

IDENTIFIKASI LAPISAN BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY* DI KAWASAN LAPANGAN *BASEBALL* ITERA

Paula Sisoada Tobing¹, Andri Yadi Paembonan¹

¹ Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sumatera
e-mail: paula.121120171@student.itera.ac.id

Abstrak. Keberadaan potensi air tanah turut berperan dalam perkembangan infrastruktur di Institut Teknologi Sumatera (ITERA). Salah satu kawasan yang dicanangkan untuk dijadikan *Sport Center* ITERA adalah kawasan lapangan *baseball*. Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air berkelanjutan di kawasan tersebut dengan tujuan utama menduga potensi akuifer menggunakan metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT). Metode ini digunakan pada empat lintasan survei di kawasan Lapangan *Baseball* ITERA dengan konfigurasi elektroda dan titik pengukuran yang berbeda untuk mendeteksi variasi resistivitas bawah permukaan. Akuisisi data menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*, *Wenner-Alpha*, *Wenner-Beta*, dan *Dipole-Dipole*, yang diproses menggunakan perangkat lunak RES2DINV. Hasil interpretasi resistivitas mengindikasikan bahwa zona akuifer di daerah penelitian dikontrol oleh batupasir tufan (40-90 Ω m). Sedangkan lapisan pembatas (akuikud/akuitard) diinterpretasikan sebagai batulempung tufan (<40 Ω m) dan lapisan kedap air diinterpretasikan sebagai tuf (>90 Ω m). Lintasan 1, 2 dan 4 mengidentifikasi potensi akuifer pada kedalaman rata-rata 19,8–31,2 m dengan rentang resistivitas 40–90 Ω m diinterpretasikan sebagai batupasir tufan. Lintasan 3 tidak memiliki potensi akuifer, melainkan adanya tuf yang sangat luas pada kedalaman 15–46 m, dengan resistivitas >90 Ω m. Studi ini memberikan data dasar saintifik yang esensial untuk pengelolaan sumber daya air tanah yang berkelanjutan di lingkungan kampus ITERA.

Kata kunci: Air tanah; ERT; ITERA

Abstract. The presence of groundwater potential contributes to the infrastructure development at the Sumatra Institute of Technology (ITERA). One of the areas designated to become the ITERA Sport Center is the baseball field area. This research was conducted to fulfill the sustainable water needs in the area, with the main objective of estimating aquifer potential using the *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) method. This method was applied to four survey lines in the ITERA Baseball Field area using different electrode configurations and measurement points to detect subsurface resistivity variations. Data acquisition utilized the *Wenner-Schlumberger*, *Wenner-Alpha*, *Wenner-Beta*, and *Dipole-Dipole* configurations, and the data were processed using the RES2DINV software. The resistivity interpretation results indicate that the aquifer zone in the study area is controlled by tuffaceous sandstone (40–90 Ω m). Meanwhile, the confining layer (aquiclude/aquitard) is interpreted as tuffaceous claystone (<40 Ω m), and the impermeable layer is interpreted as tuff (>90 Ω m). Lines 1, 2, and 4 identified aquifer potential at an average depth of 19.8–31.2 m, with a resistivity range of 40–90 Ω m, which is interpreted as tuffaceous sandstone. Line 3 showed no aquifer potential; instead, it revealed the presence of extensive tuff at a depth of 15–46 m with a resistivity of >90 Ω m. This study provides essential scientific baseline data for the sustainable management of groundwater resources within the ITERA campus environment.

Keywords: Groundwater; ERT; ITERA

PENDAHULUAN

Air tanah merupakan sumber air yang sangat penting bagi keberlanjutan kehidupan dan pembangunan. Kualitas dan pemanfaatan air tanah dapat mempengaruhi peranan air tanah di tempat yang membutuhkannya (in situ) (Rejekiningrum, 2009). Oleh karena itu, pengelolaan air tanah secara bijak dan berkelanjutan menjadi sangat penting untuk mempertahankan kualitas serta kuantitasnya, 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). Metode geofisika yang dikenal sebagai *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) telah muncul sebagai teknik yang sangat menjanjikan untuk memantau dinamika air tanah bawah permukaan (Hermans dkk., 2023).

Di kawasan yang mengalami perkembangan infrastruktur cepat seperti wilayah Institut Teknologi Sumatera (ITERA), kebutuhan akan data air tanah yang akurat menjadi sangat mendesak. Terjadinya fenomena

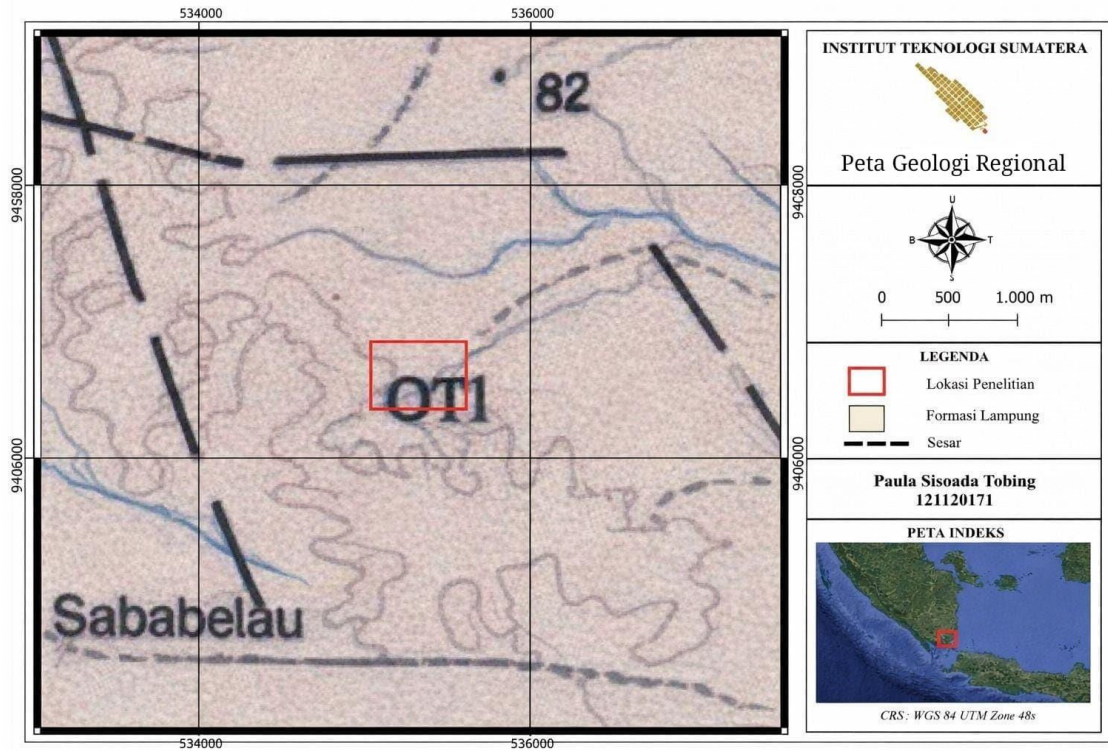
banyaknya pengambilan air tanah mengakibatkan ketidakseimbangan di mana laju ketersediaan air menurun secara signifikan di tengah kebutuhan yang semakin melonjak (Nurhasanah dkk., 2021). Selain itu pengambilan air tanah secara berlebih tanpa mempertimbangkan keseimbangan air tanah akan memberikan dampak lain seperti semakin dalamnya muka air tanah, terjadinya amblesan air tanah, terjadinya banjir dan adanya genangan, intrusi air asin dan lain-lain. (Djaendi, 2003). Sejalan dengan hal ini, kawasan Lapangan *Baseball* ITERA merupakan zona yang dicanangkan untuk dijadikan *Sport Center* berdasarkan *masterplan* ITERA. Meskipun demikian, literatur atau data dasar mengenai potensi dan karakteristik hidrogeologi di kawasan ini belum teridentifikasi secara komprehensif. Oleh karena itu, studi ini menjadi esensial untuk melakukan identifikasi lapisan bawah permukaan di kawasan Lapangan *Baseball* ITERA.

