

PEMODELAN AKUIFER AIR TANAH DENGAN METODE *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* (VES) STUDI KASUS KABUPATEN SORONG, PROVINSI PAPUA BARAT

Yusril Muzakki*, Wien Lestari, M. Haris Miftakhul Fajar, Moch. Fauzan Dwiarto

Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

*Penulis Korespondensi : ymuzakki98@gmail.com

Abstrak. Latar belakang penelitian ini adalah untuk mendukung Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Kabupaten Sorong dengan pembangunan PLTU, dibutuhkan eksplorasi sumber daya air tanah menggunakan metode geolistrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik akuifer berupa kedalaman dan ketebalan akuifer, dan mengidentifikasi jenis akuifer yang berpotensi untuk dimanfaatkan untuk proses pembangunan dan operasional PLTU. Metode geolistrik merupakan metode geofisika untuk mengetahui struktur batuan dengan menggunakan sifat kelistrikan bumi, metode geolistrik yang digunakan yaitu metode geolistrik VES, metode ini merupakan metode geolistrik 1-D yang efektif untuk melihat nilai resistivitas dan kedalaman tiap lapisan secara vertikal. Konfigurasi yang digunakan yaitu konfigurasi *Schlumberger*. Hasil pengolahan VES dimodelkan 3D menggunakan gridding *Inverse Distance Weighting* (IDW) untuk mengetahui jenis akuifer. Titik pengukuran memiliki panjang lintasan 400 m sebanyak 7 titik. Hasil penelitian menunjukkan terdapat akuifer tertekan yang di indikasikan berisi air tawar dengan litologi batu pasir yang diapit oleh lapisan batu lempung dengan kedalaman 41-110,9 m dan ketebalan 59,9 m, serta memiliki nilai resistivitas 10,1 – 10,9 Ohm.m. Akuifer inilah yang berpotensi dimanfaatkan air tanahnya untuk mendukung pembangunan dan operasional PLTU, karena memiliki ketebalan yang cukup tebal serta di indikasikan berupa air tawar.

Kata Kunci: air tanah; pemodelan 3-D; resistivitas 1-D; Sorong

Abstract. *The background of this research is that to support the Special Economic Zone (SEZ) of Sorong Regency with the construction of PLTU, it's necessary to explore groundwater resources using the geoelectric method. This study aims to identify aquifer characteristics in the form of depth and thickness of the aquifer and identify types of aquifers that have the potential to be utilized for the construction and operation of PLTU. The geoelectric method is a geophysical method to determine the rock structure using the earth's electrical properties. The geoelectric method used is the VES geoelectric method. This method is an effective 1-D geoelectric method to see the resistivity value and depth of each layer vertically. The configuration used is the Schlumberger configuration. The results of the VES processing were modeled in 3D using Inverse Distance Weighting (IDW) gridding to determine the type of aquifer. The measurement point has a track length of 400 m and as many as 7 points. The results showed that there was a depressed aquifer which indicated that it contained fresh water with sandstone lithology flanked by a layer of claystone with a depth of 41–110.9 m and a thickness of 59.9 m, and had a resistivity value of 10.1–10.9 Ohm. m. This aquifer has the potential to be used for groundwater to support the construction and operation of PLTU because it has a fairly thick thickness and is indicated as fresh water.*

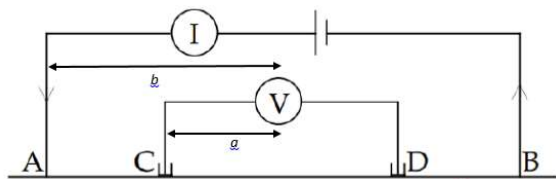
Keywords: *groundwater, 3-D modelling, 1-D resistivity, Sorong*

PENDAHULUAN

Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sorong merupakan kawasan yang disiapkan untuk memaksimalkan kegiatan ekonomi tinggi seperti ekspor, impor, dan kegiatan industri lainnya (Dewan Nasional Kawasan Ekonomi Khusus Republik Indonesia, 2016). Pemenuhan listrik di KEK Sorong didukung dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sorong. Air merupakan produk utama dalam menghasilkan uap panas untuk memutar turbin PLTU. Persyaratan air yang digunakan di *boiler* adalah air tawar, salah satunya

air tanah (Pasra dan Hakim, 2015). Keuntungan menggunakan air tanah sebagai sumber air bersih dikarenakan kualitas air yang lebih baik dibanding air permukaan, tidak terpengaruh musim, cadangan air tanah lebih besar dan mudah diperoleh dengan cara sederhana dibanding sumber air lainnya dan tidak memerlukan tampungan serta sistem transmisi untuk mendistribusikannya sehingga biayanya lebih murah. Maka dari itu diperlukan adanya eksplorasi air tanah untuk mengetahui potensi air bawah tanah, yang digunakan selama proses pembangunan dan operasional PLTU (Sudarmadji, 1990).

