



Integrasi Metode Resistivitas dan Pemetaan Hidrogeologi dalam Penentuan Zona Pemanfaatan Air Tanah Berkelanjutan di Cekungan Air Tanah Soe, Nusa Tenggara Timur

Integration of Resistivity Method and Hydrogeological Mapping in Determining Sustainable Groundwater Utilization Zones in the Soe Groundwater Basin, East Nusa Tenggara

Uli Ulfa^{1*}, Eko Wibowo¹, Muhammad Gazali Rahman², Tiara Sarastika³

¹Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Yogyakarta, Indonesia.

²Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Yogyakarta, Indonesia.

³Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Yogyakarta, Indonesia.

*Corresponding Author: uli.ulfa@upnyk.ac.id

Article Info:

Received: 10 - 10 - 2025

Accepted: 22 - 10 - 2025

Published: 05 - 12 - 2025

Kata kunci: Air tanah, Geologi permukaan, Geolistrik, CAT Soe

Abstrak: Kekeringan yang terjadi secara periodik di wilayah Soe menimbulkan tekanan besar terhadap kebutuhan dan ketersediaan air baku, sehingga diperlukan strategi pengelolaan airtanah yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi dan arah aliran airtanah melalui integrasi metode resistivitas dan pemetaan hidrogeologi berupa pengambilan data muka air tanah, sampling air tanah serta pemetaan geologi. Pengukuran dilakukan menggunakan konfigurasi Schlumberger pada 14 titik sounding dengan bentangan maksimum 500 meter. Hasil pengolahan menunjukkan tiga sistem akuifer, yaitu menggantung, bebas, dan tertekan. Akuifer produktif utama terdapat pada batuan karbonat dengan nilai resistivitas 30–150 Ohmmeter, sedangkan lapisan penutup berupa napol memiliki resistivitas rendah (<10 Ohmmeter). Berdasarkan peta muka airtanah dan analisis anisotropi, aliran airtanah bergerak dari bagian utara menuju selatan daerah penelitian serta sebagian mengarah ke tenggara dan barat daya mengikuti gradien topografi. Integrasi hasil geolistrik dan hidrogeologi ini efektif untuk menentukan zona konservasi dan pemanfaatan airtanah berkelanjutan sebagai langkah mitigasi kekeringan.

Keywords: Groundwater, Surface Geology, Geoelectric, Soe Groundwater Basin

Abstract: Periodic droughts in the Soe region put significant pressure on the availability and demand for raw water, highlighting the need for a sustainable groundwater management strategy. This study aims to identify groundwater potential and flow directions through an integrated approach that combines resistivity methods and hydrogeological mapping, including groundwater level measurements, groundwater sampling, and geological mapping. Measurements were taken using the Schlumberger configuration at 14 sounding locations with a maximum array size of 500 meters. The results reveal three aquifer systems: perched, unconfined, and confined. The main productive aquifer occurs in carbonate rocks with resistivity values ranging from 30 to 150 Ohm-meters, while the overlying marl layer shows low resistivity values (<10 Ohm-meters). Based on groundwater level mapping and anisotropy analysis, groundwater mainly flows from the northern part of the study area toward the south, with some flow directed southeast and southwest according to the topographic gradient. The combination of geoelectrical and hydrogeological results effectively outlines zones for groundwater conservation and use, supporting sustainable groundwater management as a drought mitigation measure.

How to Cite:

Ulfa, U., Wibowo, E., Rahman, M. G., Sarastika, T. (2025). Integrasi Metode Resistivitas dan Pemetaan Hidrogeologi dalam Penentuan Zona Pemanfaatan Air Tanah Berkelanjutan di Cekungan Air Tanah Soe, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 5(2), 99-111. <https://doi.org/10.31315/imagi.v5i2.15730>.

1. PENDAHULUAN

Air tanah merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat penting bagi keberlangsungan makhluk hidup. Sumber daya ini berperan sebagai penyedia utama kebutuhan air untuk kehidupan domestik, pertanian, dan kegiatan ekonomi, terutama di wilayah dengan ketersediaan air permukaan yang terbatas. Oleh karena itu, pengelolaan air tanah secara bijak dan berkelanjutan menjadi sangat penting untuk menjaga kualitas serta ketersediaannya, sehingga dapat memenuhi kebutuhan masyarakat di masa mendatang. Kualitas dan kuantitas air tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kondisi geologi, hidrogeologi, serta aktivitas manusia di permukaan (Samsudin dkk., 2021; Mulyono dkk., 2020).

Setiap daerah memiliki tantangan tersendiri dalam upaya pengelolaan air tanah, termasuk wilayah Cekungan Airtanah (CAT) Soe yang berada di Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur. Sistem akuifer di Soe ini merupakan kawasan potensial penyedia air tanah bagi kebutuhan domestik dan pertanian masyarakat setempat (Rachman, M.G. dkk., 2023). Namun, peningkatan jumlah penduduk, intensifikasi aktivitas pertanian, serta perubahan tata guna lahan telah meningkatkan tekanan terhadap sistem akuifer di wilayah ini (Rahayu dkk., 2022). Kebutuhan air bersih di tahun 2022 sebesar 132,78 m³/hari diproyeksi meningkat hingga menjadi 143,45 m³/hari pada 2047 (Kaisa dkk., 2023) hal ini ditambah kenaikan hingga 8,95% luas area persawahan dibandingkan pada tahun 2018 berdasarkan data BPS 2023. Beberapa kondisi tersebut berpotensi menyebabkan penurunan muka air tanah, degradasi kualitas air, serta menurunnya debit mata air pada musim kering. Oleh karena itu, konservasi air tanah menjadi salah satu upaya penting dalam mitigasi kekeringan dan pelestarian sumber daya air di wilayah ini.

Pendekatan geologi dan geofisika memberikan dasar yang kuat untuk memahami kondisi airtanah di bawah permukaan. Kajian geologi permukaan berperan dalam mengenali litologi, struktur, dan satuan batuan yang mengontrol proses infiltrasi dan penyimpanan air tanah (Zhou, J dkk., 2022). Sementara itu, pendekatan geofisika, khususnya metode resistivitas geolistrik, merupakan teknik yang efektif untuk mendelineasi lapisan bawah permukaan yang berpotensi sebagai zona konservasi air tanah (Igboama, W. N., 2022). Metode ini mampu mengidentifikasi zona jenuh air berdasarkan nilai resistivitas yang rendah serta mendeteksi batas antara lapisan permeabel dan kedap air (Samsudin dkk., 2021; Mulyono dkk., 2020). Penerapan metode ini di wilayah berbatuan karbonat seperti Cekungan Air Tanah (CAT) Soe memberikan informasi yang signifikan tentang ketebalan, sebaran, dan karakteristik sistem akuifer yang kompleks.