Menurut Kodoatie (2013), berdasarkan kemampuan penyimpanan dan transmisi air, karakteristik batuan diklasifikasikan menjadi empat tipe utama. Akuifer merupakan lapisan permeabel yang mampu menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah signifikan seperti pasir atau kerikil. Akuikud adalah lapisan yang dapat menyimpan air namun tidak mampu mengalirkannya secara berarti seperti lempung atau tuf halus. Akuitard memiliki formasi yang mampu menyimpan air tetapi dengan daya alir yang terbatas. Akuitug merupakan batuan padat dan kedap air seperti granit. Akuifer dibedakan lagi menjadi 3 jenis yaitu akuifer bebas (*unconfined aquifer*) yang hanya memiliki satu lapisan pembatas kedap air di bagian bawahnya, akuifer semi-tertekan (*leaky aquifer*) yang bagian atasnya dibatasi oleh lapisan setengah kedap air dan bagian bawahnya dibatasi oleh lapisan kedap air, dan akuifer tertekan (*confined aquifer*) yang lapisan atas dan lapisan bawahnya merupakan lapisan kedap air.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengkaji zona air tanah berdasarkan interpretasi litologi yang dicanangkan sebagai area *Sport Center* ITERA, dengan memanfaatkan integrasi data geologi dan metode Geolistrik Resistivitas 2D. Metode ini telah terbukti efektif dalam mengetahui struktur bawah permukaan dan mengidentifikasi zona akuifer dengan memanfaatkan sifat resistivitas (tahanan jenis batuan terhadap aliran arus listrik) yang ada pada batuan. Menurut Loke (2020), metode yang sering disebut sebagai ERT (*Electrical Resistivity Tomography*) ini memungkinkan pemodelan bawah permukaan secara lateral dan vertikal yang efisien untuk eksplorasi dangkal. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan data dasar yang objektif dan saintifik untuk perencanaan tata ruang, mitigasi risiko kelangkaan air, dan pengelolaan sumber daya air tanah yang efisien di lingkungan kampus ITERA.

KONDISI GEOLOGI

Secara administratif, Institut Teknologi Sumatera berada di Desa Way Huwi, Kecamatan Jatiagung, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung, Indonesia. Merujuk pada pemetaan geologi oleh Mangga dkk. (1993), area ini didominasi oleh unit Formasi Lampung (Qtl) pada Gambar 1. yang terbentuk dari endapan sekunder aktivitas gunung api laharik, sehingga litologinya didominasi oleh batuan tuf berbatuapung, tuf riolitik, tuf padu tufit, batulempung tufan, dan batupasir tufan. Tuf merupakan batuan piroklastik yang terbentuk dari hasil litifikasi (pembatuan) endapan abu vulkanik yang dikeluarkan saat erupsi gunung api (Yudiantoro dkk., 2023). Proses genesa tuf yang cepat menghasilkan batuan dengan kemas terbuka dan sortasi menengah-baik. Secara hidrogeologis, meskipun tuf dapat berperan sebagai media penyimpan air, debit yang dihasilkan biasanya tidak besar jika aliran airnya hanya bergantung pada sistem pori batuan. Artinya, litologi yang bermaterialkan tuf berpotensi sebagai akuifer dikarenakan tuf memiliki porositas yang cukup tinggi sehingga ruang pori yang tersedia dapat menampung air tanah dalam jumlah yang signifikan, namun tidak memiliki kemampuan mengalirkan air (permeabilitas) yang baik karena bergantung pada ukuran butir batuannya.



Gambar 1. Peta Geologi Lembar Tanjungkarang (Mangga dkk., 1993)

TEORI DASAR

Penerapan metode geolistrik resistivitas didasarkan pada asumsi medium homogen isotropis, di mana nilai hambatan jenis yang terukur dianggap sebagai resistivitas fisis sebenarnya tanpa dipengaruhi oleh jarak spasi elektroda. Akan tetapi, kondisi geologi bawah permukaan yang heterogen dan berlapis menyebabkan distribusi potensial listrik bervariasi, sehingga parameter yang diperoleh dari pengukuran lapangan bukanlah nilai resistivitas batuan secara langsung, melainkan nilai resistivitas semu (ρ_a) (Reynolds, 2011). Resistivitas semu dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

dengan:

ρ_a : Resistivitas Semu (Ωm)

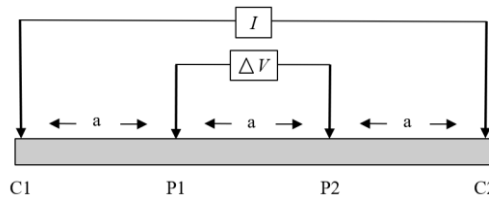
k : Faktor Geometri (m)

ΔV : Beda Potensial (V)

I : Arus (A)

Terdapat 4 konfigurasi yang digunakan pada penelitian ini, yaitu konfigurasi *Wenner-Alpha*, *Wenner-Schlumberger*, *Dipole-dipole*, dan *Wenner-Beta*. Pengukuran pada Lintasan 1 menggunakan konfigurasi *Wenner-Alpha* seperti Gambar 2. dengan menggunakan empat elektroda yang tersusun secara berurutan, yaitu dua elektroda arus (C1 & C2) dan dua elektroda potensial (P1 & P2). Jarak elektroda sejajar sebesar a , sehingga jarak antara C1-P1, P1-P2, dan P2-C2 masing-masing adalah a . Pada konfigurasi ini memiliki faktor geometri sebagai berikut:

