

PENENTUAN POTENSI AIR TANAH BERDASARKAN DATA GEOLISTRIK KONFIGURASI SCHLUMBERGER PADA DAERAH PERTANIAN DESA PIJOAN. MUARO JAMBI.

DETERMINATION OF GROUND WATER POTENTIAL USING SCHLUMBERGER CONFIRGURATION

Rimawanto Gultom^{1*}

¹Program Studi Teknik Geofisika Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Poka Ambon

*rimawanto@gmail.com

Kata Kunci:
Resistivitas
Schlumberger
Air tanah

Abstrak.

Penelitian tentang penentuan potensi air tanah di sekitar kawasan pertanian desa Pijoan telah dilakukan dengan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger. Pengambilan data dilakukan pada tiga lintasan dengan panjang lintasan masing-masing 200 meter. Penelitian ini menggunakan Nainura 300HF dan data diolah menggunakan *software* IP2win untuk memperoleh gambaran hasil bawah permukaan tanah berdasarkan nilai resistivitas dari struktur lapisan penyusun bawah permukaan yang ditampilkan dalam model 1D. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketiga lintasan memiliki rentang nilai resistivitas 1 – 150 Ω .m. Pada lintasan pertama dengan nilai resistivitas sebesar 14.8 Ω .m – 150 Ω .m tersusun atas lempung, dan lanau lempung. Lapisan air tanah diduga terdapat pada kedalaman 10.7 m dengan nilai resistivitas sebesar 63.2 Ω .m. Pada lapisan kedua, nilai resistivitas berada direntang 0.505 Ω .m – 129 Ω .m. diduga sebagai lapisan sedimen yang tersusun atas aluvium, lempung lanau dan air tanah. Air tanah diduga terdapat pada kedalaman 24.4 meter dengan nilai resistivitas 30.4 Ω .m. Sedangkan pada lintasan ketiga, nilai resistivitas berkisar antara 0.6 Ω .m. – 344 Ω .m dengan material penyusun berupa aluvium, lempung, dan air tanah. Air tanah diduga terdapat pada kedalaman 14.1 dengan nilai resistivitas sebesar 44.7 Ω .m.

Keywords:
Resistivity
Schlumberger
Ground water

Abstract.

The research on the ground water potential detection in Pijoan village, Jaluko subdistrict has been done by using geoelectrical method Schlumberger configuration. Data acquisition was conducted on three path with each path length of 200 meters. This research using Naniura 300 HF tool and data processing was used IPI2win to obtain the subsurface model based on the resistivity value of the subsurface layer structure which uncovered in the 1D model.. The results obtained that the three paths have a resistivity value range of 1 - 150 Ω .m. On the first path with a resistivity value of 14.8 Ω .m - 150 Ω .m it's composed of clay and clay silt. The groundwater layer is surmised to be at a depth of 10.7 m with a resistivity value of 63.2 Ω .m. On the second path, the resistivity value is in the range of 0.505 Ω .m - 129 Ω .m. indicated to be a

sedimentary layer composed of alluvium, clay silt and groundwater. Groundwater is indicated to be at a depth of 24.4 meters with a resistivity value of 30.4 $\Omega.m$. The third path, the resistivity value ranges from 0.6 $\Omega.m$. – 344 $\Omega.m$ with the constituent materials being alluvium, clay, and groundwater. Groundwater is indicated to be at a depth of 14.1 with a resistivity value of 44.7 $\Omega.m$.

