

Penerapan metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) untuk menganalisis air asin pada akuifer di Kecamatan Batee, Kabupaten Pidie

Application of Vertical Electrical Sounding (VES) method to analyze saltwater in aquifers at Batee Sub-District, Pidie District

Akmal Muhni^{1,*}, Hidayat Syah Putra¹, Dewi Sartika¹, Rifqan¹, Zacky Damanhuri², dan Muzakkir Zainal³

Received 18 August 2022
Accepted 13 October 2022
Published October 2022

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, 23111

²Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Aceh, 23115

³Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, 23111

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis lapisan yang terindikasi terhadap kontaminasi air asin pada akuifer di bawah permukaan berdasarkan data *Vertical Electrical Sounding* (VES). Nilai resistivitas yang rendah berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas yang tinggi sehingga nilai resistivitas yang rendah menunjukkan tingkat kontaminasi air asin yang tinggi. Berdasarkan geologi regional, litologi pada daerah penelitian berupa endapan aluvium yang terdiri dari endapan kerikil, pasir dan lumpur yang berasal dari aliran sungai serta pengaruh pasang surut air laut. Penelitian ini menggunakan 3 (tiga) data *Vertical Electrical Sounding* (VES) yang dianalisis untuk menentukan lapisan terkontaminasi air asin sampai dengan kedalaman 152 meter. Hasil penelitian berdasarkan pengukuran *Vertical Electrical Sounding* (VES) menunjukkan sebaran litologi secara umum didominasi pasir hingga pasir kerikil. Kedalaman tingkat kontaminasi air asin yang tinggi sangat bervariasi. Pada lokasi pengukuran VES P11, tingkat kontaminasi air asin yang tinggi dengan nilai resistivitas 0,19 – 1,5 ohm.m pada kedalaman 12,4 – 67,7 meter. Pada lokasi pengukuran VES P22, tingkat kontaminasi air asin yang tinggi dengan nilai resistivitas 1,64 – 2 ohm.m pada kedalaman 3,59 – 10 meter dan 46,6 – 57,2 meter. Pada lokasi pengukuran VES P04 terindikasi tingkat kontaminasi air asin sangat rendah. Kontaminasi air asin pada akuifer air tawar pada lokasi pengukuran VES P11 dan VES P22 bisa disebabkan oleh menurunnya muka air tanah pada musim kemarau sehingga terjadinya intrusi air laut kedalam akuifer air tawar. Selanjutnya penyebab lain karena daerah pengukuran terletak pada endapan aluvium yang dipengaruhi pasang surut air laut pada masa lalu.

Abstract. This study aims to analyze layers indicated for saltwater contamination in subsurface aquifers based on *Vertical Electrical Sounding* (VES) data. A low resistivity value is inversely proportional to a high conductivity value, so a low resistivity value indicates a high level of saltwater contamination. Based on regional geology, the lithology in the study area is alluvial deposits consisting of gravel, sand, and mud deposits originating from river flows and the influence of tides. This study uses 3 (three) *Vertical Electrical Sounding* (VES) data which are analyzed to determine the layer contaminated with salt water up to a depth of 152 meters. The results of the study based on *Vertical Electrical Sounding* (VES) measurements show that the lithology distribution is generally dominated by sand-to-gravel sand. The depth of high levels of saltwater contamination varies greatly. At the VES P11 measurement location, the level of saltwater contamination is high with a resistivity value of 0.19 – 1.5 ohm.m at a depth of 12.4 – 67.7 meters. At the VES P22 measurement location, the level of saltwater contamination is high with a resistivity value of 1.64 – 2 ohm.m at a depth of 3.59 – 10 meters and 46.6 – 57.2 meters. At the VES P04 measurement location, it is indicated that the level of saltwater contamination is very low. Saltwater contamination in freshwater aquifers at the VES P11 and VES P22 measurement locations could be caused by the lowering of groundwater levels during the dry season, resulting in seawater intrusion into freshwater aquifers. Furthermore, another cause is that the measurement area is located in alluvium deposits which were influenced by tides in the past.