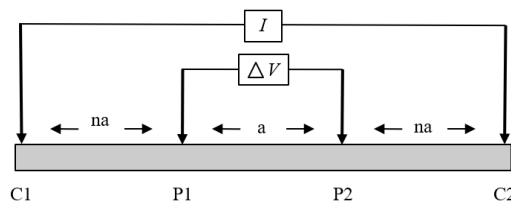
$$k = 2\pi a \quad (2)$$



Gambar 2. Konfigurasi *Wenner-Alpha* (Loke, 2020)

Pada Lintasan 2 menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* seperti Gambar 3. dengan jarak antar elektroda 5 m, menggunakan 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial. Pada konfigurasi ini memiliki perbedaan pada pergeseran elektroda arusnya yang lebih jauh dibanding pergeseran elektroda potensial, apabila jarak antara elektroda potensial (P1-P2) dinyatakan sebagai ‘a’, maka rentang jarak antara elektroda arus (C1 dan C2) ditetapkan sebesar ‘2na+a’. Berdasarkan pengaturan posisi elektroda tersebut, parameter faktor geometri yang digunakan didefinisikan sebagai berikut:

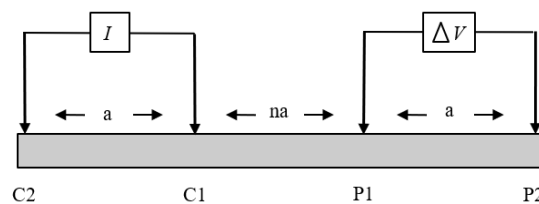
$$k = n(n + 1)\pi a \quad (3)$$



Gambar 3. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (Loke, 2020)

Pada lintasan ketiga menggunakan konfigurasi *Dipole-Dipole* seperti Gambar 4. Susunan elektroda konfigurasi ini adalah C2–C1–P2–P1. Spasi antara elektroda sejauh “a”. Jarak antara C1 dengan P2 memiliki faktor rasio (n) sehingga jarak antara C1–P2 adalah na. Berikut faktor geometri dari *Dipole-Dipole*:

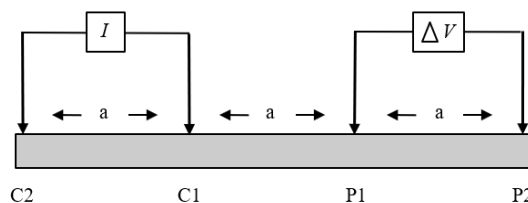
$$k = \pi n(n + 1)(n = 2)a \quad (4)$$



Gambar 4. Konfigurasi *Dipole-Dipole* (Loke, 2020)

Pada lintasan keempat menggunakan konfigurasi *Wenner-Beta* seperti Gambar 5. Jarak elektroda C2-C1-P2-P1 sebesar “a”. memiliki susunan elektroda yang sama dengan *Dipole-Dipole*. Yang membedakan adalah tidak adanya faktor rasio (n). Faktor geometri *Wenner-Beta* adalah sebagai berikut:

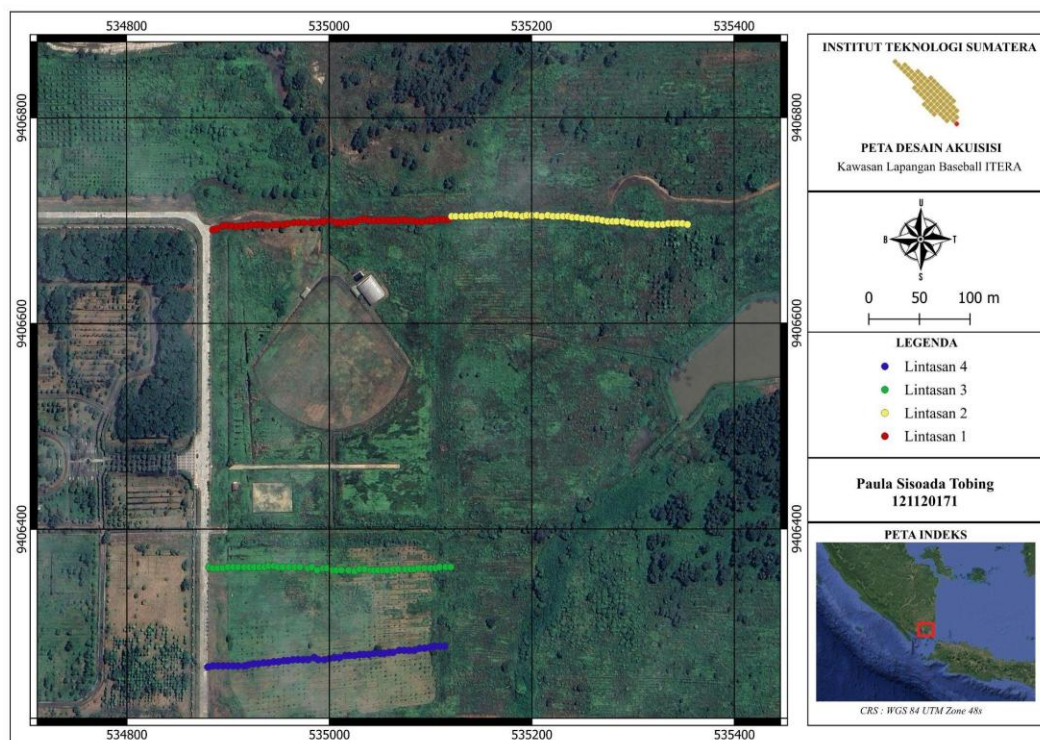
$$k = 6\pi a \quad (5)$$



Gambar 5. Konfigurasi *Wenner-Beta* (Loke, 2020)

METODOLOGI

Penelitian ini menerapkan metode geolistrik *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) yang memiliki kemampuan untuk memetakan distribusi nilai tahanan jenis di bawah permukaan secara lateral maupun vertikal (Perrone dkk., 2014). Adapun data yang diolah dalam studi ini merupakan data sekunder yang bersumber dari Praktikum Geolistrik Teknik Geofisika ITERA Tahun 2024 dengan desain survei yang dapat dilihat pada Gambar 6. Penelitian ini dilakukan di area kampus ITERA tepatnya di depan dan belakang lapangan *baseball*. Terdapat 4 lintasan dengan menggunakan 48 elektroda dengan spasi 5 m dan panjang lintasan 235 m membentang dari arah Barat ke Timur pada masing-masing lintasan. Lintasan 1 menggunakan konfigurasi *Wenner-Alpha* yang berada di belakang lapangan *baseball* lalu dilanjutkan oleh Lintasan 2 dengan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Lalu Lintasan 3 dengan konfigurasi *Dipole-Dipole* dibentangkan sejajar dengan Lintasan 4 di depan lapangan *baseball*. Penerapan variasi konfigurasi pada setiap lintasan dilakukan sebagai studi komparatif adaptif untuk mengevaluasi respons instrumen terhadap heterogenitas bawah permukaan yang bervariasi secara spasial. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi rasio optimal antara resolusi lateral dan kedalaman investigasi (*depth of investigation*), sehingga hasil inversi 2D melalui perangkat lunak RES2DINV dapat saling memvalidasi. Hal ini krusial untuk meminimalkan ambiguitas interpretasi geologi, mengingat adanya potensi diskontinuitas litologi antara titik pengamatan di area Lapangan *Baseball* ITERA.