1. PENDAHULUAN

Air tanah memiliki peran yang penting dalam pengembangan sektor pertanian pangan, dalam hal ini untuk keperluan irigasi khususnya di daerah Muaro Jambi. Berdasarkan data BPS di tahun 2023, sektor pertanian Muaro Jambi menyumbangkan sekitar 45.45% dari total Pendapatan Domestik Regional Bruto (PDRB) dan merupakan sektor penyumbang terbesar [1]. Penggunaan lahan pertanian pangan Muaro Jambi dibagi menjadi beberapa kelas khususnya di desa Pijoan adalah, perkebunan dengan luasan daerah 310.280 ha (58.31%), terbesar kedua adalah hutan sekitar 136.671 ha (25,68%) dan terbesar ketiga adalah pertanian lahan kering sekitar 62.368 ha (11.72%) diikuti oleh sektor lainnya[2]. Ketiga faktor tersebut sangat bergantung pada ketersediaan air. Dalam pengembangannya, dibutuhkan perencanaan ketersediaan air yang tepat berbasis wilayah dengan mempertimbangkan kondisi geologi[3]. Ketersediaan air masih terbatas pada ketersediaan air permukaan yang sifatnya masih bisa habis karena masih dipengaruhi oleh iklim. Oleh karena itu, pemanfaatan air tanah merupakan salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan air di masa sekarang dan masa yang akan datang. Metode penentuan keberadaan air tanah dalam pemenuhan kebutuhan air pada umumnya masih dilakukan dengan metode konvensional seperti penggalian tanah, pengambilan sampel tanah untuk mengetahui salinitas, tekstur, kandungan batu, dan dianalisa laboratorium. Metode ini dinilai kurang efektif karena memerlukan biaya dan waktu yang cukup lama dan rumit[4]. Keberadaan air untuk pemenuhan potensi keberadaan air tanah dapat dieksplorasi dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas dengan tujuan untuk mengetahui lokasi tempat berkumpulnya air tanah[5]. Metode geolistrik dapat mengetahui sifat-sifat listrik tanah, seperti konduktivitas, resistivitas dan potensial hingga kedalaman tertentu[6]. Metode ini memiliki kelebihan dapat mendeteksi non homogenitas lapisan batuan pada permukaan, yaitu dengan membandingkan nilai resistivitas semu ketika terjadi perubahan jarak elektroda. Dengan menampilkan penampang dan nilai resistivitas bawah permukaan hasil pengukuran, maka dapat diprediksi lokasi dan kedalaman tempat lapisan tanah yang mengandung air[6][7]. Seperti yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [8] mengenai identifikasi potensi air menggunakan metode geolistrik, didapatkan resistivitas lapisan yang mengandung air <300 Ohm.m pada kedalaman diatas 12 m [8]. Hal serupa juga dilakukan oleh penelitian sebelumnya [9], diketahui bahwa potensi akuifer pada kedalaman 12-22m dengan nilai rentang nilai resistivitas 0-100 300 Ohm.m Penelitian lain juga berhasil mengelompokkan potensi air tanah pada daerah yang kompleks akan litologi menggunakan metode geolistrik [10]. Dari beberapa penelitian tersebut, metode geolistrik dapat memberikan informasi ketersediaan air tanah secara akurat terkhususnya bagi masyarakat Muaro Jambi guna untuk mendukung kegiatan pertanian di lahan kering sehingga dapat membantu memajukan perekonomian masyarakat.masyarakat.

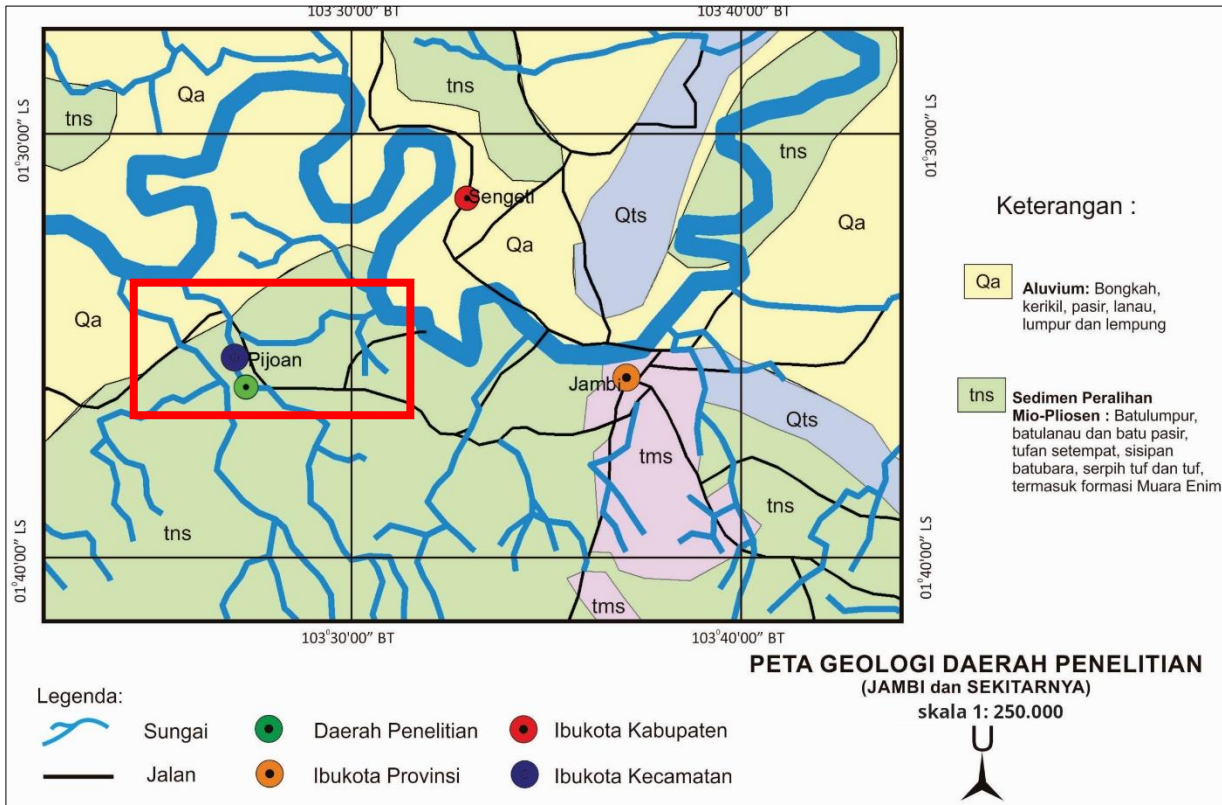
2. GEOLOGI REGIONAL DAERAH PENELITIAN

Muaro Jambi yang secara geologi didominasi oleh Aluvium, sedimen, pasir lanau, kerikil, lumpur, lempung, dan sedimen peralihan. Lokasi penelitian diandai oleh kotak berwarna merah yang ditunjukkan pada Gambar 1. Secara geologi, daerah penelitian berada di daerah Alluvium (Qa) yang tersusun atas kerikil, pasir, lanau, lumpur dan lempung dan Formasi Muara Enim (tns) yang tersusun atas batulumpur, batulanau, dan batu pasir, tufan setempat, sisipan batubara, serpih tuf dan tuf [11].