Selain pendekatan geofisika, integrasi dengan data hidrogeologi dan analisis anisotropi memberikan pemahaman lebih komprehensif terhadap arah aliran airtanah, zona imbuhan, dan zona luaran. Secara keseluruhan, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi dan arah aliran airtanah melalui integrasi metode resistivitas dan pemetaan hidrogeologi, sebagai dasar dalam penentuan zona konservasi dan zona pemanfaatan airtanah berkelanjutan. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah dalam mitigasi bencana kekeringan serta menjadi rekomendasi teknis bagi pengelolaan sumber daya air tanah di wilayah dengan kondisi geologi kompleks dan keterbatasan air permukaan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan di CAT Soe di Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur. CAT Soe mencakup beberapa wilayah kecamatan, yaitu Kota Soe di Tengah Cekungan Air Tanah Soe, Kecamatan Mollo Utara di bagian Utara, Kecamatan Amanuban Timur di bagian Timur, Kecamatan Amanuban Selatan di bagian Selatan dan Kecamatan Mollo Barat di sebelah barat CAT Soe. Beberapa data digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh hasil yang optimal dalam mengidentifikasi potensi akuifer dan arah aliran air tanah, sehingga deliniasi zona pemanfaatan air tanah dapat dilakukan secara lebih akurat. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya:

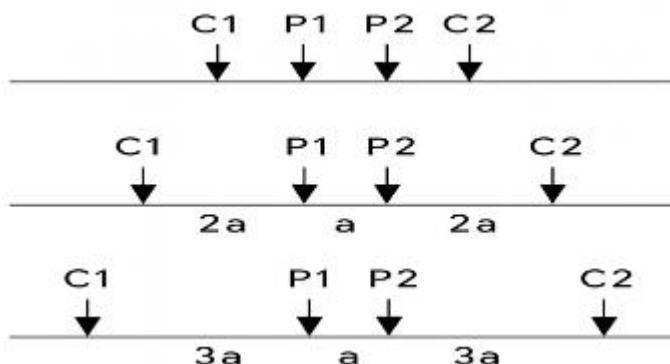
1. Data litologi dan geologi regional yang digunakan sebagai input awal kegiatan penelitian. Secara administrasi daerah penelitian termasuk ke daerah Kabupaten Timor Tengah Selatan, sehingga lembar peta geologi yang digunakan adalah lembar peta geologi Atambua (nomor 2306) dengan skala 1 : 250.000 yang dikeluarkan oleh Badan Geologi 1996.

2. Data hasil pemetaan geologi permukaan dan pemetaan hidrogeologi yang dilakukan di daerah penelitian. Informasi jenis batuan yang ada di daerah penelitian dibutuhkan untuk kalibrasi dalam interpretasi data geolistrik, selain itu dalam pemetaan geologi juga diperlukan informasi kedalaman sumur existing untuk memvalidasi peta yang dihasilkan dari metode resistivitas.
3. Data geolistrik sounding dengan konfigurasi *Schlumberger* yang diambil sebanyak 27 titik dengan menggunakan peralatan Resistivimeter (Oyo McOhm EL Model 2119), yang berfungsi untuk mengukur resistivitas tanah. Sumber arus yang digunakan adalah accu 12V, yang memberikan aliran listrik untuk proses pengukuran. Selain itu, terdapat empat elektroda yang terdiri dari dua elektroda arus dan dua elektroda potensial.

2.2 Metodologi

2.2.1 Geolistrik

Pengukuran metode resistivitas bertujuan untuk mengetahui distribusi nilai resistivitas bawah permukaan dengan melakukan pengukuran di permukaan tanah (Lutfiana, H dkk., 2025). Dari pengukuran tersebut, resistivitas sebenarnya di bawah permukaan bumi dapat diperkirakan. Resistivitas tanah berkaitan dengan berbagai parameter geologi seperti mineral dan fluida, porositas dan derajat kejenuhan air di batuan (Park, (Holmes, J., 2022., Sun, Z., 2021). Survei resistivitas listrik telah digunakan selama beberapa dekade dalam ranah *hydrogeological*, pertambangan, dan investigasi geoteknik (Loke, 2004). Pengukuran dalam penelitian ini menggunakan konfigurasi *Schlumberger* dengan posisi elektroda potensial berada di tengah diantara elektroda arus ($C_1 - P_1 - P_2 - C_2$), pengukuran dengan konfigurasi ini memberikan profil resistivitas terhadap kedalaman (profil 1 dimensi) dengan kerapatan data yang rapat sehingga perubahan resistivitas secara vertikal dapat diamati dengan baik (Rahmawati, D dkk., 2021).



Gambar 1. Konfigurasi *Schlumberger* (Loke,2004)

Konfigurasi *Schlumberger* memiliki pergerakan elektroda yang simetris antara ruas kiri dan ruas kanan dengan perpindahan elektroda potensial dan arus dilakukan secara proporsional (Zakaria, M. F., 2020). Nilai resistivitas yang didapatkan dari pengukuran ini akan diinversi untuk mendapatkan nilai kedalaman dan nilai resistivitas sebenarnya dari batuan (Ahmed, T. F. d kk., 2022). Nilai resistivitas yang didapatkan akan diinterpretasi berdasarkan hasil kalibrasi lapangan dan mengacu pada tabel resistivitas batuan (Tabel 1).

Pada daerah penelitian yang terdiri dari batugamping, pola nilai resistivitas tinggi akan mendominasi dengan rentang nilai $50 - 10^3$ ohm meter. Kandungan air pada batugamping akan menurunkan nilai resistivitasnya dengan rentang $10^1 - 10^2$ ohm meter. Nilai resistivitas yang sudah diinterpretasi akan dijadikan dasar dalam pembuatan profil litologi untuk masing – masing titik ukur dan selanjutnya dikorelasi berdasarkan kesamaan litologi yang diinterpretasi dari nilai resistivitasnya.

Tabel 1. Nilai Resistivitas Batuan (Loke,2004)

Material	Resistivity ($\Omega \cdot m$)	Conductivity (Siemen/m)
Tonoous and Metamorphic Rocks		
Granite	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalt	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Slate	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Quartzite	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Sedimentary Rocks		
Sandstone	$8 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
Shale	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0.05$
Limestone	$50 - 4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$
Soils and waters		
Clay	1 - 100	0.01 - 1
Alluvium	$10 - 800$	$1.25 \times 10^{-3} - 0.1$
Groundwater (fresh)	10 - 100	0.01 - 0.1
Sea water	0.2	5
Chemicals		
Iron	9.074×10^8	1.102×10^7
0.01 M Potassium chloride	0.708	1.413
0.01 M Sodium chloride	0.843	1.185
0.01 M acetic acid	6.13	0.163
Xylene	6.998×10^{16}	1.429×10^{17}

Dalam interpretasi geolistrik konvensional, umumnya diasumsikan bahwa media bawah permukaan bersifat homogen dan isotrop. Namun, untuk memperoleh gambaran lebih detail mengenai kemungkinan arah aliran air tanah, dilakukan perhitungan nilai koefisien anisotropi. Parameter ini diturunkan dari nilai *Transverse Resistance* dan memiliki keterkaitan erat dengan nilai transmisivitas akuifer (Bahri dkk., 2023). Pada pengolahan data, asumsi anisotropi dievaluasi melalui beberapa parameter Dar-Zarrouk, yaitu *Longitudinal Conductance*, *Transverse Resistance* dan koefisien anisotropi. Rumus perhitungan masing-masing parameter tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

Longitudinal Conductance

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\rho_i} \text{ sehingga } \rho_T = \frac{T}{\sum h_i} \quad (1)$$

Transverse Resistance

$$T = \sum_{i=1}^n \rho_i h \text{ sehingga } \rho_L = \frac{\sum h_i}{S} \quad (2)$$

Koefisien Anisotrop

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_T}{\rho_L}} \quad (3)$$

Dengan :

S adalah *Longitudinal Conductance*

T adalah *Transverse Resistance*

ρ_L adalah *Longitudinal Resistivity*

ρ_T adalah *Transverse Resistivity*

h_i adalah ketebalan lapisan ke i

ρ_i adalah resistivitas lapisan ke i

2.2.2 Pemetaan Hidrogeologi

Pemetaan hidrogeologi dilakukan melalui pendekatan terpadu yang melibatkan survei geologi, pengukuran muka air tanah, uji akuifer, dan analisis kualitas air untuk memperoleh pemahaman holistik tentang sistem airtanah di lokasi penelitian. Survei geologi permukaan dilakukan untuk mengidentifikasi jenis batuan, struktur geologi, serta kondisi stratigrafi yang berperan sebagai media penyimpan atau penghalang aliran airtanah (Gazali dkk., 2023). Pengukuran muka air tanah dilakukan pada sumur gali dan mata air menggunakan *water level meter*, sehingga diperoleh data kedalaman muka air tanah relatif terhadap elevasi permukaan setempat. Data tersebut kemudian diolah menjadi peta kontur muka air tanah, yang menjadi dasar penentuan arah dan pola aliran airtanah melalui pembuatan diagram *flownet*.