Gambar 6. Peta Desain Akuisisi Kawasan Lapangan *Baseball* ITERA

Penelitian ini menghasilkan data resistivitas semu yang diperoleh dari lapangan dan diolah menggunakan teknik inversi non-linear untuk menghasilkan model resistivitas sebenarnya di bawah permukaan (Rizky dkk., 2015). Proses ini menerapkan metode optimasi *Least-Squares* (kuadrat terkecil) yang bertujuan untuk meminimalkan fungsi objektif berupa selisih kuadrat antara data resistivitas semu hasil pengukuran (*measured*) dengan hasil kalkulasi model (*calculated*) (Souza, 2014). Proses optimasi tersebut dilakukan secara berulang (iteratif) hingga model dianggap representatif, di mana setiap lintasan memerlukan jumlah tahapan yang berbeda. Pada penelitian ini, Lintasan 1 menggunakan 6 iterasi, Lintasan 2 menggunakan 7 iterasi, Lintasan 3 menggunakan 8 iterasi, dan Lintasan 4 menggunakan 8 iterasi. Jumlah iterasi yang digunakan untuk menyesuaikan nilai resistivitas setiap blok model hingga mencapai kondisi konvergen.

Dalam setiap tahapan tersebut, algoritma menghitung tingkat kecocokan model melalui nilai *absolute error* atau *root mean square (RMS) error*. Model akhir yang dipilih bukan hanya didasarkan pada nilai *error*

yang terkecil, melainkan pada titik di mana penurunan nilai *error* sudah tidak lagi signifikan (konvergen) dan model yang dihasilkan secara fisis tetap konsisten dengan kondisi geologi di lokasi penelitian. Penggunaan pendekatan *Least-Squares* ini memastikan bahwa model bawah permukaan yang dihasilkan mampu merepresentasikan variasi lapisan batuan secara lateral maupun vertikal dengan tingkat ambiguitas yang terukur. Hasil pengolahan menampilkan tiga penampang utama. Penampang pertama yaitu *measured apparent resistivity pseudosection* yang menunjukkan kontur resistivitas semu (hasil pengukuran data lapangan). Penampang kedua merupakan *calculated apparent resistivity pseudosection* yang menunjukkan kontur resistivitas dari hasil perhitungan. Penampang ketiga adalah hasil model resistivitas sebenarnya yang dipilih berdasarkan nilai *absolute error* terkecil yang telah mencapai titik konvergen, yang menunjukkan tingkat kesesuaian optimal antara data pengukuran dan data kalkulasi model. Penampang model inversi ini merepresentasikan distribusi resistivitas bawah permukaan yang menjadi dasar interpretasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

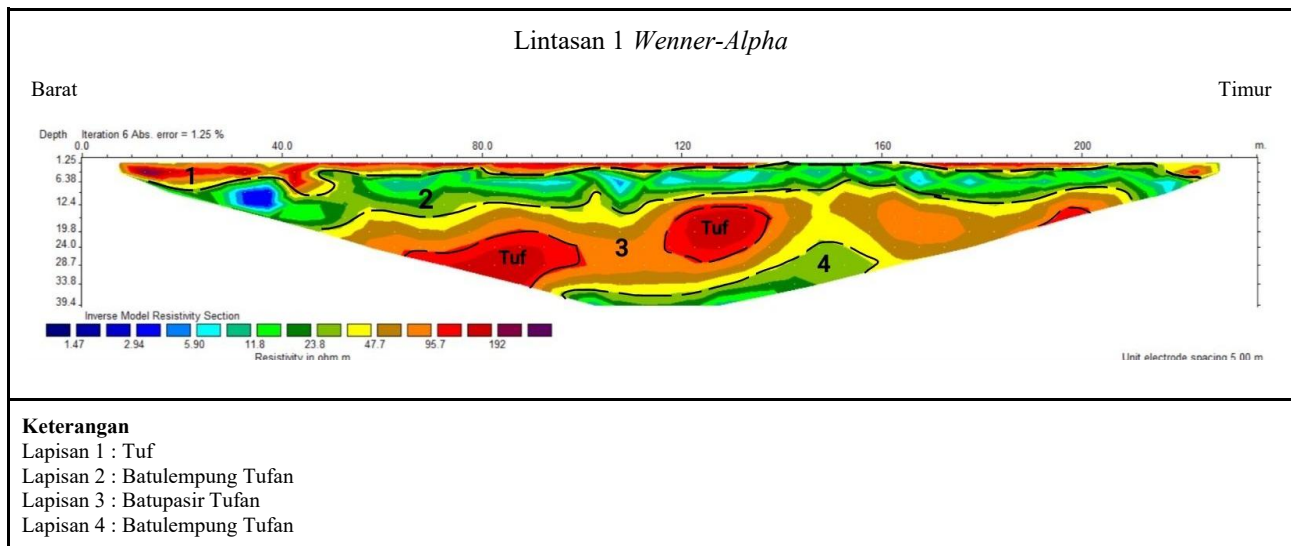
Berdasarkan pengolahan data *Electrical Resistivity Tomography* (ERT), hasil pemodelan bawah permukaan digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan unit akuifer melalui analisis variasi nilai resistivitas batuan sebagai parameter fisik utamanya. Hasil inversi menunjukkan adanya perbedaan litologi dan variasi resistivitas di setiap lintasan, yang secara geologis berada pada Formasi Lampung yang didominasi oleh endapan sedimen hasil aktivitas vulkanik. Sehingga penelitian ini menggunakan **Tabel 1.** sebagai acuan nilai rentang resistivitasnya.

Tabel 1. Rentang Resistivitas dari Litologi Batuan ITERA (Rizka dan Setiawan, 2019)

No.	Resistivitas (Ωm)	Litologi
1	< 20 Ωm	<i>Tuffaceous Claystone</i> (Batulempung Tufan) Batuan tuf berbutir halus yang memiliki kandungan <i>clay</i> atau lempung yang tidak dapat menjadi akuifer karena sifatnya kedap air atau <i>impermeable</i> .
2	20 - 80 Ωm	<i>Tuffaceous Sandstones</i> (Batupasir Tufan) Batuan tuf yang memiliki kandungan pasir berbutir menengah-kasar. Bersifat permeabel dengan porositas baik. Dapat menjadi akuifer tertekan.
3	80 - 150 Ωm	<i>Coarse Tuff</i> (Tuf Kasar) Batuan tuf berbutir kasar, terletak pada bagian yang relatif dangkal dari permukaan/bagian bawah tanah penutup dan dapat berperan menjadi akuifer.
4	>150 Ωm	<i>Fine Tuff</i> (Tuf Halus) Batuan tuf dengan ukuran butir yang halus hingga kompak. Sifatnya kedap air atau <i>impermeable</i> jika sementasinya sangat kuat.