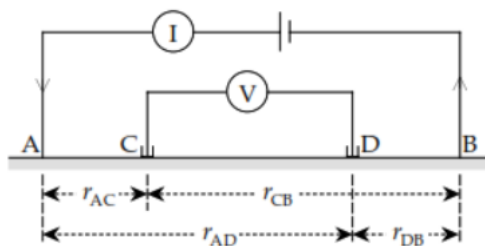
3. METODE PENELITIAN

3.1. Metode Geolistrik dan Konfigurasi Schlumberger

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang dalam pengaplikasiannya didasarkan pada variasi horizontal dan vertikal di permukaan bumi dan hubungannya dengan perubahan penghantaran suatu arus listrik[16]. Resistivitas ditentukan dari suatu pengukuran antara dua elektroda arus dan beda potensial. Ada dua jenis penyelidikan resistivitas, yaitu *Horizontal Profiling* (HP) dan *Vertical Electrical Sounding* (VES) atau penyelidikan kedalaman. Distribusi vertikal dan horizontal di dalam volume batuan dikenal sebagai penampang geolistrik [11][12].



Gambar 1. Peta Geologi Daerah Penelitian. Garis kotak merah menunjukkan daerah penelitian (dimodifikasi dari Mangga dkk, 1993)[13]



Gambar 2. Susunan konfigurasi Schlumberger [14]

Prinsip kerja dari konfigurasi ini adalah penginjeksian arus listrik ke dalam permukaan bumi. Penginjeksian arus akan mengakibatkan arus mengalir melalui lapisan batuan bawah permukaan dan menghasilkan data beda potensial yang nilainya bergantung pada resistivitas (ρ) yang dilaluinya. Dengan demikian, hasil pengukuran yang ada akan digunakan untuk sebagai penunjuk variasi nilai resistivitas (ρ) dari lapisan dibawah titik pengukuran (*sounding point*)[14]. Resistivitas yang dilalui pada medium fiktif dianggap

homogen yang ekuivalen dengan medium yang ditinjau disebut sebagai resistivitas semu (ρ_a) [15]. Sedangkan koreksi besaran koreksi letak antara masing-masing elektroda disebut sebagai faktor geometri (K). Nilai faktor geometri dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$K = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_{AC}} - \frac{1}{r_{CB}} - \frac{1}{r_{AD}} + \frac{1}{r_{DB}} \right) \right\}^{-1} \quad (1)$$

Sedangkan nilai resistivitas semu dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\rho_a = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \left\{ \left(\frac{1}{r_{AC}} - \frac{1}{r_{CB}} - \left(\frac{1}{r_{AD}} - \frac{1}{r_{DB}} \right) \right) \right\}^{-1} \quad (2)$$

3.3. Data

Pengambilan data menggunakan alat *Resistivity Meter S-Field* berupa Naniura 300 HF, elektroda, kabel, aki kering, palu, meteran, laptop, alat tulis, GPS, multimeter. Data yang diperoleh berupa arus dan beda potensial bawah permukaan. Data tersebut akan diolah berdasarkan masing-masing *software*, sehingga selanjutnya akan dianalisa dan diinterpretasikan.

3.4. Tahapan Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software IPI2WIN*, dan Ms. Excel. IPI2WIN merupakan sebuah *software* yang di rancang untuk mengolah data *vertical electrical sounding* secara otomatis. Pada umumnya, hasil dari perhitungan secara manual memberikan hasil yang kurang optimal dan bila dilihat dari presentasi kesalahan, masih diatas 15%, maka dari itu *software* IPI2WIN akan mengoreksi kombinasi nilai ketebalan dan nilai resistivitas sebenarnya untuk mendapatkan angka kesalahan (*RMS error*) terkecil setelah dilakukan iterasi. Angka kesalahan terkecil tergantung pada kualitas data lapangan serta banyaknya parameter yang dimasukkan sehingga didapatkan model lapisan daerah penelitian.

3.5. Tahapan Interpretasi Data

Dalam mengidentifikasi potensi air tanah bawah permukaan pada daerah penelitian di Muaro Jambi, dilakukan interpretasi dengan membaca pola anomali resistivitas yang selanjutnya dihubungkan dengan tatanan geologi dan tabel nilai resistivitas batuan, kemudian dapat memberikan gambaran struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian. Adapun kelompok batuan yang didasarkan oleh nilai resistivitas ditunjukkan oleh Tabel 1.