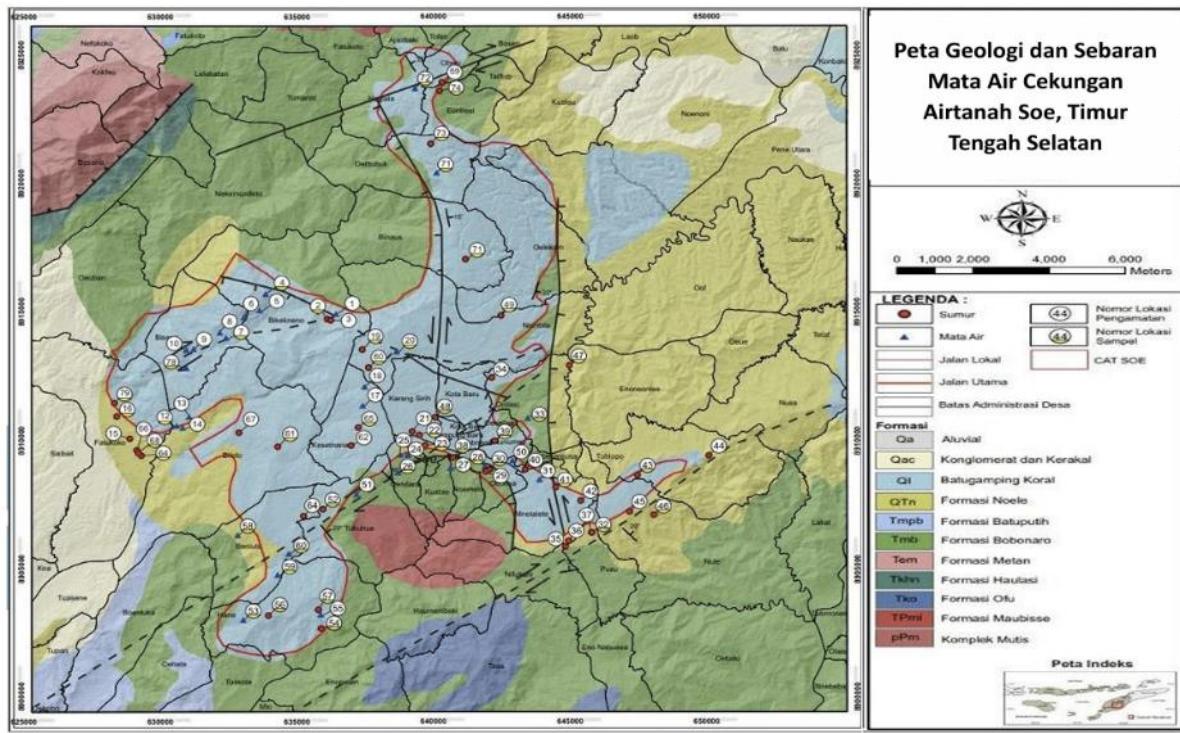
Konsep *flownet* dalam studi ini memanfaatkan hubungan antara garis aliran (*flow lines*) dan garis equipotensial (*equipotential lines*) untuk menggambarkan pergerakan airtanah bawah permukaan secara dua dimensi. Garis aliran ditarik tegak lurus terhadap kontur hidraulik, mengikuti prinsip bahwa airtanah mengalir dari daerah dengan head tinggi ke rendah (Fetter, 2001). Dengan demikian, *flownet* memungkinkan penentuan zona imbahan, luahan, serta identifikasi arah pergerakan aliran sesuai kondisi litologi setempat.

Selain itu, dilakukan uji pemompaan (pumping test) pada beberapa sumur terpilih untuk mengetahui parameter hidraulik akuifer, seperti transmisivitas dan konduktivitas hidraulik, menggunakan metode Cooper–Jacob yang telah dipadukan dengan kondisi akuifer karst dan retakan (Driscoll, 1986). Sebanyak 41 sampel air tanah juga diambil dari sumur dan mata air untuk dianalisis parameter fisik dan kimianya, seperti pH, konduktivitas listrik, dan TDS. Hasil analisis hidrogeokimia ini menjadi dasar untuk mengevaluasi kualitas air tanah, keterkaitannya dengan litologi, serta potensi kontaminasi. Integrasi seluruh data tersebut memungkinkan penentuan zona imbahan dan pemanfaatan, pemetaan produktivitas akuifer, serta penyusunan rekomendasi pengelolaan airtanah berkelanjutan di kawasan CAT Soe.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pemetaan geologi dan hidrogeologi yang dilakukan di daerah penelitian. CAT Soe terdiri dari batuan karbonat berupa Batugamping Koral dan Formasi Noele yang terdiri dari Batugamping, Napal dan Batulempung. Litologi berupa batugamping berperan sebagai akuifer utama bertipe retakan dan karst (Ostad, H., 2024). Lapisan di bawahnya, yaitu Formasi Bobonaro dan Kompleks Mutis, bersifat kedap air dan berfungsi sebagai batas bawah sistem akuifer. Sebaran mata air umumnya muncul di sepanjang kontak antara batuan karbonat dan lempung, terutama di bagian tengah dan selatan cekungan, dengan debit 2–30 liter per detik (Pascual, R., 2024). Berdasarkan peta mata air ini dapat dilihat pola aliran airtanah bergerak dari daerah imbahan di utara–barat menuju pelepasan di timur–selatan.

Hasil data geologi permukaan memiliki kesamaan dengan respon yang ditangkap dari bawah permukaan dengan pengukuran resistivitas. Berdasarkan resistivitasnya daerah penelitian terdiri dari dua jenis satuan batuan, yaitu Satuan Batugamping dan satuan Napal. Satuan batuan batugamping tersusun atas Batugamping Terumbu dan Batugamping Klastik (Kalkarenit dan Kalsilutit). Lapisan yang mengandung air tanah (akuifer) memiliki nilai resistivitas antara 10 – 100 ohm meter, lapisan Napal yang berfungsi sebagai batuan penutup memiliki rentang resistivitas berkisar antara 0 – 10 ohm meter, batugamping pada daerah telitian memiliki nilai resistivitas antara 100 – 15000 ohm meter. Nilai yang digunakan sebagai dasar untuk interpretasi diperoleh melalui hasil kalibrasi lapangan, yang juga mengacu pada referensi-referensi literatur tertentu, sehingga tetap berada dalam kerangka orde interpretasi yang telah ditetapkan.