Lintasan 1

Penampang Lintasan 1 membentang dari arah Barat-Timur. Penggunaan konfigurasi *Wenner-Alpha* pada Lintasan 1 terbukti sangat efektif dalam memetakan pelapisan geologi secara vertikal dengan tingkat akurasi tinggi, yang ditunjukkan oleh nilai *absolute error* terendah sebesar 1,25% setelah melalui proses optimasi sebanyak 6 iterasi. Berdasarkan **Gambar 7.** konfigurasi ini memiliki kedalaman penetrasi hingga 39,4 m dengan nilai rentang resistivitas sebesar 1,47-192 Ωm . Batas perlapisan pada penampang resistivitas ini ditandai dengan garis putus-putus berwarna hitam berdasarkan kontras nilai resistivitasnya. Lapisan pertama pada kedalaman 0-8 m memiliki nilai resistivitas >90 Ωm dengan warna dominan merah dan ungu yang merupakan lapisan tuf pada jarak 5-225 m. Pada lapisan kedua di kedalaman 8-19,8 m terdapat variasi nilai resistivitas rendah dengan nilai resistivitas <40 Ωm ditandai warna biru dan hijau. Lapisan ini merupakan batulempung tufan dengan ketebalan hingga 11,8 m. Lapisan ini merupakan jenis akuikard/akuikud dikarenakan memiliki kandungan lempung yang sifatnya *impermeable* (kedap air). Pada lapisan ketiga di kedalaman 19,8-36 m memiliki rentang resistivitas 40-90 Ωm dengan warna dominan kuning dan jingga yang merupakan lapisan batupasir tufan yang memiliki ketebalan hingga 16,2 m.



Gambar 7. Profil Lintasan 1 (lapisan yang diarsir merupakan zona potensi akuifer)

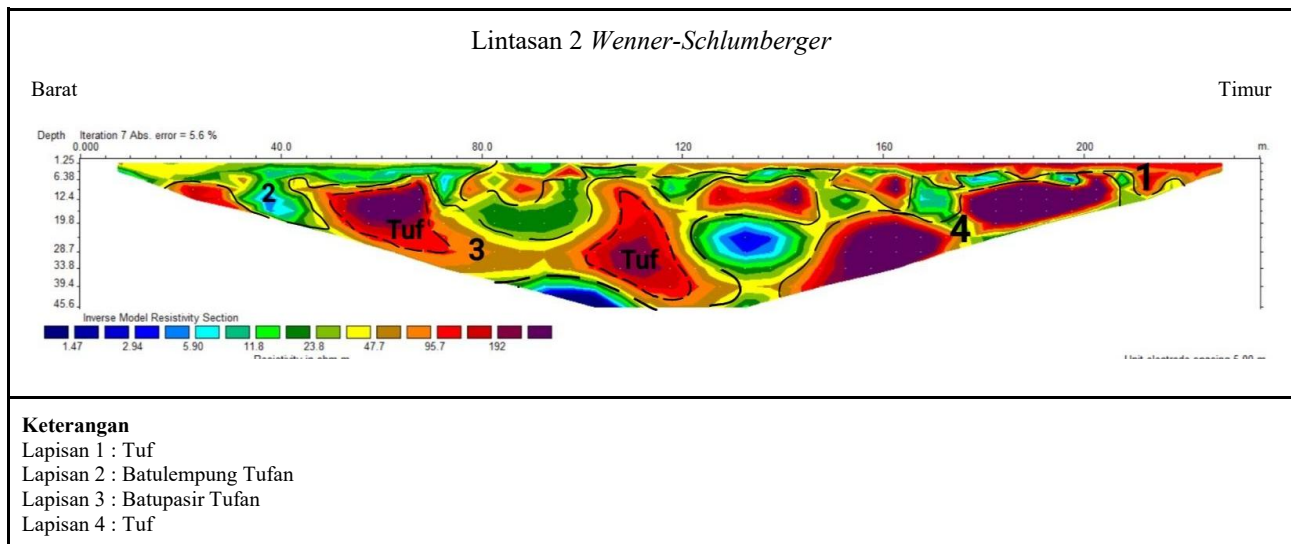
Nilai variasi resistivitas yang tersebar di jarak dan kedalaman yang berbeda pada Lintasan 1 dapat dilihat pada **Tabel 2.** berikut.

Tabel 2. Tabel Resistivitas Lintasan 1

Lapisan	Nilai Resistivitas (Ωm)	Material	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Jarak Barat - Timur (m)	Warna Pada Penampang
1	>90 Ωm	Tuf	0-8 m	8 m	0-215 m	Merah dan ungu
2	<40 Ωm	Batulempung Tufan	8-19,8 m	11,8 m	0-235 m	Biru dan hijau
3	40-90 Ωm	Batupasir Tufan	19,8-36 m	16,2 m	10-235 m	Kuning dan jingga
4	<40 Ωm	Batulempung Tufan	36-39,4 m	3,4 m	90-160 m	Hijau

Lintasan 2

Penampang Lintasan 2 meneruskan Lintasan 1 dari arah Barat-Timur. Lintasan 2 menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* yang menawarkan keunggulan dalam penetrasi kedalaman yang lebih besar mencapai 45,6 m serta sensitivitas horizontal yang lebih baik dibandingkan *Wenner-Alpha* (Mulyasari dkk., 2021). Proses inversi pada lintasan ini membutuhkan 7 iterasi untuk mencapai nilai *absolute error* sebesar 5,6%, yang mengindikasikan adanya variasi litologi bawah permukaan yang lebih kompleks dibandingkan lintasan sebelumnya. Nilai rentang resistivitas pada Lintasan 2 sebesar 1,47-192 Ωm diperlihatkan pada **Gambar 8.** Lapisan pertama terbentang dari jarak 100-225 m dengan nilai resistivitas >90 Ωm yang berada pada kedalaman 0-5 m merupakan material tuf yang memiliki ketebalan 5 meter. Lapisan kedua berada pada jarak 5-145 m di kedalaman 2,19-8 m memiliki nilai resistivitas <40 Ωm yang merupakan batulempung tufan dengan ketebalan 17,8 m. Lapisan ketiga memiliki nilai resistivitas batuan antara 40 Ωm sampai 90 Ωm yang merupakan batupasir tufan pada kedalaman 6,38-45,6 m dan pada jarak 15-150 m. Lapisan ini merupakan potensi akuifer dengan ketebalan 39,22 m, ditandai dengan daerah yang diarsir dengan kontras warna kuning dan jingga. Lapisan keempat berada pada jarak 140-205 m di kedalaman 12-39,4 m diinterpretasikan sebagai lapisan tuf dengan ketebalan mencapai 27,4 m. Kar