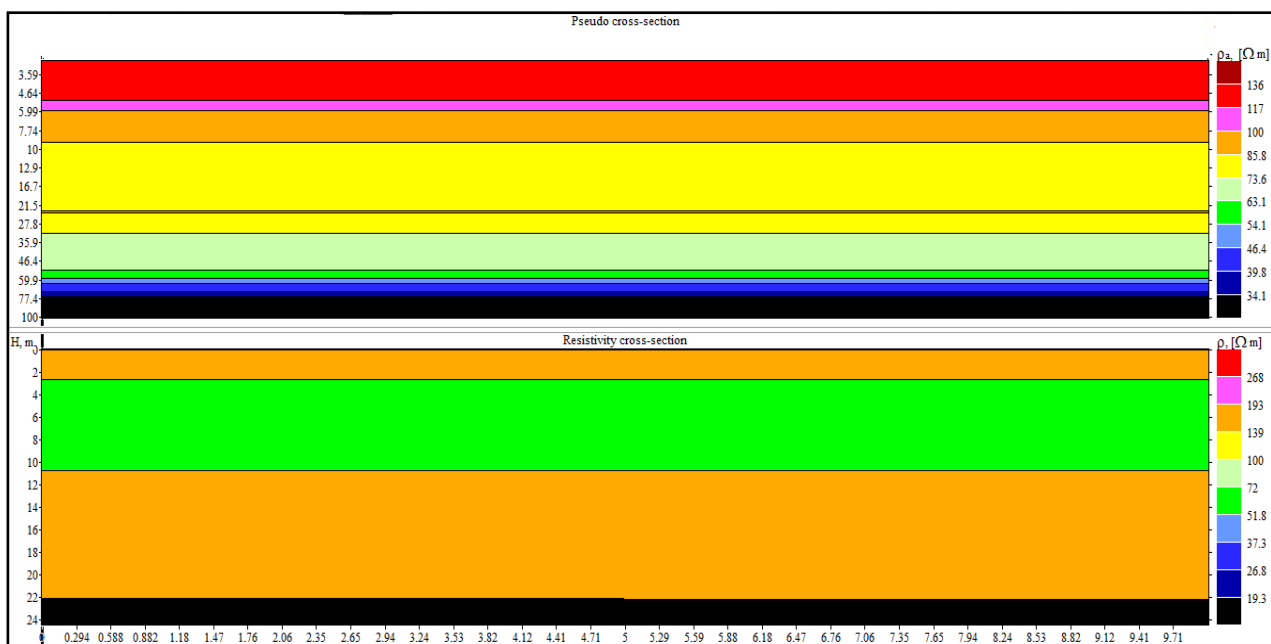
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data berupa resistivitas semua dilakukan menggunakan IPI2win. Hasil pengolahan data *pseudosection* berupa distribusi resistivitas semu dan sebenarnya ditunjukkan oleh Gambar.3. Jumlah lapisan pada lintasan I berjumlah empat lapisan dengan nilai ketebalan yang bervariasi yang ditunjukkan pada ole Gambar 4. Keempat lapisan memiliki nilai resistivitas yang bervariasi. Lapisan pertama memiliki nilai resistivitas 150 Ω .m dengan ketebalan mencapai 2.64 meter, lapisan kedua diduga lapisan akuifer dengan ketebalan sekitar 8.06 meter dengan nilai resistivitas sekitar 63.2 Ω .m, lapisan ketiga 155 Ω .m memiliki ketebalan 11.6 m dan lapisan keempat memiliki nilai resistivitas 14.8 Ω .m dengan nilai ketebalan tak hingga. Berdasarkan referensi nilai resistivitas yang ditunjukkan oleh Tabel 1, diduga bahwa keberadaan air tanah berada pada lapisan kedua di kedalaman hingga 10.7 meter. Sedangkan untuk lapisan lainnya didominasi oleh lapisan tanah yang berupa aluvium dan lempung lanau.

Tabel 1. Nilai resistivitas batuan [16]

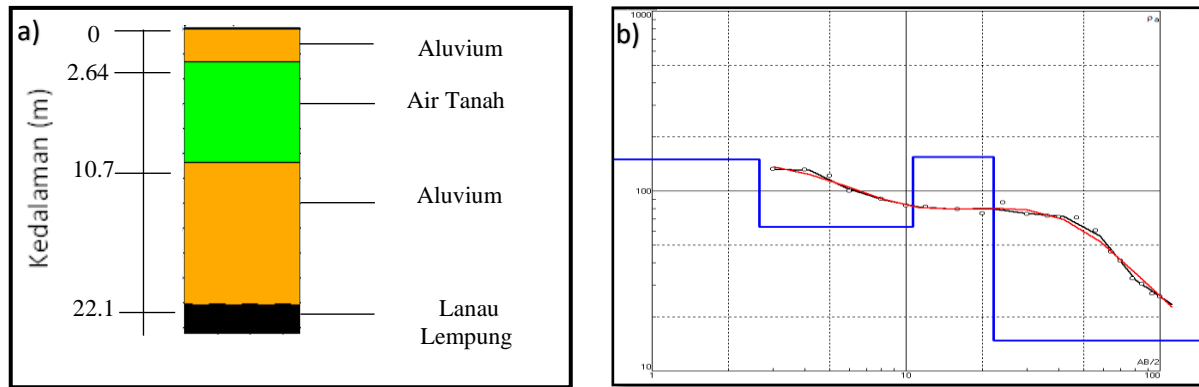
No		Material	Harga resistivitas ($\Omega.m$)
1.	Beku/Metamorf	Granit	$5 \times 10^3 - 10^8$
		Lapukan Granit	$1-10^2$
		Basal	$10^3 - 10^6$
		Kuarsa	$10^3 - 2 \times 10^6$
		Marmer	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
		Sekis	$20-10^4$
2	Sedimen	Batuan Pasir	$8 - 4 \times 10^3$
		Konglomerat	$2 \times 10^3 - 10^4$
		Serpih	$20 - 2 \times 10^3$
		Batu Kapur	$50 - 4 \times 10^2$
		Lempung	1-100
3	Unconsolidated Sedimen	Aluvium	10-800
		Lempung Lanau	1-70
		Lempung basah	20
4	Ground Water	Air Tawar	10-100
		Air Garam	0,2