Metode geolistrik dengan teknik *Sounding* atau *Vertical Electrical Sounding* (VES) biasa digunakan untuk eksplorasi air tanah (Febriana dkk., 2017). Metode VES merupakan metode geolistrik 1-D yang efektif untuk melihat nilai resistivitas dan kedalaman tiap lapisan secara vertikal (Telford dkk., 1990). Keunggulan dari metode geolistrik VES ini yaitu memiliki resolusi vertikal yang baik sehingga cocok digunakan untuk eksplorasi air tanah (Syifaurohman dkk., 2018).



Gambar 1. Susunan elektroda konfigurasi Schlumberger (Lowrie, 2007)

Gambar 1 merupakan susunan elektroda konfigurasi Schlumberger, persamaan untuk menghitung resistivitas semu pada konfigurasi Schlumberger yaitu:

$$\rho_s = \frac{\pi(b^2 - a^2) \Delta V}{2a I} \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

- ρ_s : nilai resistivitas semu konfigurasi *Schlumberger*
- ΔV : beda potensial
- I : arus yang dialirkan

(Telford dkk., 1990).

Hasil pengolahan geolistrik VES divalidasi dengan litologi dari data bor. Interpretasi data VES dimodelkan ke dalam bentuk 3D. Pemodelan 3D menggunakan interpolasi metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) karena metode IDW cocok untuk data yang sedikit dan tidak luas (Shashtri dkk., 2014). Model 3D diinterpretasi ketebalan dan kedalaman akuifer air tanah, selanjutnya dianalisis jenis akuifer serta arah aliran air tanah di area penelitian.

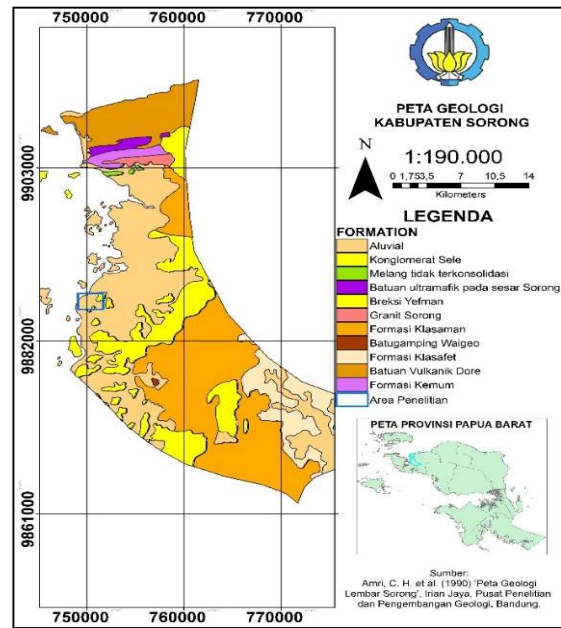
Metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) adalah metode interpolasi yang mengasumsikan titik-titik yang dekat lebih mirip daripada yang terpisah lebih jauh (Shukla dkk., 2020) dalam (Maulidina, 2020). Persamaan metode ini dapat dilihat di persamaan 2 sebagai berikut:

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{(d_i)^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p}} \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

- Z_p : nilai estimasi hasil perhitungan IDW
- Z_i : nilai sampel data
- d_i : jarak antara titik sampel data dengan titik yang akan dihitung nilai estimasinya
- p : faktor power

(Setianto dan Triandini, 2015).



Gambar 2. Peta Geologi Regional Kabupaten Sorong (Sanyoto dkk., 1990)

Gambar 2 menunjukkan litologi dominan di daerah pengukuran merupakan endapan sedimen klastik (aluvial) dengan litologi dominan di daerah pengukuran yang tersusun atas batu lempung dengan sisipan tipis batulanau dan batugamping yang berukuran lempung, pasir, kerikil dan kerakal. Gambar 2 menunjukkan peta hidrogeologi daerah penelitian, dimana area penelitian berada di area akuifer produktifitas sedang. Menurut (Kodoatie, 2021) sifat batuan terhadap air tanah dibagi menjadi 4, yaitu:

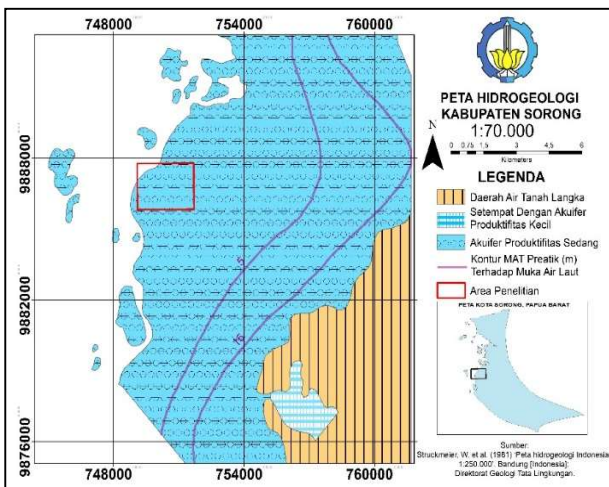
1. Akuifer adalah batuan yang dapat menyimpan air dan mengalirkan air dengan baik. Contoh : pasir, kerikil, dan batu pasir
2. Akuiklud adalah batuan yang dapat menyimpan air tetapi tidak dapat mengalirkan air (kedap air). Contoh : lempung, *shale*, tuf halus, *silt*.
3. Akuifug adalah batuan yang tidak dapat menyimpan dan mengalirkan air (kedap air).

Contoh : granit yang keras, batuan kompak, dan batuan sedimen yang tersemam penuh.

4. Akuitar adalah batuan yang bisa mengalirkan air dalam jumlah kecil tetapi masih bisa menyimpan air. Contoh: napal, basal skoria, dan serpih.

Jenis-jenis akuifer dapat dibagi menjadi 3 (Kodoatie, 2012), sebagai berikut:

1. Akuifer bebas (*unconfined aquifer*) merupakan akuifer yang hanya memiliki pembatas lapisan tidak tembus air di bawah, sementara batas di lapisan atas berupa muka air tanah.
2. Akuifer tertekan (*confined aquifer*) merupakan akuifer jenuh air dimana batas lapisan atas dan lapisan bawah adalah lapisan tidak tembus air (impermeabel)
3. Akuifer semi tertekan (*semi confined/ leaky aquifer*) merupakan akuifer yang bagian atas dibatasi oleh lapisan semi kedap air dan bagian bawahnya merupakan lapisan kedap air.



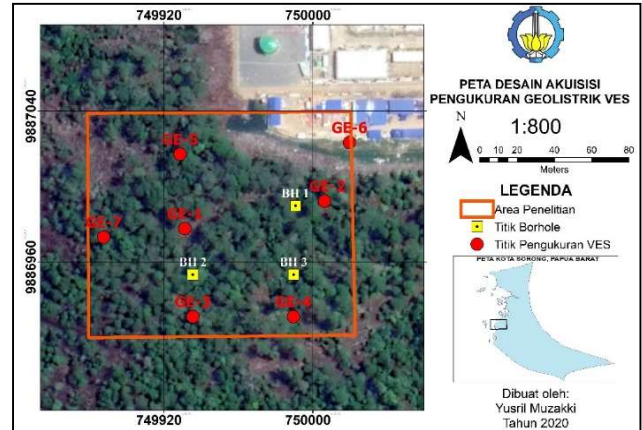
Gambar 3. Peta Hidrogeologi Papua Barat (Struckmeier dkk., 1981)

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi karakteristik akuifer berupa kedalaman dan ketebalan akuifer, dan mengidentifikasi jenis akuifer yang berpotensi untuk dimanfaatkan untuk proses pembangunan dan operasional PLTU.