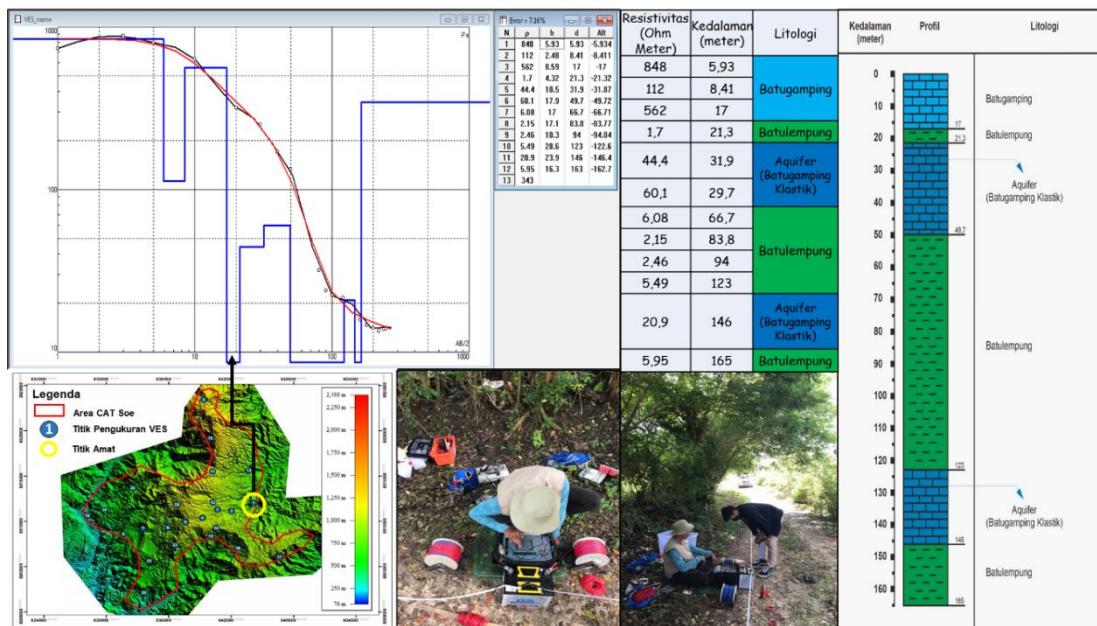


Gambar 2. Peta Geologi dan Sebaran Mata Air CAT Soe (Modifikasi Peta Geologi Lembar Atambua, Badan Geologi 1996)

3.1 Inversi 1 Dimensi

3.1.1. Titik Ukur 1

Titik 1 merupakan lintasan pengukuran di sebelah timur area CAT Soe, secara topografi titik ukur ini berada di daerah rendahan dengan elevasi 591 mdpl, berdasarkan pola grafik inversi 1 dimensi, secara kuantitatif rentang nilai resistivitas yang dihasilkan pada titik 1 ini berkisar antara 1,7 – 850 ohm meter. Secara umum terdapat dua pola resistivitas yang menggambarkan keberadaan akuifer.

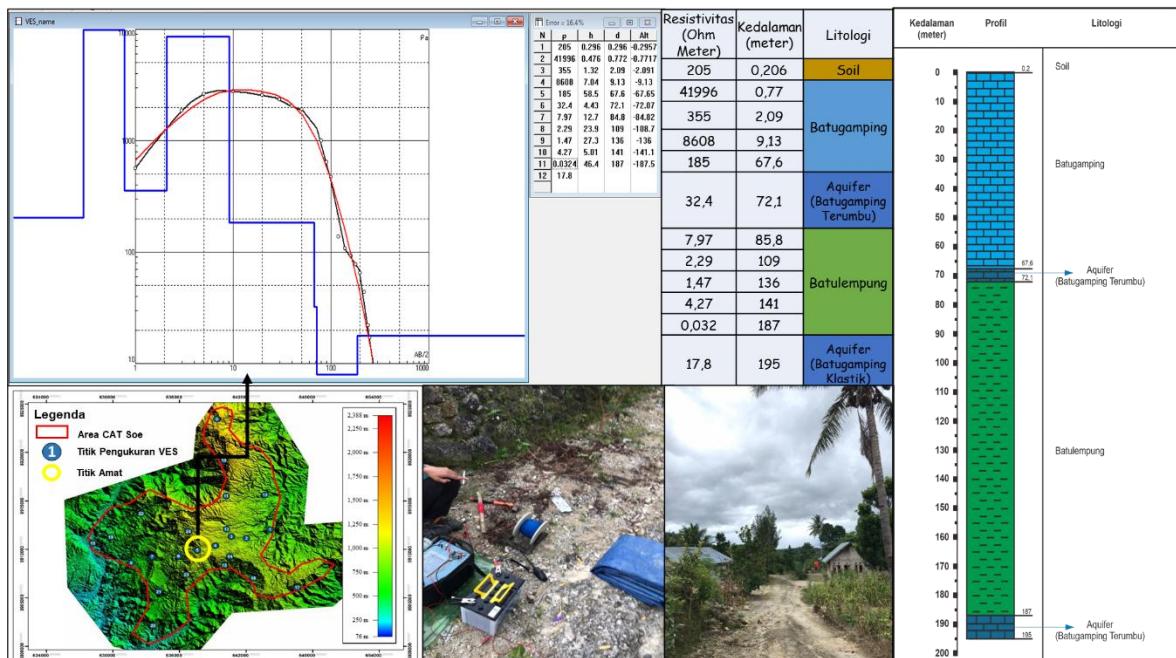


Gambar 3. Inversi 1 D pada Titik 1

Lapisan akuifer pertama berada pada kedalaman 31,9 – 66 meter dengan rentang nilai resistivitas sebesar 44,4 – 60 ohm meter. Berdasarkan respon resistivitas litologi di atas lapisan akuifer diketahui bahwa pada titik ini litologi dominan berupa batugamping klastik (Kalkarenit) yang juga berfungsi sebagai akuifer. Respon nilai resistivitas lebih rendah dengan orde resistivitas 10^0 – 10^1 ohm meter diinterpretasikan sebagai batugamping klastik dengan ukuran butir lebih halus (Kalsilutit), nilai resistivitas rendah lainnya yang berada pada kedalaman lebih dari 160 meter yang menjadi lapisan penutup pada sistem aquifer ini diinterpretasi sebagai Napal.

3.1.2. Titik Ukur 5

Titik 5 merupakan lintasan pengukuran dibagian tengah area CAT Soe, secara topografi titik ukur ini berada di daerah tinggian dengan elevasi berkisar antara 900 – 950 mdpl, berdasarkan pola grafik inversi 1 dimensi, secara kuantitatif rentang nilai resistivitas yang dihasilkan pada titik 5 ini berkisar antara 0,02 – >20000 ohm meter. Secara umum terdapat dua pola resistivitas yang menggambarkan keberadaan aquifer. Lapisan aquifer pertama berada pada kedalaman 72 – 85 meter dan kedalaman 190 meter dengan rentang nilai resistivitas sebesar 18 – 32 ohm meter.