Lapisan ini merupakan lapisan yang memiliki sifat permeabilitas cukup tinggi karena partikel penyusunnya yang cukup padat, sehingga kemampuan untuk menyerap air sangat rendah atau dapat dikatakan kedap air. Selanjutnya dilakukan perbandingan dengan kurva interpretasi yang memiliki nilai error 4.22% antara model dengan data pengukuran.



Gambar 3. Penampang Resistivitas semu dan sebenarnya pada Lintasan 1

Sehingga dapat diperkirakan bahwa hasil pengukuran pada Lintasan 1 memiliki kesesuaian yang cukup baik dan mendekati keadaan sebenarnya. Hasil ini juga sesuai dengan kondisi geologi daerah penelitian yang secara umum didominasi oleh lanau, lempung dan sedimen peralihan.

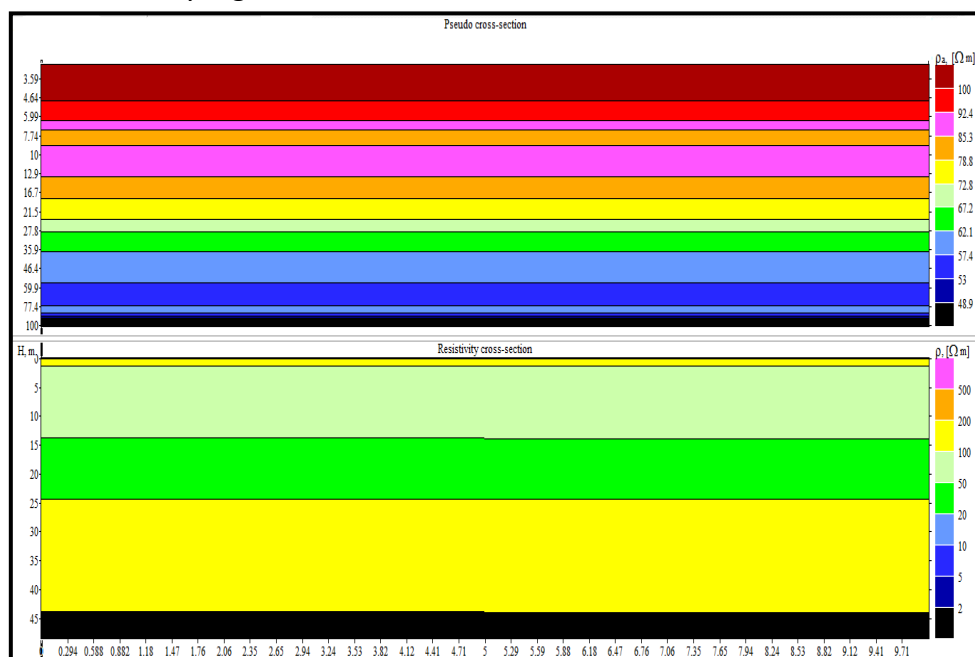


Gambar. 4 (a) Resistivitas pada Lintasan 1 dan kurva Interpretasi. **(b)** Kurva interpretasi, garis biru menunjukkan jumlah lapisan, merah menunjukkan model, hitam menunjukkan data dan lingkaran hitam menunjukkan titik pengamatan.