METODOLOGI

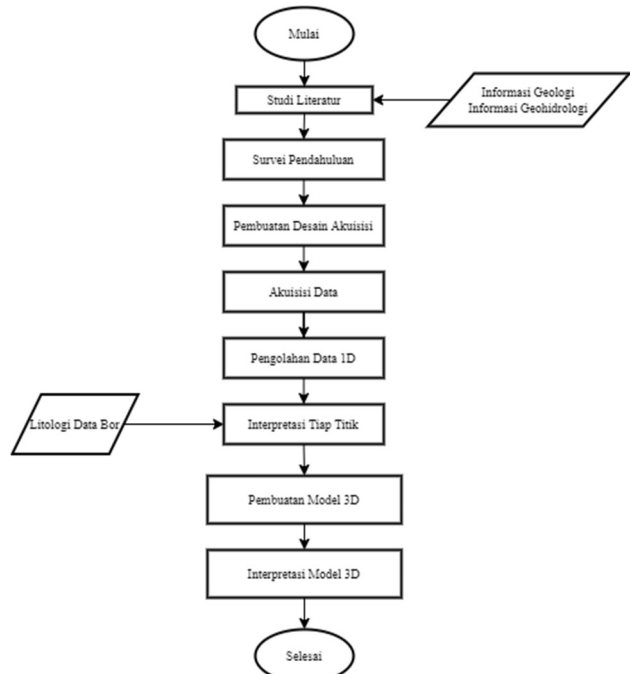
Lokasi penelitian berada di Kabupaten Sorong, Provinsi Papua Barat. Data primer yang digunakan sebanyak 7 titik data VES dengan panjang bentangan

masing-masing titik 400 m. Data sekunder yang digunakan yaitu 3 titik data bor dengan kedalaman 12 – 14m. Lokasi titik pengukuran VES dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini:



Gambar 4. Peta akuisisi daerah penelitian

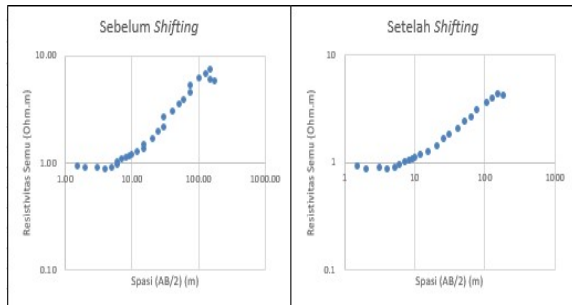
Data-data yang didapatkan diolah menggunakan *software* Ms. Excel untuk dilakukan koreksi dan perhitungan resistivitas semu, *software* IP2Win untuk melakukan inversi, dan *software* RockWork untuk pemodelan 3D. Pengolahan data dilakukan sesuai dengan diagram alir pada gambar 5 di bawah ini:



Gambar 5. Alur kerja pengolahan data

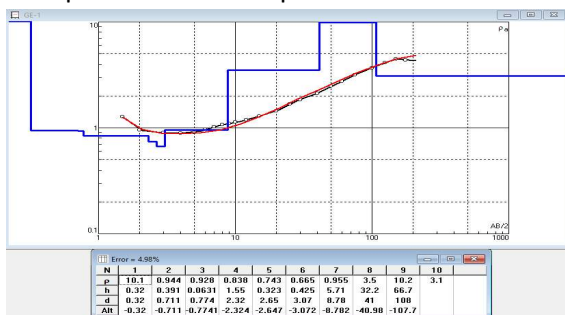
Koreksi yang dilakukan yaitu koreksi *Shifting*, koreksi *shifting* dilakukan dengan cara melakukan me-logkan nilai resistivitas semu. Langkah

selanjutnya mengurangi log rho sebelum *shifting* dengan log rho sesudah *shifting* pada posisi atau AB/2 yang sama, hasil log rho di bawah area *shifting* ditambahkan dengan hasil pengurangan *shifting* tersebut. Hasil koreksi *shifting* tersebut di un-logkan menjadi nilai resistivitas semu seperti semula, sehingga tidak ada dua nilai resistivitas pada posisi AB/2 yang sama. Gambar 6 menunjukkan data sebelum dan sesudah koreksi *shifting*:



Gambar 6. Grafik data sebelum dan sesudah shifting

Proses pengolahan data dan inversi data geolistrik/VES pada *software* IP2Win ini dilakukan dengan cara *curve fitting*. Proses *curve fitting* merupakan proses pencocokan antara kurva data pengukuran dengan kurva model yang kita gunakan, sehingga dapat diprediksi model bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitasnya. Hasil pengolahan data 1D didapatkan nilai resistivitas tiap titik seperti pada contoh Gambar 7. Hasil pengolahan data VES dimodelkan kedalam bentuk 3D. Penampang 3D yang dibuat berdasarkan litologi dan analisis lapisan akuifer daerah penelitian. Model 3D dimodelkan menggunakan metode *gridding Inverse Distance Weighting* (IDW), hasilnya berupa penampang 3D bawah permukaan lokasi penelitian.