Gambar 8. Profil Lintasan 2 (lapisan yang diarsir merupakan zona potensi akuifer)

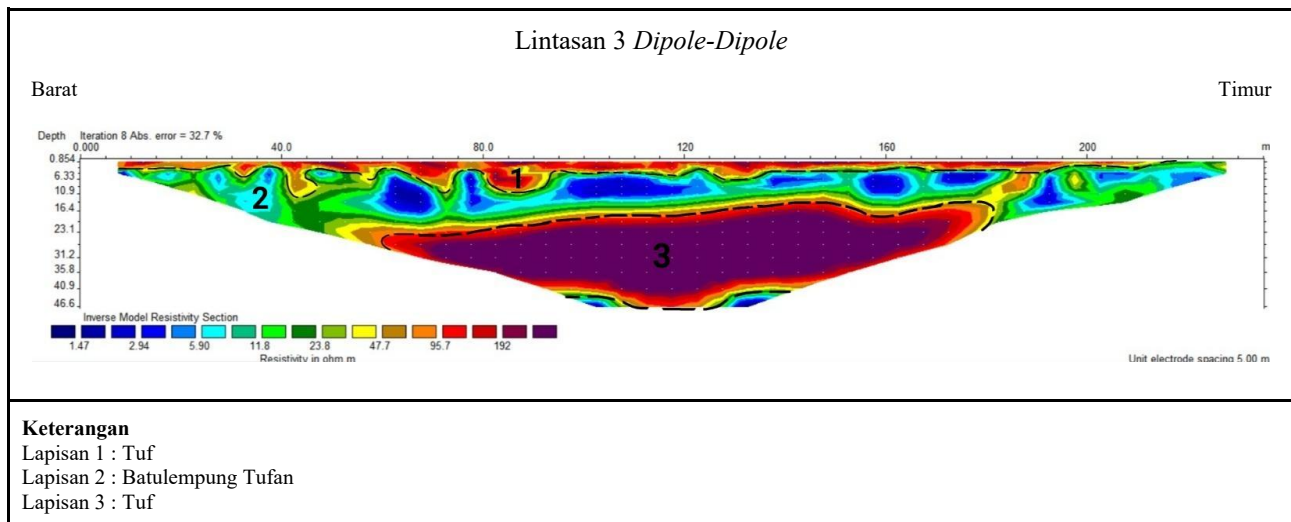
Nilai variasi resistivitas yang tersebar di jarak dan kedalaman yang berbeda pada Lintasan 2 dapat dilihat pada Tabel 3. berikut.

Tabel 3. Tabel Resistivitas Lintasan 2

Lapisan	Nilai Resistivitas (Ωm)	Material	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Jarak Barat - Timur (m)	Warna Pada Penampang
1	$> 90 \Omega m$	Tuf	0-5 m	5 m	100-225 m	Merah dan Ungu
2	$< 40 \Omega m$	Batulempung Tufan	2-19,8 m	17,8 m	5-145 m	Biru dan hijau
3	$40 - 90 \Omega m$	Batupasir Tufan	6,38-45,6 m	39,22 m	15-150 m	Kuning dan Jingga
4	$> 90 \Omega m$	Tuf	12-39,4 m	27,4 m	140-205 m	Merah dan ungu

Lintasan 3

Penampang Lintasan 3 pada Gambar 9. membentang dengan arah Barat-Timur menggunakan konfigurasi *Dipole-Dipole* karena keunggulannya dalam mendeteksi variasi resistivitas secara lateral dengan detail tajam, meskipun memiliki rasio *signal-to-noise* yang lebih rendah pada area dalam. Hal ini tercermin dari kedalaman penetrasi maksimum mencapai 46,6 m (terdalam di antara semua lintasan) dengan proses optimasi sebanyak 8 iterasi. Meskipun telah dilakukan iterasi maksimal, nilai *error* tetap bertahan cukup tinggi sebesar 32,7%, yang merefleksikan sensitivitas ekstrem konfigurasi ini terhadap heterogenitas batuan tuf yang sangat kontras di bawah kawasan Lapangan *Baseball* ITERA. Nilai rentang resistivitas pada Lintasan 3 sebesar 1,47-192 Ωm . Lapisan pertama memiliki variasi resistivitas $>90 \Omega m$ di kedalaman 0-8 meter yang terbentang dari 0-215. Mengacu pada Tabel 1. lintasan ini merupakan lapisan tuf dengan ketebalan 8m. Lapisan kedua di kedalaman 4-18 m pada jarak 0-235 m memiliki nilai resistivitas $<40 m$. Lapisan ini merupakan batulempung tufan dengan ketebalan 14 m. Lapisan ketiga berada pada jarak 55-180 m di kedalaman 15-46 m dengan nilai resistivitas $>90 \Omega m$. Lapisan ini diidentifikasi sebagai lapisan tuf yang bersifat kedap air (*impermeable*) dengan ketebalan sebesar 31 m sehingga zona ini tidak dapat dikategorikan sebagai lapisan akuifer. Tingginya nilai resistivitas pada lapisan ini mengindikasikan tingkat kepadatan batuan yang tinggi dengan sementasi yang kuat, sehingga menyebabkan hilangnya porositas primer antar-butir. Meskipun batuan ini berasal dari material vulkanik, teksturnya yang halus dan sifatnya yang masif menyebabkan lapisan ini memiliki permeabilitas yang sangat rendah hingga kedap air (*impermeabel*) sehingga diidentifikasi sebagai lapisan pembatas (akuifug/akuiklud). Lapisan keempat merupakan lapisan batulempung tufan yang berada pada kedalaman 41-46,6 m dengan ketebalan sekitar 5,6 m pada jarak 95-140 m. Lintasan ketiga tidak memiliki lapisan yang berpotensi sebagai akuifer.



Gambar 9. Profil Lintasan 3 (garis putus-putus menunjukkan batas perlapisan)