Tabel 2. Nilai resistivitas dan litologi bawah permukaan pada Lintasan 1

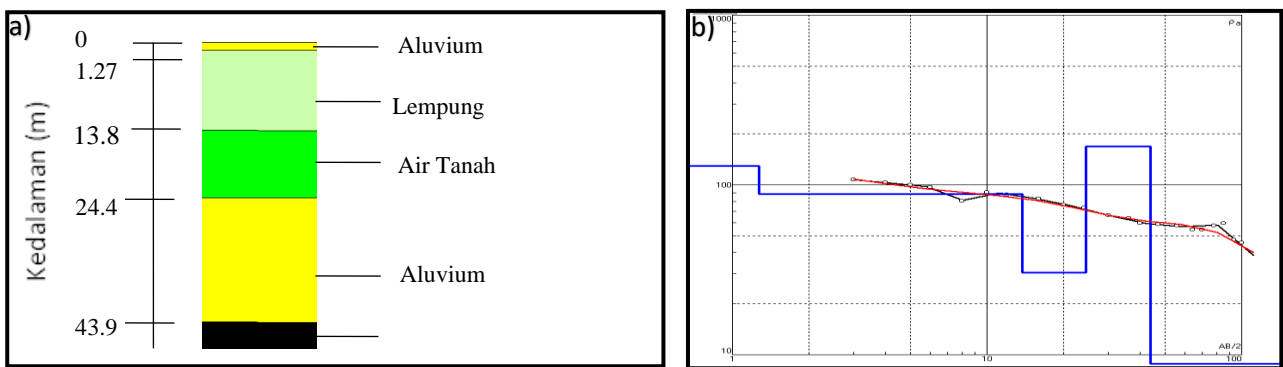
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Nilai Resistivitas ($\Omega.m$)	Material Penyusun	Konfigurasi Warna
1	0- 2.64	2.64	150	Aluvium	Oranye
2	10.7	8.06	63.2	Air Tanah	Hijau
3	22.1	11.4	155	Aluvium	Oranye
4	22.1 -	-	14.8	Lempung lanau	Hitam

Selanjutnya pada Lintasan 2, hasil pengolahan data berupa distribusi resistivitas semu dan sebenarnya ditunjukkan oleh Gambar 5, dan didapatkan lima jumlah lapisan dengan nilai ketebalan yang bervariasi hingga kedalaman 43.9 m yang ditunjukkan pada oleh Gambar 6. Kelima lapisan memiliki nilai resistivitas yang bervariasi.



Gambar 5. Penampang Resistivitas semu dan sebenarnya pada Lintasan 2

Lapisan pertama memiliki nilai resistivitas 129 Ω .m dengan ketebalan mencapai 1.27 meter, lapisan kedua memiliki ketebalan sekitar 12.53 meter dengan nilai resistivitas sekitar 88 Ω .m, lapisan ketiga diduga terdapat potensi air tanah dengan nilai resistivitas 30.4 Ω .m dan ketebalan 10.6 m, lapisan keempat memiliki nilai resistivitas 168 Ω .m dengan nilai ketebalan 19.5 m dan lapisan kelima memiliki resistivitas 0.505 Ω .m dengan nilai ketebalan yang tak hingga. Berdasarkan referensi nilai resistivitas yang ditunjukkan oleh Tabel 1, diperkirakan bahwa keberadaan air tanah berada pada lapisan kedua hingga kedalaman 13.8 meter. Sedangkan untuk lapisan lainnya didominasi oleh lapisan sedimen seperti aluvium dan lempung. Lapisan ini merupakan lapisan yang memiliki kerapatan cukup tinggi karena partikel penyusunnya yang cukup padat, sehingga kemampuan untuk menyerap air sangat rendah atau dapat dikatakan kedap air. Kemudian dilakukan perbandingan dengan kurva interpretasi yang memiliki nilai error 4.79% antara model dengan data pengukuran, dan dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran pada Lintasan 2 memiliki kesesuaian yang cukup baik dan mendekati keadaan sebenarnya.



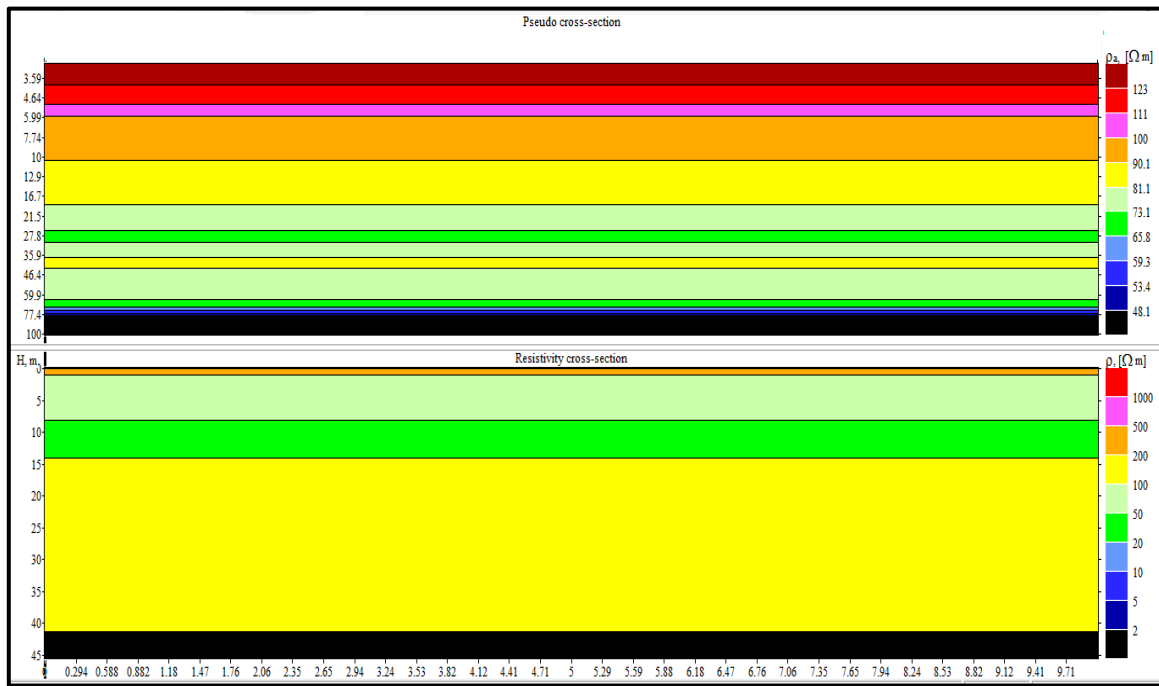
Gambar. 6 (a) Resitivitas pada Lintasan 1 dan kurva Interpretasi. **(b)** Kurva interpretasi, garis biru menunjukkan jumlah lapisan, merah menunjukkan model, hitam menunjukkan data dan lingkaran hitam menunjukkan titik pengamatan.