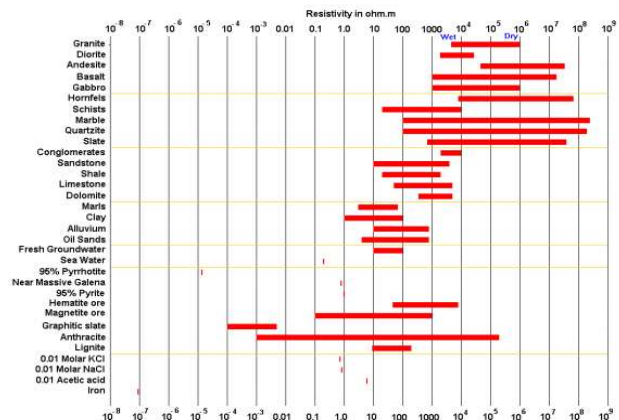


Gambar 7. Contoh hasil pengolahan data VES

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan model lapisan pada penelitian ini divalidasi dengan data bor terdekat dari titik

pengukuran, serta nilai resistivitas referensi berdasarkan literatur. Nilai resistivitas literatur yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini:



Gambar 8. Nilai resistivitas batuan (Loke, 2001)

Menurut (Harjito, 2013) resolusi kedalaman yang baik dengan metode VES sekitar 0,33% dari panjang lintasan pengukuran, maka dengan panjang lintasan 400 m didapatkan kedalaman data VES 1D sedalam 132 m di bawah permukaan. Hasil pengolahan data VES dapat dilihat pada Tabel 1 – 7:

Tabel 1. Hasil Interpretasi GE-1

Titik VES GE-1 (Error: 4,98%)		
Kedalaman (m)	Resistivitas (Ohm.m)	Litologi
0	10.1	Alluvium
0.32	0.944	
0.711	0.928	
0.7741	0.838	Pasir dengan Air Asin
2.324	0.743	
2.647	0.665	
3.072	0.955	
8.78	3.5	Lempung
41	10.2	Pasir dengan Air Tawar
108	3.1	Lempung

Tabel 2. Hasil Interpretasi GE-2

Titik VES GE-2 (Error: 4,64%)		
Kedalaman (m)	Resistivitas (Ohm.m)	Litologi
0	10.2	Alluvium
0.363	0.339	
2.11	0.977	Pasir dengan Air Asin
5.08	0.937	
7.06	4.34	Lempung
47.4	10.3	Pasir dengan Air Tawar
110.8	3.02	Lempung

Tabel 3. Hasil Interpretasi GE-3

Titik VES GE-3 (Error: 4,47%)		
Kedalaman (m)	Resistivitas (Ohm.m)	Litologi
0	10.4	Alluvium
0.464	0.716	Pasir dengan Air Asin
1.12	0.559	
2.29	0.871	
7.99	3.84	Lempung
43.7	10.9	Pasir dengan Air Tawar
110.9	3.87	Lempung

Tabel 4. Hasil Interpretasi GE-4

Titik VES GE-4 (Error: 4,84%)		
Kedalaman (m)	Resistivitas (Ohm.m)	Litologi
0	10.4	Alluvium
0.347	0.611	Pasir dengan Air Asin
2.26	0.841	
3.98	0.337	
6.58	3.41	Lempung
21.18	5.73	Pasir dengan Air Tawar
42.98	10.6	
104.8	3.05	Lempung
112.8	4.46	

Tabel 5. Hasil Interpretasi GE-5

Titik VES GE-5 (Error: 4,82%)		
Kedalaman (m)	Resistivitas (Ohm.m)	Litologi
0	24.1	Alluvium
0.792	0.573	Pasir dengan Air Asin
1.77	0.89	
4.94	0.658	
8.13	4.48	Lempung
45.4	10.1	Pasir dengan Air Tawar
110	3.02	Lempung

Tabel 6. Hasil Interpretasi GE-6

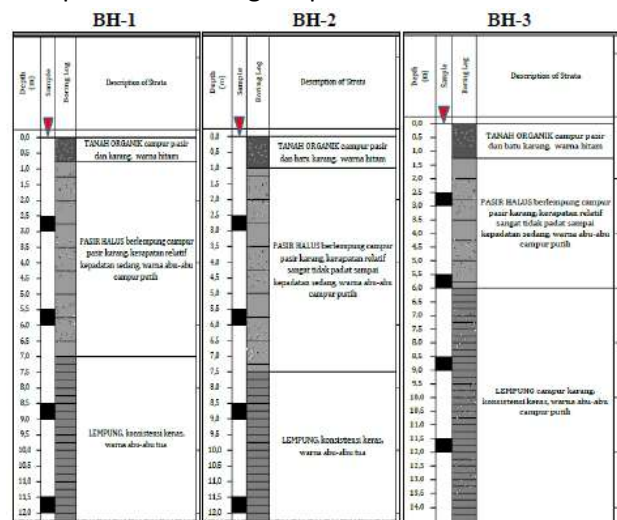
Titik VES GE-6 (Error: 3,99%)		
Kedalaman (m)	Resistivitas (Ohm.m)	Litologi
0	10.2	Alluvium
0.778	0.623	Pasir dengan Air Asin
1.71	0.786	
8.54	3.92	
23.2	5.03	Lempung
45.4	10.1	Pasir dengan Air Tawar
107	3.02	Lempung
118	3.28	