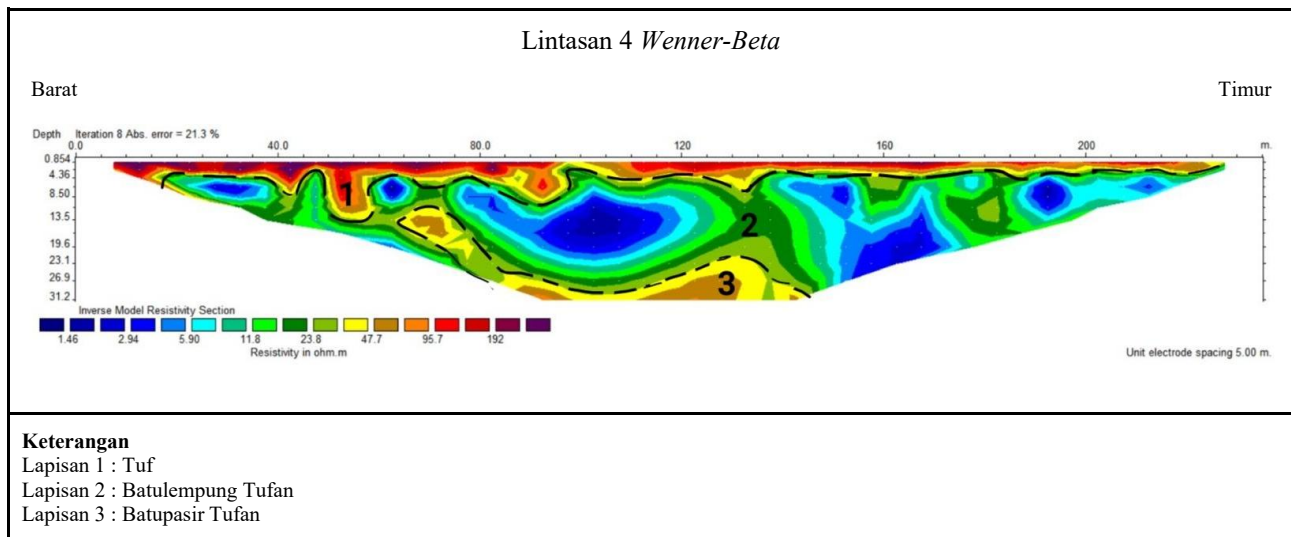
Nilai variasi resistivitas yang tersebar di jarak dan kedalaman yang berbeda pada Lintasan 3 dapat dilihat pada Tabel 4. berikut.

Tabel 4. Tabel Resistivitas Lintasan 3

Nilai Resistivitas (Ωm)	Material	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Jarak Barat - Timur (m)	Warna Pada Penampang
>90 Ωm	Tuf	0-8 m	8 m	0-215 m	Merah dan ungu
<40 Ωm	Batulempung Tufan	4-18 m	14 m	0-235 m	Biru dan hijau
>90 Ωm	Tuf	15-46 m	31 m	55-180 m	Merah dan ungu
<40 Ωm	Batulempung Tufan	41-46,6 m	5,6 m	90-140 m	Biru dan hijau

Lintasan 4

Penampang Lintasan 4 membentang dengan arah Barat-Timur. Lintasan ini menerapkan konfigurasi *Wenner-Beta* yang memberikan keseimbangan antara resolusi lateral dan penetrasi vertikal, dengan jangkauan kedalaman investigasi mencapai 31,2 m. Proses pengolahan data pada lintasan ini memerlukan 8 iterasi untuk mencapai nilai *absolute error* sebesar 21,3%, di mana jumlah iterasi yang cukup banyak ini diperlukan guna menyesuaikan nilai resistivitas blok model terhadap dominasi lapisan kedap air yang masif. Diperlihatkan pada Gambar 10. nilai rentang resistivitas pada Lintasan 4 sebesar 1,46-192 Ωm . Pada kedalaman 0-10 m terdapat lapisan pertama dengan kontras warna merah dan ungu memiliki nilai resistivitas >90 Ωm yang diinterpretasikan sebagai tuf dengan ketebalan 8 m yang terbentang dari jarak 0-225 m. Lapisan kedua dengan kontras warna hijau dan biru tersebar dari jarak 10-235 pada kedalaman 8-19 m. Lapisan ini merupakan batulempung tufan dengan ketebalan 22,54 m yang diduga sebagai akuikard/akuiklud yang memiliki resistivitas rendah yaitu <40 Ωm . Lapisan akuikard/akuiklud ini merupakan lapisan dengan kandungan lempung tufan yang paling tebal diantara lintasan lainnya. Keberadaan lempung (*clay*) mengakibatkan lapisan ini menjadi kedap air karena ukurannya yang sangat kecil dapat mengisi bahkan menutup ruang pori pada tuf, sehingga menyumbat jalan air. Pada lapisan ketiga dengan kontras warna kuning dan jingga ditandai oleh daerah yang diarsir. Lapisan ini terletak pada jarak 60-150 m di kedalaman 12-31,2 m dan memiliki nilai resistivitas sebesar 40-90 Ωm . Lapisan ini dapat diinterpretasikan sebagai batupasir tufan yang memiliki potensi akuifer dengan ketebalan sebesar 19,2 m.



Gambar 10. Profil Lintasan 4 (lapisan yang diarsir merupakan zona potensi akuifer)

Nilai variasi resistivitas yang tersebar di jarak dan kedalaman yang berbeda pada Lintasan 3 dapat dilihat pada Tabel 5. berikut.

Tabel 5. Tabel Resistivitas Lintasan 4

Nilai Resistivitas (Ωm)	Material	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Jarak Barat - Timur (m)	Warna Pada Penampang
>90 Ωm	Tuf	0-4,36 m	4,36 m	0-225 m	Merah dan ungu
<40 Ωm	Batulempung Tufan	4,36-26,9 m	22,54 m	10-235 m	Biru dan hijau
40-90 Ωm	Batupasir Tufan	12-31,2 m	19,2 m	60-150 m	Kuning dan jingga

Hasil menunjukkan bahwa lapisan dengan resistivitas rendah (<40 Ωm) diinterpretasikan sebagai batulempung tufan, secara geologis berfungsi sebagai akuitard/akuiklud karena tingginya kandungan lempung dan sifatnya yang kedap air (*impermeable*), yang membatasi pergerakan air tanah. Lapisan dengan resistivitas menengah hingga tinggi (40-90 Ωm) diinterpretasikan sebagai batupasir tufan yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik untuk bertindak sebagai akuifer, seperti pada lapisan ketiga di Lintasan 1, 2 dan 4. Lapisan dengan resistivitas tinggi (>90 Ωm) diinterpretasikan sebagai lapisan tuf yang kedap air dan berperan sebagai akuifug/akuiklud. Zona potensi akuifer pada Lintasan 1 berada pada kedalaman 19,8-36 m dengan ketebalan 16,2 m, pada Lintasan 2 berada pada kedalaman 6,38-45,6 m dengan ketebalan 39,22 m, dan pada Lintasan 4 berada pada kedalaman 12-31,2 m dengan ketebalan sebesar 19,2 m. Sedangkan berdasarkan kontras resistivitas (>90 Ωm) pada lapisan ketiga di Lintasan 3 menunjukkan adanya lapisan tuf yang sangat tebal mencapai 31 m. Perbedaan ini dapat diakibatkan oleh posisi lintasan yang cukup jauh, dimana Lintasan 1 berada di sebelah Utara lapangan *baseball* sedangkan Lintasan 3 berada di sebelah Selatan lapangan *baseball* sehingga adanya perubahan litologi yang tidak terlalu signifikan. Lapisan yang berpotensi sebagai akuifer secara konsisten berada pada lapisan ketiga di Lintasan 1, 2, dan 4. Hal ini menunjukkan bahwa formasi batupasir tufan sebagai zona pembawa air memiliki kemenerusan (kontinuitas) penyebaran secara lateral yang cukup baik di area tersebut. Namun, perbedaan kedalaman dan ketebalan pada keempat lintasan di area Lapangan *Baseball* ITERA dikontrol oleh heterogenitas litologi lateral dan geometri perlapisan pada Formasi Lampung. Berdasarkan desain akuisisi, penerapan variasi konfigurasi elektroda seperti Wenner-Alpha, Wenner-Schlumberger, dan Dipole-Dipole sebagai studi komparatif adaptif memberikan tingkat resolusi spasial dan batas kedalaman investigasi (*depth of investigation*) yang berbeda, sehingga turut memengaruhi variasi kedalaman yang terekam pada hasil inversi model.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian, kawasan Lapangan *Baseball* ITERA yang didominasi oleh Formasi Lampung ini memiliki zona prospektif akuifer, di mana potensi akuifer ditemukan pada rata-rata kedalaman 19,8-31,2 m ($40-90 \Omega m$) di Lintasan 1, 2 dan 4. Pada Lintasan 3 tidak ditemukan potensi akuifer, melainkan diidentifikasi sebagai tuf yang bersifat masif. Hal ini diakibatkan oleh tingginya nilai resistivitas ($>90 \Omega m$) yang mengindikasikan penurunan porositas dan permeabilitas batuan akibat tingkat sementasi yang kuat, sehingga lapisan ini lebih berperan sebagai akuifug/akuiklud yang kedap air dibandingkan sebagai media penyimpan air tanah yang produktif. Adapun lapisan batulempung tufan dengan resistivitas $<40 \Omega m$ teridentifikasi secara konsisten berfungsi sebagai lapisan pembatas (akuitard/akuiklud).