Tabel 3. Nilai resistivitas dan litologi bawah permukaan pada Lintasan 2

No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Nilai Resistivitas (Ω .m)	Material	Konfigurasi Warna
1	1.27	1.27	129	Aluvium	Oranye
2	13.8	12.53	88	Lempung	Hijau Muda
3	24.4	10.6	30.4	Air Tanah	Hijau
4	43.9	19.5	168	Aluvium	Oranye
5	43.9 -	-	0.505	-	Hitam

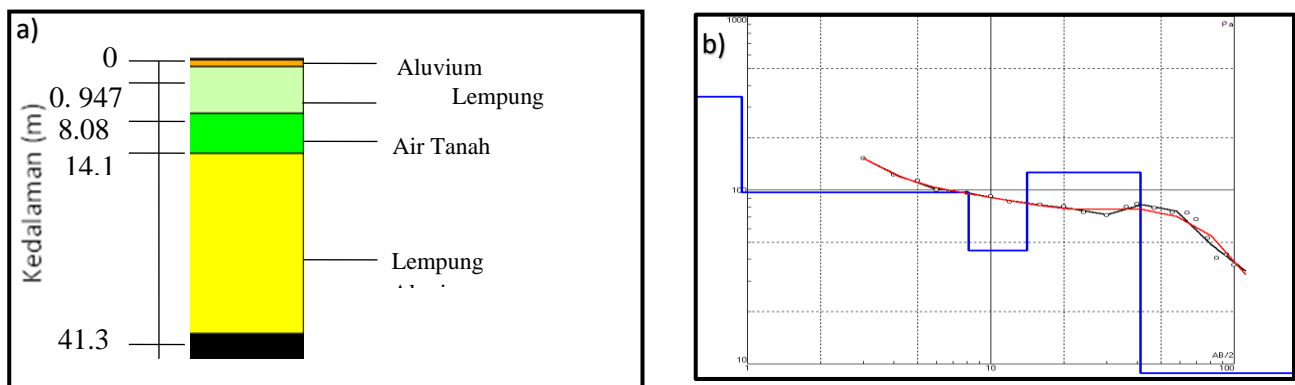
Hasil ini juga sesuai dengan kondisi geologi daerah penelitian yang secara umum didominasi oleh lanau, lempung dan sedimen peralihan dan aluvium. Selanjutnya pada Lintasan 3, hasil pengolahan data berupa distribusi resistivitas semu dan sebenarnya ditunjukkan oleh Gambar 7, dan didapatkan lima jumlah lapisan dengan nilai ketebalan yang bervariasi hingga kedalaman 41.3 m yang ditunjukkan pada oleh Gambar 8. Kelima lapisan memiliki nilai resistivitas yang bervariasi. Lapisan pertama memiliki nilai resistivitas yang cukup tinggi sebesar 344 Ω .m dengan ketebalan mencapai 0.947 meter, lapisan kedua diduga dengan ketebalan 7.13 memiliki nilai resistivitas sekitar 96.6 Ω .m, lapisan ketiga 44.7 Ω .m memiliki ketebalan 6.02 m, lapisan keempat memiliki nilai resistivitas 126 Ω .m dengan nilai ketebalan 27.2 m dan lapisan kelima memiliki resistivitas 0.505 Ω .m dengan nilai ketebalan yang tak hingga. Berdasarkan referensi nilai resistivitas yang ditunjukkan oleh Tabel 1,

diperkirakan bahwa keberadaan air tanah berada pada lapisan ketiga hingga kedalaman 14.1 m. Sedangkan untuk lapisan lainnya didominasi oleh lapisan sedimen seperti aluvium dan lempung. Kemudian dilakukan perbandingan dengan kurva interpretasi yang memiliki nilai error 5.01% antara model dengan data pengukuran, dan dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran pada Lintasan 3 memiliki kesesuaian yang cukup baik dan mendekati keadaan sebenarnya.



Gambar. 7. Penampang Resistivitas semu dan sebenarnya pada Lintasan 3

Hasil ini juga sesuai dengan kondisi geologi daerah penelitian yang secara umum didominasi oleh lapisan sedimen seperti lanau lempung dan aluvium.



Gambar. 8 (a) Resistivitas pada Lintasan 1 dan kurva Interpretasi. **(b)** Kurva interpretasi, garis biru menunjukkan jumlah lapisan, merah menunjukkan model, hitam menunjukkan data dan lingkaran hitam menunjukkan titik pengamatan.