Tabel 7. Hasil Interpretasi GE-7

Titik VES GE-7 (Error: 4,61%)		
-------------------------------	--	--

Kedalaman (m)	Resistivitas (Ohm.m)	Litologi
0	10.4	Alluvium
0.32	0.886	Pasir dengan Air Asin
1.81	0.838	
2.41	0.652	
4.25	0.75	
7.7	5.17	Lempung
23.4	3.05	
40.6	3.54	
45.4	10.8	Pasir dengan Air Tawar
105	3.13	Lempung

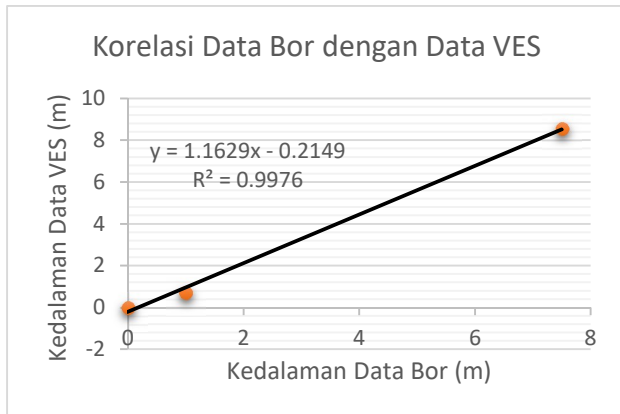
Hasil pengolahan VES menunjukkan pada kedalaman 0 – 0,7 m memiliki litologi berupa alluvium, lapisan ini diinterpretasikan sebagai *Top Soil*. Lapisan selanjutnya pada kedalaman 0,7 – 8,54 m memiliki litologi berupa batu pasir, lapisan ini diinterpretasikan sebagai akuifer 1. Lapisan ke tiga pada kedalaman 8,54 – 41 m memiliki litologi batu lempung, lapisan ini diinterpretasikan sebagai lapisan akuiklud. Lapisan ke empat pada kedalaman 41 – 110,9 m memiliki litologi berupa batu pasir, lapisan ini diinterpretasikan sebagai akuifer 2. Lapisan terakhir pada kedalaman 110,9 – 132 m memiliki litologi berupa batu lempung, lapisan ini diinterpretasikan sebagai lapisan akuiklud.



Gambar 9. Data Bor

Hasil interpretasi pengolahan VES dengan data bor (Gambar 9) memiliki kemiripan kedalaman serta litologi yang hampir sama, hal tersebut dapat dilihat dengan membandingkan kedalaman top soil, akuifer pertama, dan akuiklud pertama. Kedalaman top soil

data bor berada di 0 – 1 m, sementara kedalaman top soil data VES berada di 0 – 0,7 m dengan litologi sama yaitu alluvium. Kedalaman akuifer 1 data bor berada di 1 – 7,5 m, sementara kedalaman akuifer 1 data VES berada di 0,7 – 8,54 m dengan litologi sama yaitu batu pasir. Kedalaman ditemukannya akuiklud satu data bor berada di 7,5 m, sementara kedalaman ditemukannya akuiklud satu data VES berada di 8,54 m dengan litologi sama yaitu batu lempung.