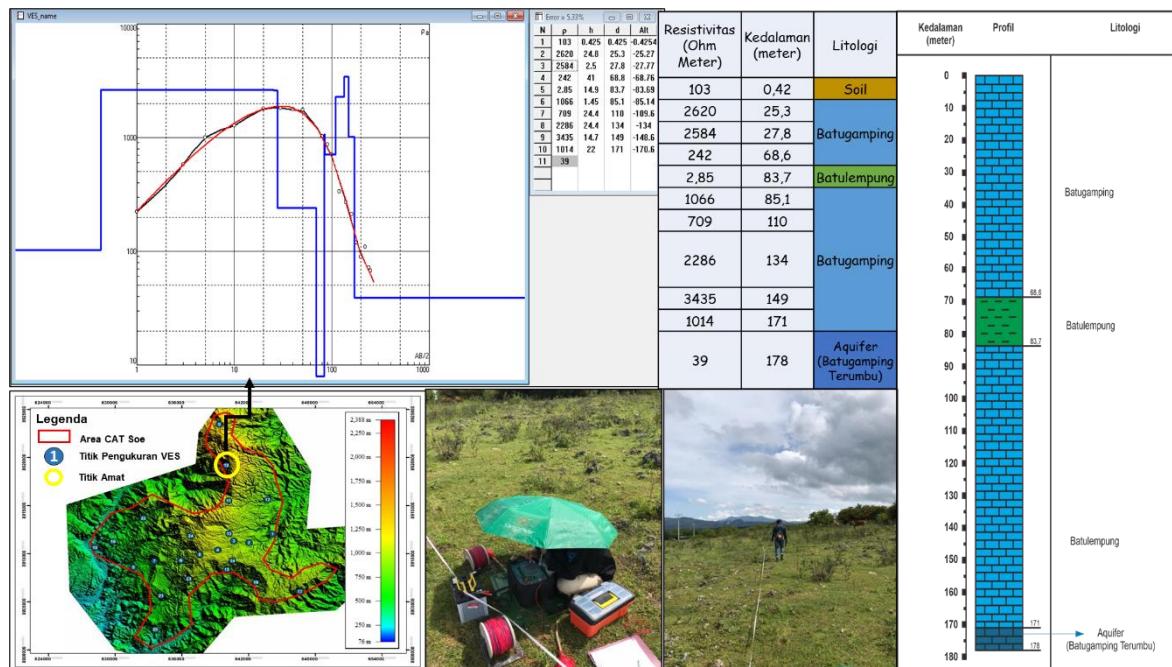


Gambar 4. Inversi 1 D pada Titik 5

Berdasarkan respon resistivitas litologi di atas lapisan aquifer diketahui bahwa pada titik ini litologi dominan berupa batugamping terumbu yang juga berfungsi sebagai aquifer, hal ini diketahui berdasarkan respon dari resistivitas lapisan di atas lapisan aquifer pada kedalaman 72 meter yang mencapai >20000 Ohm meter. Respon nilai resistivitas lebih rendah dengan orde resistivitas 10^0 – 10^1 Ohm meter diinterpretasikan sebagai batugamping klastik (kalsilutit) yang menjadi lapisan penutup pada sistem aquifer ini.

3.1.3. Titik Ukur 10

Titik 10 merupakan lintasan pengukuran di sebelah barat area CAT Soe, secara topografi titik ukur ini berada di daerah rendahan dengan elevasi 1075 mdpl, berdasarkan pola grafik inversi 1 dimensi, secara kuantitatif rentang nilai resistivitas yang dihasilkan pada titik 10 ini berkisar antara 20 – 3500 ohm meter. Secara umum terdapat satupola resistivitas yang menggambarkan keberadaan aquifer. Lapisan aquifer berada pada kedalaman lebih dari 170 meter, zona aquifer ini memiliki rentang nilai resistivitas sebesar 39 – 50 ohm meter.

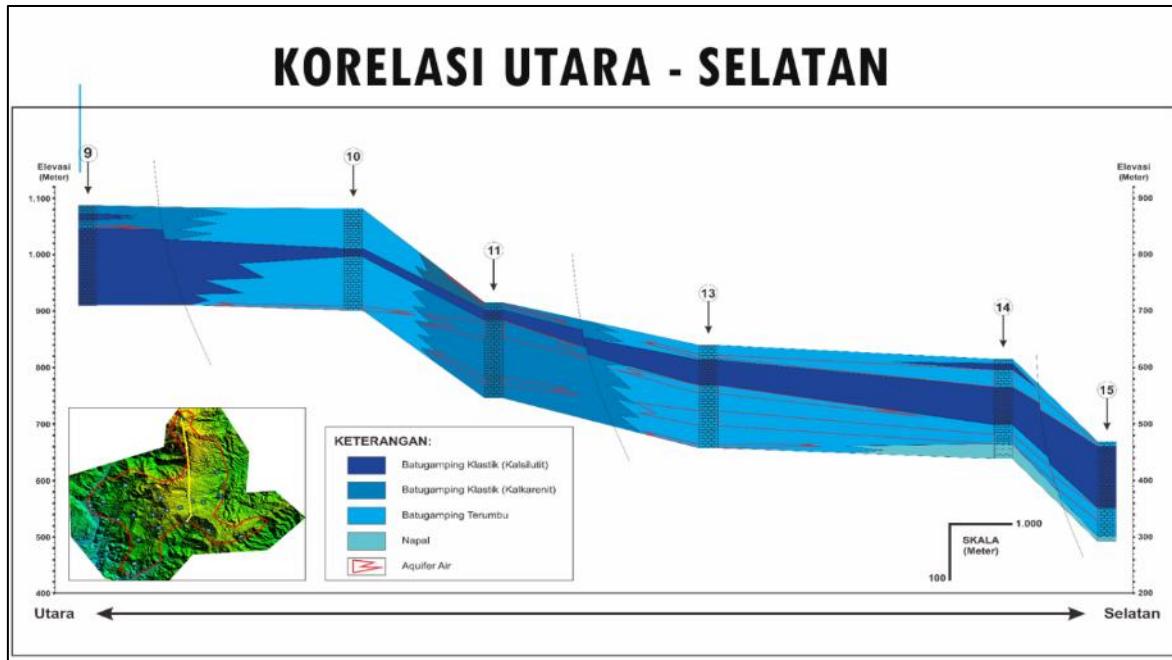


Gambar 5. Inversi 1 D pada Titik 10

Berdasarkan respon resistivitas litologi secara umum pada titik ukur ini, diketahui bahwa pada titik ini litologi dominan berupa batugamping terumbu yang juga berfungsi sebagai aquifer dengan rentang nilai resistivitas berada pada orde 10^2 – 10^3 ohm meter. Respon nilai resistivitas lebih rendah dengan orde resistivitas 10^0 – 10^1 ohm meter diinterpretasikan sebagai batugamping klastik (Kalsilutit).