Tabel 4. Nilai resistivitas dan litologi bawah permukaan pada Lintasan 3

No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Nilai Resistivitas (Ω.m)	Lapisan Batuan	Konfigurasi Warna
1	0.947	0.947	344	Aluvium,	Oranye
2	8.08	7.13	96.6	Lempung	Hijau Muda 2

No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Nilai Resistivitas (Ω .m)	Lapisan Batuan	Konfigurasi Warna
3	14.1	6.02	44.7	Air Tanah	Hijau Muda 1
4	41.3	27.2	126	Lempung	Kuning
5	41.3 -	-	0.606	-	Hitam

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa pada Lintasan 1 diduga terdapat lapisan yang akuifer pada kedalaman hingga 10.7 m dengan ketebalan lapisan sebesar 8.06 m dengan nilai resistivitas 63.2 Ohm.m , dan pada lintasan ini dominasi oleh lapisan sedimen yang berupa aluvium dan lempung lanau. Pada Lintasan kedua potensi keberadaan air tanah diperkirakan berada pada kedalaman hingga 26.4 m dengan nilai resistivitas sebesar 30.4 Ohm.m dengan ketebalan lapisan sebesar 10.6 m. Pada lintasan ini diketahui bahwa lapisan didominasi oleh lapisan sedimen berupa aluvium dan lempung. Pada Lintasan 3, diperkirakan adanya lapisan akuifer hingga kedalaman 14.1 m dengan nilai resistivitas sebesar 44.7 Ω dengan ketebalan sebesar 6.02 m. Adapun lintasan ini juga didominasi oleh lapisan sedimen yang berupa lempung dan aluvial. Hasil ini juga berkesesuaian dengan kondisi geologi daerah penelitian yang didominasi oleh aluvium, sedimen, lanau, lempung, dan sedimen peralihan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik Kabupaten Muaro Jambi. 2015. *Kabupaten Muaro Jambi Dalam Angka 2023*. Muaro Jambi (ID): Badan Pusat Statistik.
- [2] Kurniawan, A. 2014. *Analisa Arahan Pengembangan Lahan Pertanian Pangan di Kabupaten Muaro Jambi Provinsi Jambi*. IPB : Bogor.
- [3] Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan, 2004. *Air tanah*.
- [4] Swinton, S. M. and Lowenberg-DeBoer, J., "Evaluating the profitability of site-specific farming," *J. Prod. Ag.*, 439-446, 1998.
- [5] Wahyono. S.C dan Wianto. T. 2008. Penentuan Lapisan Air Tanah dengan Metode Schlumberger di Kabupaten Balangan Kalimantan Selatan, *Jurnal Fisika Fluks*. Vol. 5 No.2
- [6] Halvorson, A. D. and Rhoades, J. D., "Field mapping soil conductivity to delineate dryland saline seeps with four-electrode technique," *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40, 571-574, 1976.
- [7] Qinzong, Ma & Qian, J.-D. (2003). The influence of inhomogeneous geoelectric structure on the signals of geoelectric field. 23. 1-7.
- [8] Rustriandayani, Y. ., A. A. Valencia, dan T. R. . Fadia. "Identification of Shallow Aquifer Zone Using Vertical Electrical Sounding (VES) Method With Schlumberger Array. Case Study: Universitas Indonesia". *Jurnal Geosains Terapan*, vol. 6, no. 1, April 2024, <https://geosainsterapan.id/index.php/id/article/view/105>.
- [9] Agussalim, Agussalim and AS, Nur. (2022). Identification of Groundwater Potential using Schlumberger Array of Resistivity Method in Bulukumba, South Sulawesi. *INTEK: Jurnal Penelitian*. 8. 157. 10.31963/intek.v8i2.3016.
- [10] Ejepu, J.S., Jimoh, M.O., Abdullahi, S. *et al.* Geoelectric analysis for groundwater potential assessment and aquifer protection in a part of Shango, North-Central Nigeria. *Discov Water* 4, 33 (2024). <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00091-z>

- [11] Kusnama, R. Pardede, S. Andi Mangga & Sidarto, 1992, PETA Geologi LEMBAR SUNGAI PENUH & KETAUN, SUMATERA, Skala 1 : 250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- [12] Philip K, Michael B (1984). An Introduction to Geophysical Exploration. Blackwell, London.http://www.lnu.edu.ua/faculty/geology/phis_geo/fourman/libraryEarth/AN%20INTRODUCTION%20TO%20GEOPHYSICAL%20EXPLORATION.pdf
- [13] Mangga, S. A., Santoso A., Santoso, S. dan Herman, B. 1993. dan Herman, B. 1993. Peta Geologi Regional Lembar Jambi Sumatera . Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung : Jawa Barat.
- [14] Lowrie, William. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. USA: Cambridge University Press.
- [15] Kearey Philip, Michael Brooks, Ian Hill. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. USA : Iowa State University Press
- [16] Telford, W. M. and Sheriff, R. F. (1984). "Applied Geophysics," Cambridge University Press.