Gambar 10. Grafik regresi linear data bor dan data VES

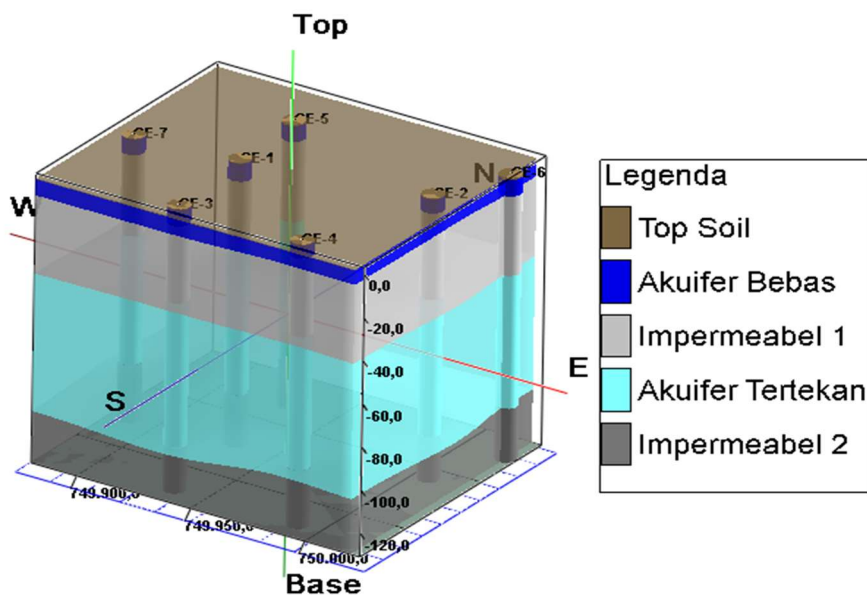
Dilakukan analisis regresi linear untuk melihat kemiripan data bor dan data VES yang disajikan pada Gambar 10, dan didapatkan nilai kesesuaian data VES dengan data bor sebesar 99%. Hasil pengolahan dan interpretasi data disajikan dalam model 3D seperti Gambar 11.

Parameter power IDW yang digunakan sebesar 2, alasan memilih bobot sebesar 2 yang pertama

dengan bobot tersebut hasil pemodelan tidak terpusat tetapi juga memiliki perataan yang baik sehingga tidak terbentuk *Bull's Eye* dengan tetap menghasilkan model geologi yang baik (Maulidina, 2020; Pramono, 2008; Syifaurohman dkk., 2018). Alasan kedua yaitu berdasarkan rekomendasi dari software 3D yang digunakan, pada algoritma IDW disarankan menggunakan Power sebesar 2 dan tidak melebihi 5 (Rockware, n.d.).

Hasil model 3D (Gambar 11) memiliki gambaran yang lebih jelas kemenerusan akuifer, sehingga bisa di analisis jenis akuifernya serta ketebalannya. Akuifer memiliki bentuk yang cenderung datar, hal tersebut cocok dengan keadaan sebenarnya karena daerah penelitian memiliki topografi yang datar serta berada di daerah pantai. Model 3-D akuifer (Gambar 11) menunjukkan 2 akuifer dan 2 lapisan kedap air (*impermeable*), akuifer 1 diinterpretasikan sebagai akuifer bebas yang memiliki litologi berupa batu pasir halus yang berisi air asin. Akuifer bebas ini memiliki ketebalan 8,22 m, dengan kedalaman sekitar 0,32 – 8,54 m. Akuifer 2 diinterpretasikan sebagai akuifer tertekan yang memiliki litologi berupa batu pasir yang berisi air tanah tawar (*fresh groundwater*), akuifer ini memiliki ketebalan 59,9 m dengan kedalaman sekitar 41 – 110,9 m.

Lapisan kedap air yang pertama memiliki kedalaman 8,5 – 41 m dan ketebalan 32,5 m, lapisan



Gambar 11. Model 3-D Jenis Akuifer

kedap air kedua memiliki kedalaman 110,9 – 132 m dan ketebalan 21,1 m. Lapisan kedap air diinterpretasikan sebagai batu lempung, lapisan kedap air ini berada di atas dan di bawah akuifer kedua. Hasil interpretasi model 3D yang telah dibuat dengan hasil interpretasi model 1D memiliki hasil yang sama.

PENUTUP

Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan terdapat akuifer tertekan yang di indikasikan berisi air tawar dengan litologi batu pasir yang diapit oleh lapisan batu lempung dengan kedalaman 41 – 110,9 m dan ketebalan 59,9 m, serta memiliki nilai resistivitas 10,1 – 10,9 Ohm.m. Akuifer inilah yang berpotensi dimanfaatkan air tanahnya untuk mendukung pembangunan dan operasional PLTU, karena memiliki ketebalan yang cukup tebal serta di indikasikan berupa air tawar.

Saran

Adapun saran yang diperlukan berdasarkan hasil dan kesimpulan yaitu menyarankan agar ditambahkan data bor setiap lintasan agar hasil interpretasi data resistivitas lebih akurat. Selain itu pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan sumur pengamatan untuk mengetahui ketersediaan air tanah berdasarkan musim dan curah hujan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah mendukung penelitian ini sehingga dapat berjalan dengan maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

Dewan Nasional Kawasan Ekonomi Khusus Republik Indonesia (2016), *KEK Sorong*. Diambil 29 Agustus 2020, dari <https://kek.go.id/kawasan/KEK-Sorong>.