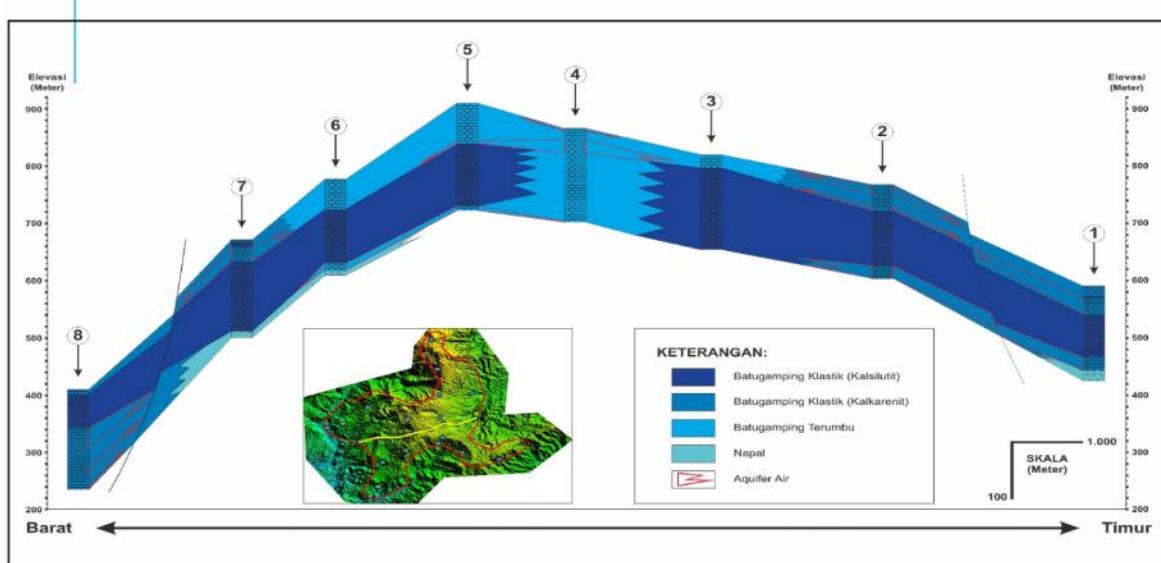
3.2 Korelasi Titik Sounding

Korelasi antar titik ukur ini digunakan untuk mengetahui koneksi aquifer dan sebaran litologi di area penelitian. Berdasarkan hasil korelasi Gambar 6 dapat diidentifikasi terdapat tiga jenis aquifer yang berkembang di area penelitian. Aquifer pertama bersifat setempat – setempat atau disebut sebagai *perched aquifer* mendominasi sistem aquifer dangkal.



(A)

KORELASI BARAT - TIMUR



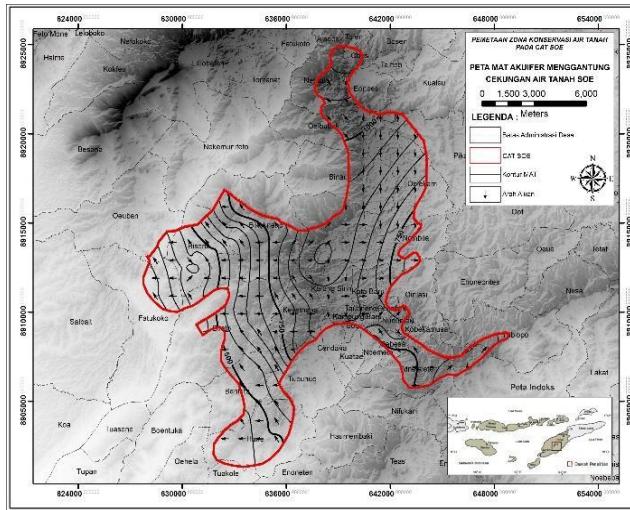
(B)

Gambar 6. (A) Korelasi antar titik sounding Utara – Selatan (B) Korelasi antar titik sounding Barat – Timur

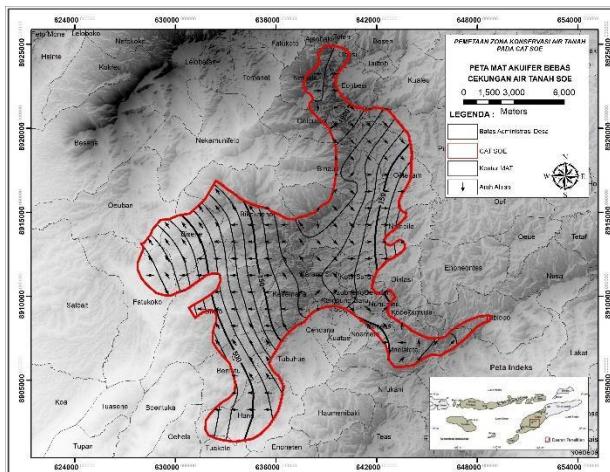
Kemudian akuifer bebas dengan pelamparan cukup luas mendominasi sistem akuifer di area tengah CAT Soe, dan akuifer tertekan memiliki pelamparan dari tengah hingga bagian tenggara CAT Soe. Penampang korelasi Utara–Selatan dan Barat–Timur pada Cekungan Airtanah Soe menunjukkan susunan lapisan utama berupa batugamping klastik (kalsilutit dan kalkarenit), batugamping terumbu, serta napal sebagai lapisan kedap air. Lapisan batugamping berperan sebagai akuifer utama, sedangkan napal berfungsi sebagai aquitard yang membatasi pergerakan air tanah ke bawah. Korelasi arah Utara–Selatan memperlihatkan penurunan elevasi ke arah selatan, menandakan bahwa bagian utara merupakan zona imbuhan (recharge area), sementara bagian selatan menjadi zona pelepasan (discharge area) dengan kemunculan mata air pada kontak litologi karbonat–napal. Korelasi Barat–Timur menunjukkan kecenderungan aliran airtanah dari barat ke timur mengikuti kemiringan lapisan batugamping terumbu yang menebal di bagian tengah. Berdasarkan konfigurasi ini, zona konservasi airtanah berada di wilayah utara dan barat yang berfungsi sebagai daerah imbuhan, sedangkan zona pemanfaatan airtanah terletak di bagian selatan dan timur, termasuk sekitar Kota Soe, yang merupakan daerah pelepasan utama. Oleh karena itu, pengelolaan airtanah di cekungan ini perlu difokuskan pada perlindungan zona imbuhan serta pengendalian pemanfaatan di zona pelepasan agar keseimbangan sistem hidrogeologi tetap terjaga.

3.3 Peta Aliran Air Tanah

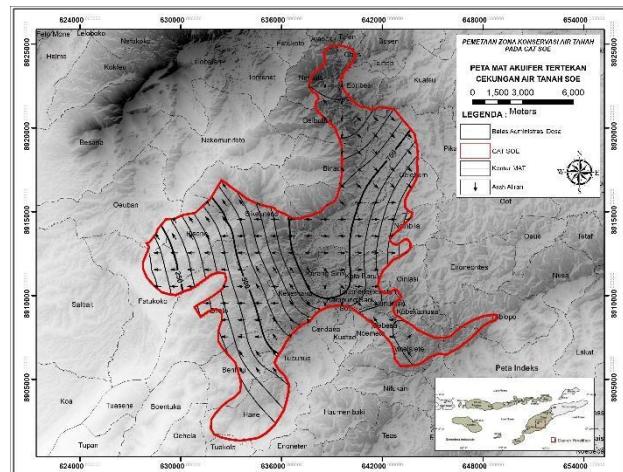
Hubungan antara sistem akuifer dan peta geologi di Cekungan Airtanah Soe menunjukkan keterkaitan yang erat antara jenis batuan penyusun, struktur geologi, dan pola sebaran mata air. Batugamping terumbu yang terdapat pada bagian utara Cekungan Air Tanah menjadi faktor utama yang mengontrol proses imbuhan (recharge). Batuan ini bersifat sangat permeabel dikarenakan mengalami rekahan, pelarutan, sehingga menghasilkan porositas sekunder yang tinggi dan berfungsi sebagai zona imbuhan utama bagi seluruh sistem akuifer di bawahnya (Van Riet, B dkk., 2022, Covington, M.D., 2023). Air hujan yang meresap melalui rekahan dan rongga karst di daerah ini kemudian bergerak ke arah selatan dan tenggara, mengikuti kemiringan lapisan batuan yang ditunjukkan pada peta korelasi arah utara–selatan dan barat–timur.