Saran

Setelah berhasil mengidentifikasi zona prospektif Akuifer Tertekan, terutama pada Lintasan 3, langkah selanjutnya yang esensial adalah validasi dan evaluasi potensi air tanah secara kuantitatif dan kualitatif. Penelitian harus dilanjutkan dengan pengeboran sumur eksplorasi di lokasi paling prospektif, disertai dengan log litologi untuk mengkalibrasi nilai resistivitas batuan akuifer dan akuiklud yang terinterpretasi. Selanjutnya, lakukan uji pemompaan (*pumping test*) pada sumur yang dibor guna mendapatkan parameter hidrogeologi kritis seperti Transmisivitas (T) dan Koefisien Tampungan (S), yang akan menentukan debit air yang aman untuk dimanfaatkan. Selain itu, analisis kimia air harus dilakukan untuk memverifikasi kualitas air dan kelayakannya sesuai standar. Terakhir, data yang terintegrasi ini dapat dijadikan dasar penyusunan Peta Potensi Air Tanah definitif di kawasan Lapangan *Baseball* ITERA dan pembentukan jaringan *monitoring* sumur observasi permanen untuk mengawasi perubahan muka air dan kualitas air, serta memastikan pengelolaan sumber daya air tanah yang efisien dan berkelanjutan di lingkungan kampus Institut Teknologi Sumatera.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera yang telah memberikan data sekunder dalam penelitian ini. Terimakasih kepada seluruh dosen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera. Terimakasih kepada keluarga dan seluruh rekan yang mendukung penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Djaendi. 2003. Pengelolaan Air Tanah Yang Berwawasan Lingkungan. *Jurnal Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan*.
- Hermans, T., Goderniaux, P., Jougnot, D., Fleckenstein, J. H., Brunner, P., Nguyen, F., Linde, N., Huisman, J. A., Bour, O., Lopez Alvis, J., dkk., 2023. Advancing measurements and representations of subsurface heterogeneity and dynamic processes: towards 4D hydrogeology. *Hydrology and Earth System Sciences*. 27 (1), 255–287. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-27-255-2023>
- Kodoatie, J.K., 2013, *Tata Ruang Air Tanah*, Andy, Yogyakarta
- Loke, M.H. (2020). *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*. Geotomo Software
- Mangga, S.A., Djaelani, A.A., Santosa, S., dan Suwarti, T. (1993). *Peta Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatra*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Mulyasari, R., Darmawan, I.G.B., & Haerudin, N. (2021). Perbandingan Konfigurasi Elektroda Metode Geolistrik Resistivitas untuk Identifikasi Litologi dan Bidang Gelincir di Kelurahan Pidada Bandar Lampung. *JGP (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 6(2), 16–23.
- Mulyono, A., Wibowo, S., & Hidayat, N. (2020). Geoelectrical Resistivity for Groundwater Potential Mapping in Soe Region, NTT. *Geophysics Research Journal*, 65(4), 112–124.

- Nurhasanah, N., Pancasilawan, R., & Munajat, M. D. E. (2021). Pengendalian Pemanfaatan Air Tanah di Kecamatan Bandung Wetan oleh Cabang Dinas ESDM Wilayah IV Bandung. *Jurnal Analisis Nyata Ekonomi (JANE)*, 13(1), 150–159. DOI: <https://doi.org/10.24198/jane.v13i1.35066>
- Perrone, A., Lapenna, V., dan S.Piscitelli. (2014). Electrical resistivity tomography technique for landslide investigation: A review. *Earth-Science Reviews*, 135, 65–82. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.04.002>
- Rejekiningrum, P. 2009. Peluang Pemanfaatan Air Tanah untuk Keberlanjutan Sumber Daya Air. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol. 3 No. 2, 85–96.
- Reynolds, Jhon M. 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. USA : Jhon Wiley & Sons.
- Rizka, V.I., dan Setiawan, R. (2019). Karakteristik Hidrogeologi Batuan Tuf dan Potensinya Sebagai Akuifer. *Jurnal Geologi Terapan*. DOI: <https://doi.org/10.24198/bsc.v17i2.22393>
- Rizky, A.W.N.F., Suryo, E. A., & Munawir, A. (2015). *Pemanfaatan Data Electrical Resistivity Tomography Dalam Analisis Stabilitas Bendungan Selorejo Terhadap Beban Gempa*. Universitas Brawijaya.
- Samsudin, R., Ahmad, N., & Wibowo, S. (2021). Application of Geoelectrical Methods for Groundwater Conservation Areas: A Review. *Environmental Geophysics*, 28(3), 98–112.
- Souza, J. (2014) A Method to Estimate Spatial Resolution in 2-D Seismic Surface Wave Tomographic Problems. *International Journal of Geosciences*, 5, 757–770. doi: 10.4236/ijg.2014.58068.
- Yudiantoro, D.F., Subandrio, A., Irawan, A.B., Haty, I.P., Pambudi, S., Septyo, U.P., Afrilita, Yoni, D.R., Martasari, R.D., Aryanto, N.C., Abdurrachman, M., & Ulhaq, I.D. (2023). *Mendalami Batuan Piroklastik* (U.S. Pratomo (ed.); 1st ed.). Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, UPN Veteran Yogyakarta.