Febriana, R., Minarto, E. dan Tryono, F. (2017), "Identifikasi Sebaran Aliran Air Bawah Tanah (Groundwater) dengan Metode Vertical Electrical Sounding (VES) Konfigurasi Schlumberger di Wilayah

Cepu, Blora Jawa Tengah", *Jurnal Sains dan Seni ITS*, Vol.6.
<http://doi.org/10.12962/j23373520.v6i2.25280>.

Harjito, H. (2013), "Metode Vertical Electrical Sounding (VES) Untuk Menduga Potensi Sumberdaya Air", *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, Vol.5, No.2, hal. 127–140. <http://doi.org/10.20885/jstl.vol5.iss2.art6>.

Kodoatie, R.J. (2021), Google-Books-ID: zBg2nwEACAAJ, *Tata Ruang Air Tanah*, Penerbit Andi.

Loke, M.H. (2001), *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*, Geotomo Software, Malaysia.

Lowrie, W. (2007), *Fundamentals of Geophysics*.

Maulidina, A. (2020), *Pemodelan 3D Sebaran Akuifer Air Tanah Berdasarkan Data Vertical Electrical Sounding (VES) (Studi Kasus: Kecamatan Winongan, Kabupaten Pasuruan)*, Undergraduate, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Diambil dari <https://repository.its.ac.id/79726/>.

Pasra, N. dan Hakim, F. (2015), "Pengoperasian Water Treatment Plant Di PT PJB Unit Pembangkitan Paiton", *Energi & Kelistrikan*, Vol.7, No.1, hal. 41–48. <http://doi.org/10.33322/energi.v7i1.581>.

Pramono, G.H. (2008), "Akurasi Metode IDW Dan Kriging Untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi Di Maros, Sulawesi Selatan", *Forum Geografi*, Vol.22, No.2, hal. 145–158. <http://doi.org/https://doi.org/10.23917/forgeo.v22i2.4988>.

Rockware (n.d.), *Gridding Methods*. Diambil 29 September 2020, dari https://help.rockware.com/rockworks17/WebHelp/grid_methods.htm.

Sanyoto, P., Amri, C., Hamonangan, B. dan Supriatna, S. (1990), *Peta geologi lembar Sorong, Irian Jaya. Geologic map of the Sorong Quadrangle, Irian Jaya.*

Setianto, A. dan Triandini, T. (2015), "Comparison of Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) Interpolation Methods in Lineament Extraction and Analysis", *Journal of Applied Geology*, Vol.5, No.1, hal. 21–29. <http://doi.org/10.22146/jag.7204>.

Shashtri, S., Singh, A., Mukherjee, S., Eslamian, S. dan Singh, C.K. (2014), "Groundwater Exploration: Geophysical, Remote Sensing, and GIS Techniques",

dalam *Handbook of Engineering Hydrology (Three-Volume Set)*, CRC Press.

Shukla, K., Kumar, P., Mann, G.S. dan Khare, M. (2020), "Mapping Spatial Distribution of Particulate Matter Using Kriging and Inverse Distance Weighting at Supersites of Megacity Delhi", *Sustainable Cities and Society*, Vol.54, hal. 101997. <http://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101997>.

Struckmeier, W., S., Soetrisno, Rohstoffe. dan Und, B. für G. (1981), *Peta hidrogeologi Indonesia : 1:250.000* Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung [Indonesia].

Sudarmadji (1990), *Perambatan Pencemaran dalam Air Tanah pada Akuifer Tak Tertekan di Daerah Lereng Gunung Api Merapi*, PAU Ilmu Teknik, UGM, Yogyakarta.

Syifaurohman, Y., Utama, W., Lestari, W. dan Surya, T.M.A. (2018), "Distribusi Sebaran Akuifer Air Tanah Menggunakan Data Resistivitas Metode Vertical Electrical Sounding (VES) Konfigurasi Schlumberger (Studi Kasus Kabupaten Palu Provinsi Sulawesi Tengah)", *Jurnal Geosaintek*, Vol.4, No.3, hal. 113–122. <http://doi.org/10.12962/j25023659.v4i3.4102>.

Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990), *Applied Geophysics*, 2 Ed., Cambridge University Press, Cambridge. <http://doi.org/10.1017/CBO9781139167932>.