(A)



(B)



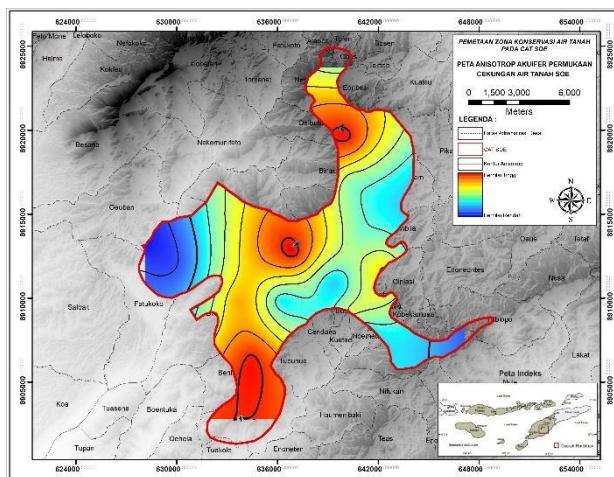
(C)

Gambar 7. (A) Peta Aliran Akuifer Menggantung (B) Peta Aliran Akuifer Bebas. (C) Peta Aliran Akuifer Tertekan

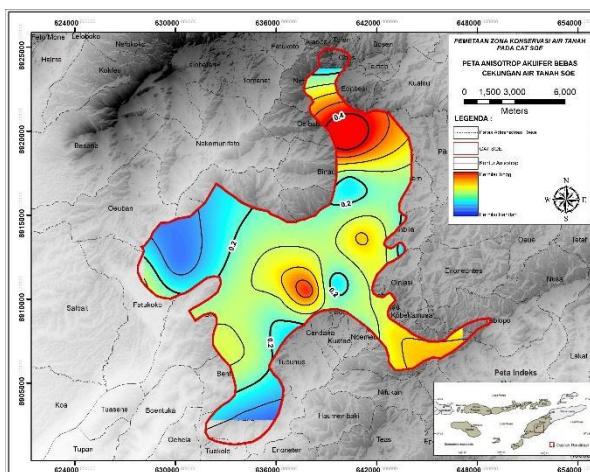
Sebagian air tertahan di atas lensa napal atau lempung membentuk akuifer menggantung yang dangkal dan bersifat musiman. Air yang menembus lebih dalam ke batugamping klastik dan terumbu yang luas membentuk aquifer bebas, yang menjadi sistem utama penyedia airtanah produktif di tengah cekungan. Sementara itu, air yang terus meresap hingga terperangkap di bawah lapisan napal Formasi Bobonaro membentuk aquifer tertekan dengan tekanan hidrostatis tinggi. Keterkaitan ini juga tercermin pada peta sebaran mata air, di mana sebagian besar mata air besar muncul di zona transisi antara batuan karbonat (permeable) dan lapisan napal (impermeable) di bagian tengah hingga selatan cekungan. Hal ini menunjukkan bahwa aliran bawah permukaan dari batugamping terumbu di utara berhenti dan keluar ke permukaan pada batas litologi kedap air, menghasilkan mata air dengan debit sedang hingga besar. Dengan demikian, batugamping terumbu di bagian utara berperan strategis sebagai pengendali utama sistem imbuhan dan penentu keberlanjutan pasokan air bagi seluruh cekungan. Wilayah ini perlu dijadikan zona konservasi airtanah prioritas, dengan pembatasan aktivitas penambangan batugamping, perluasan lahan terbuka, dan pembangunan yang dapat mengganggu proses infiltrasi. Sementara itu, zona tengah dan selatan yang didominasi mata air dan lapisan napal lebih sesuai dijadikan zona pemanfaatan airtanah, baik untuk kebutuhan domestik maupun pertanian, dengan tetap mempertahankan keseimbangan antara pengambilan dan pengisian kembali airtanah.

3.4. Peta Koefisien Anisotrop Resistivitas

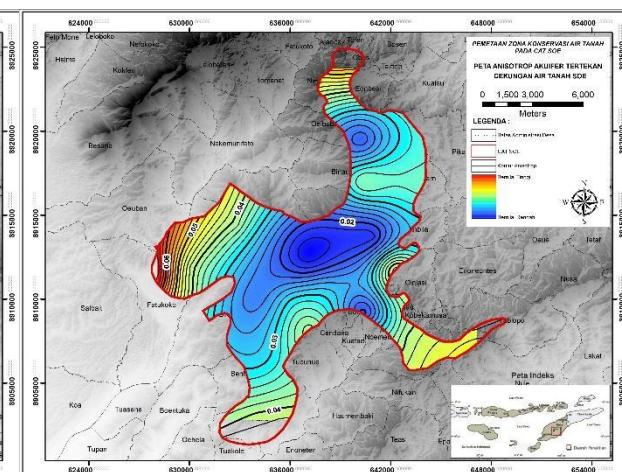
Anisotropi resistivitas perbedaan kemampuan lapisan batuan dalam menghantarkan arus listrik ke arah horizontal dan vertikal, yang berhubungan dengan variasi permeabilitas dan arah pergerakan airtanah. Nilai $\lambda = 1$ menunjukkan kondisi isotrop atau homogen, sedangkan $\lambda > 1$ menandakan adanya anisotropi, yaitu heterogenitas akibat perlapisan batuan dengan resistivitas berbeda. Dalam konteks hidrogeologi, nilai anisotropi tinggi menunjukkan kontras resistivitas besar yang menandakan adanya rekahan, pelarutan karst, atau perlapisan karbonat–napal yang memperkuat aliran lateral, sedangkan nilai anisotropi rendah mencerminkan lapisan homogen dan kedap seperti napal atau lempung yang menghambat pergerakan airtanah.



(A)



(B)



(C)

Gambar 8. (A) Peta Anisotrop Akuifer Permukaan (B) Peta Anisotrop Akuifer Bebas. (C) Peta Anisotrop Akuifer Tertekan

Pada Cekungan Airtanah Soe, nilai anisotropi tinggi pada akuifer menggantung di bagian utara dan barat menunjukkan adanya rekahan dan rongga pelarutan pada batugamping terumbu Formasi Noele yang memperkuat arah aliran lateral menuju selatan. Daerah ini berperan sebagai zona imbuhan lokal yang penting untuk konservasi airtanah. Pada akuifer bebas, pola anisotropi tinggi dari barat laut ke tenggara menunjukkan jalur utama aliran airtanah regional dalam lapisan karbonat yang terhubung baik, dengan daerah tengah–timur sebagai zona pemanfaatan utama karena permeabilitasnya tinggi dan debit airnya besar. Sedangkan pada akuifer tertekan, nilai anisotropi sedang hingga rendah di bagian tengah–selatan menunjukkan dominasi lapisan napal dan lempung dari Formasi Bobonaro yang berfungsi sebagai lapisan confining, sementara nilai tinggi di barat laut menandakan zona imbuhan dalam dan nilai rendah di tengah menunjukkan zona pelepasan air tertekan yang sering muncul sebagai mata air artesis. Secara

