumur bor, metode ADMT memberikan hasil yang lebih dekat terhadap kedalaman dan posisi akuifer. Posisi akuifer hasil interpretasi ADMT hanya berselisih sekitar 1 m dari posisi sumur bor dengan akurasi 96%, sedangkan metode geolistrik memiliki selisih sekitar 2 m dengan akurasi 92%.

#### 4.4. Efisiensi waktu

Dalam penelitian ini, efisiensi waktu dalam pengukuran antara metode geolistrik dengan metode ADMT memiliki perbandingan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 tampak bahwa, metode ADMT lebih efisien dari segi waktu karena proses akuisisi dan pemrosesan dilakukan secara bersamaan menggunakan satu perangkat *portable*. Sedangkan metode geolistrik memerlukan pemasangan elektroda, konfigurasi alat kompleks, dan proses akuisisi data dilakukan terpisah dengan menggunakan perangkat lunak tambahan yaitu RES2DINV di laptop.

**Tabel 2.** Efisiensi waktu pengukuran dengan metode Geolistrik dan metode ADMT.

Aspek	Metode geolistrik	Metode ADMT
Waktu pengukuran di lapangan	2 jam 50 menit	50 menit
Waktu pengolahan data	30 menit	Langsung pada saat pengukuran
Total waktu keseluruhan	3 jam 20 menit	50 menit

#### 4.5. Kelebihan dan kekurangan metode geolistrik dengan metode ADMT

Dalam penelitian ini ditemukan kelebihan dan kekurangan dari metode geolistrik dan metode ADMT dalam melakukan pengukuran di lapangan sampai proses akuisisi data hingga memperoleh kontur resistivitas seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Kelebihan dan kekurangan metode geolistrik dengan ADMT.

Aspek	Metode geolistrik	Metode ADMT
Kedalaman deteksi	37 m	100 m
Panjang lintasan	230 m	50 m
Waktu pengukuran	3 jam 20 menit	50 menit
Kebutuhan di lapangan	Elektroda, kabel, tenaga 2-3 orang	Tenaga 1 orang
Kemudahan operasi	Kurang fleksibel di medan keras/aspal	Fleksibel di semua medan
Estimasi biaya	± Rp126.000.000	± Rp 205.000.000

Dari Tabel 3 tampak bahwa, metode ADMT lebih unggul dibandingkan metode geolistrik terutama dari segi efisiensi waktu serta kemudahan operasional di lapangan. Metode ADMT juga mampu mendeteksi resolusi vertikal hingga kedalaman 100 m dalam waktu yang singkat. Sebaliknya, metode geolistrik unggul dalam memetakan distribusi lateral bawah permukaan dengan cakupan yang lebih luas, meskipun memerlukan waktu pengukuran yang lebih lama dengan kedalaman deteksi yang terbatas.

### 5. Kesimpulan

Metode geolistrik menunjukkan akuifer pada kedalaman 30-37 m dengan resistivitas 77,5-144  $\Omega$ m dan metode ADMT pada kedalaman 30-38 m dengan resistivitas 1-3  $\Omega$ m. Posisi akuifer hasil interpretasi metode ADMT berselisih sekitar 1 m dari sumur bor Rumah Sakit Universitas Udayana atau dengan akurasi 96%, dan berselisih sekitar 2 m pada metode geolistrik dan akurasi 92%. Dari segi waktu, metode ADMT lebih efisien (hemat waktu) dibandingkan dengan metode geolistrik sebesar 2 jam 20 menit, yaitu waktu total pada metode ADMT adalah 50 menit dan pada metode geolistrik 3 jam 20 menit. Metode geolistrik lebih unggul dalam hal cakupan lateral yang lebih luas yaitu 230 m dan metode ADMT sebesar 50 m; dari segi biaya, alat lebih murah yaitu sekitar ±Rp 126.000.000 untuk geolistrik dan ±Rp 205.000.000 untuk alat ADMT. Namun, metode geolistrik, jangkauan kedalamannya lebih kecil yaitu 37 m dan metode ADMT yaitu 100 m.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan arahan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih kepada dosen penguji atas masukan dan saran

yang membangun. Penulis juga menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua, keluarga, serta teman-teman yang telah memberikan dukungan moral dan semangat selama proses penulisan jurnal ini.

### Pustaka

- [1] D. Zhang, Q. Li, and Z. Chen, Water resource management under climate change: Aglobal review, *Sustainable Water Resources Management*, vol. 9, no. 1, pp. 12-25, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s40899-023-00673-1>.
- [2] B. Dewandel, P. Lachassagne, R. Wyns, J. C. Marechal and N.S. Krishnamurthy, A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers based on field observations, *Hydrogeology Journal*, vol. 28. No. 3, pp. 987-1001, 2020. [Online]. Available; <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02107-5>.
- [3] T. Wahyudi and H.Sutanto, Analisis kebutuhan air bersih di rumah sakit berdasarkan aktivitas operasional, *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 28, no. 2, pp. 100-110, 2022.
- [4] M. H. Loke and R.D. Barker, Pratical techniques for 2D resistivity surveys using Wenner array, *Geophysical Prospecting*, vol. 71, no. 1, pp. 13-30, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1111/gpr.12345>.
- [5] M. Bisri, 2012. *Ait Tanah*. Malang: UPT. Penerbit Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [6] Soemarto, CD. 1999. *Hidrologi Untuk Teknik*. Erlangga. Jakarta.
- [7] S. Sosrodarsono. 2003. *Hidrologi Untuk Pengairan*. PT. Pradnya Paramita. *Edisi Ketiga*. Erlangga. Jakarta.
- [8] E. Syamsuddin, N. A. Haris, N. Mustafa, D. A. Swastika, and N.H. Nurdin. Application of Geoelectrical Resistivity Method for Groundwater Exploration Using Wenner-Schlumberger Cpnfiguration in Sampakang, Maros Regency, Indonesia, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1341, no. 8, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1341/8/082028>.
- [9] I. G. A. H. J. Umbara, P. Utami, and I.B. Raharjo, Penerapan Metode Magnetotellurik Dalam Penyelidikan Sistem Panas Bumi, *Pertamina Geothermal Energi*, pp. 406-419, 2014.
- [10] R. A. Serway and J. W. Jewett, *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, 9<sup>th</sup> ad. Boston, MA: Cengage Learning, 2014.