keseluruhan, anisotropi resistivitas membantu mengidentifikasi arah dominan aliran airtanah dan potensi pergerakan lateral. Nilai tinggi menunjukkan zona imbuhan aktif dan jalur konduktif utama, sedangkan nilai rendah menandai zona penyimpanan dan pelepasan air. Berdasarkan distribusi anisotropi ini, bagian utara dan barat Cekungan Soe dikategorikan sebagai zona konservasi airtanah, sementara bagian tengah hingga tenggara berperan sebagai zona pemanfaatan untuk pengambilan airtanah secara terukur dan berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Hasil integrasi data resistivitas dan data geologi menunjukkan Cekungan Airtanah Soe memiliki sistem akuifer bertingkat yang dikontrol oleh batuan karbonat Formasi Noele dengan napal Formasi Bobonaro sebagai lapisan confining. Nilai resistivitas yang dianggap sebagai akuifer adalah 10 – 100 ohm meter. Peta anisotropi resistivitas memperlihatkan nilai tinggi ($\lambda > 1,5$) di bagian utara dan barat, yang menandakan rekahan karst aktif dan menjadi zona imbuhan utama. Area ini memiliki permeabilitas tinggi, infiltrasi besar, dan merupakan zona konservasi airtanah prioritas yang harus dilindungi dari penebangan vegetasi serta penambangan karbonat. Sebaliknya, nilai anisotropi menurun ke arah tengah hingga tenggara, menunjukkan dominasi batuan napalan yang lebih kedap dan berfungsi sebagai zona pemanfaatan terbatas, khususnya di sekitar Soe-Kuatnana, tempat aliran lateral berkumpul dan muncul sebagai mata air besar. Arah aliran dominan dari barat-laut menuju tenggara, sistem ini menunjukkan hubungan langsung antara zona imbuhan karbonat terbuka di barat-utara dan zona pelepasan di timur-selatan. Oleh karena itu, pengelolaan airtanah Soe perlu difokuskan pada konservasi di utara-barat sebagai daerah recharge dan pemanfaatan terkendali di tengah-tenggara sebagai discharge zone guna menjaga keseimbangan dan keberlanjutan sistem akuifer.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, T. F., Afzal, M. A., Hashmi, H. N., Yousuf, H. M., Shah, S. S., & Khan, M. A. (2022). Electrical resistivity survey by Schlumberger electrode configuration technique for groundwater exploration in Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 35(3), 558–568. <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2022/35.3.558.568>
- Covington, M. D., Martin, J. B., Toran, L. E., Macalady, J. L., Sekhon, N., Sullivan, P. L., García, Á. A., Jr., Heffernan, J. B., & Graham, W. D. (2023). Carbonates in the critical zone. *Earth's Future*, 11(3), e2022EF002765. <https://doi.org/10.1029/2022EF002765>
- Driscoll, F. G. (1986). *Groundwater and wells* (2nd ed.). Johnson Division.
- Gazali, M., Nurwantari, N. A., & Wibowo, E. (2023). Groundwater system characteristics of Soe area, East Nusa Tenggara, Indonesia: The role of rock properties and structural geology. *Journal of Applied Sciences, Management and Engineering Technology*, 6(2), 144–158. <https://doi.org/10.31284/j.jasmet.2023.v6i2.31004>
- Holmes, J., Chambers, J. E., Uhlemann, S., Wilkinson, P. B., Meldrum, P. I., Graham, J., & Binley, A. (2022). Application of petrophysical relationships to electrical resistivity. *Engineering Geology*, 298, 106546. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106546>
- Igboama, W. N., Hammed, O. S., Fatoba, J. O., Aroyehun, M. T., & Ehiabihili, J. C. (2022). Review article on impact of groundwater contamination due to dumpsites using geophysical and physiochemical methods. *Applied Water Science*, 12(130). <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01653-z>
- Kaisa, R., Suroso, S., & Baharuddin, H. (2023). Projected water demand and groundwater sustainability assessment in the Soe Basin, TTS Regency, NTT. *Jurnal Sumber Daya Air*, 19(1), 11–22. <https://doi.org/10.31159/jsda.v19i1.730>
- Loke, M. H. (2004). *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys* (Revised ed.). Geotomo Software.
- Lutfiana, H., Giamboro, W. S., Hidayat, W., & Sukmawan, D. I. (2025). Landslide characteristics from conceptual modelling of weathered layers using subsurface resistivity in Sangon, DIY. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 11(02), 95-108. <https://doi.org/10.23960/jge.v11i2.487>
- Mulyono, A., Wibowo, S., & Hidayat, N. (2020). *Geoelectrical Resistivity for Groundwater Potential Mapping in Soe Region, NTT*. Geophysics Research Journal, 65(4), 112-124.

- Ostad, H., Abdollahi, M., Naghizadeh, M., & Rezaei, A. (2024). An integrated approach for characterization of a fractured aquifer. *Journal of Hydrology*, 634, 130531. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130531>
- Pascual, R., Fiorillo, F., Mateos, R. M., & Jiménez, A. (2024). The cultural ecohydrogeology of Mediterranean-climate zones. *Environments*, 11(6), 110. <https://doi.org/10.3390/environments11060110>
- Rahayu, L., Hidayati, T., & Prasetyo, B. (2022). The impact of land-use change on groundwater sustainability in arid tropical regions: Case study of Soe, NTT. *Jurnal Tanah dan Air*, 19(2), 121–131. <https://doi.org/10.31258/jta.19.2.121-131>
- Rahayu, S., Fitria, R., & Sudiarto, S. (2022). *Geoelectrical Survey for Groundwater Conservation Zone Delineation in East Java*. *Journal of Hydrogeology*, 56(1), 67-78.
- Rahmawati, D., & Widodo, A. (2021). Application of the Schlumberger configuration geoelectric method for determining aquifer layer resistivity and depth. *Jurnal Rekayasa Sipil Universitas Brawijaya*, 11(2), 117–124.
- Rosidi, H. M. D., Tjokrosapoetro, S., & Gafoer, S. (1996). *Peta Geologi Lembar Atambua – Timor, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Samsudin, R., Ahmad, N., & Wibowo, S. (2021). *Application of Geoelectrical Methods for Groundwater Conservation Areas: A Review*. *Environmental Geophysics*, 28(3), 98-112.
- Sun, Z., Lin, Q., Yu, L., Wang, M., & Song, W. (2021). Pore-scale investigation of the electrical resistivity of porous media. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126(10), e2021JB022608. <https://doi.org/10.1029/2021JB022608>
- Van Riet, B., Six, S., Walraevens, K., Vandenbohede, A., & Hermans, T. (2022). Assessing the impact of fractured zones imaged by ERT on groundwater model prediction: A case study in a chalk aquifer in Voort (Belgium). *Frontiers in Water*, 3, 783983. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.783983>
- Wibowo, S., Mulyono, A., & Suryanto, H. (2023). *Groundwater Management Using Geophysical Methods in Soe Watershed, East Nusa Tenggara*. *Jurnal Geofisika Indonesia*, 51(1), 13-24.
- Zakaria, M. F. (2020). Identifikasi akuifer air tanah dalam menggunakan metode geolistrik Schlumberger di Desa Wedomartani, Kabupaten Sleman. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 1(2), 45–52
- Zhou, J., Du, Y., Deng, Y., Tao, Y., Leng, Z., Ma, T., & Wang, Y. (2022). Source identification of groundwater phosphorus under different geological settings in the the central Yangtze River basin. *Journal of Hydrology*, 612, Article 128169. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128169>