Keywords: Saltwater, Aquifer, Resistivity, Alluvial, Contamination.

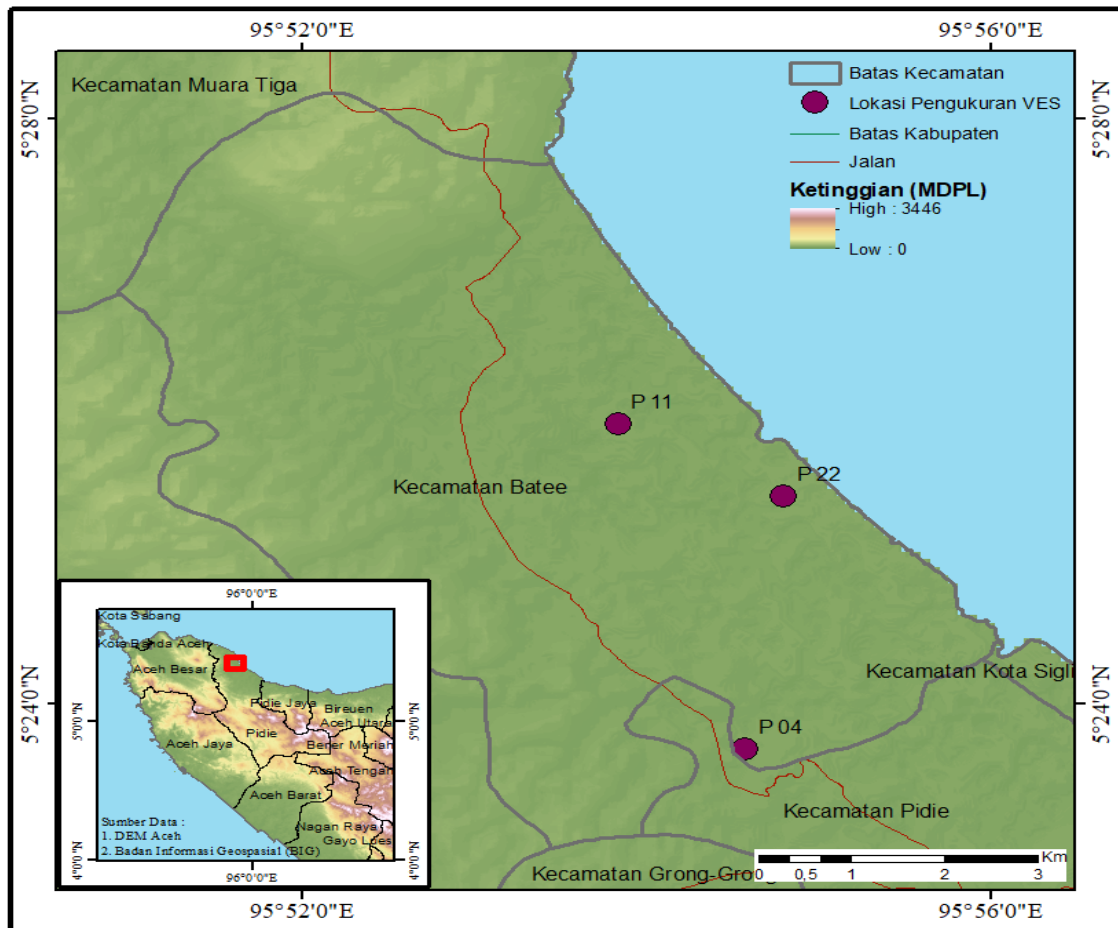
Pendahuluan

Kontaminasi air asin pada akuifer air tawar sering terjadi pada daerah pesisir pantai. Hal ini umumnya disebabkan oleh rendahnya curah hujan sehingga terjadi naikturunnya muka air tanah (*water table*). Kondisi letak geografis juga sangat mempengaruhi terjadi kontaminasi air asin tersebut dan eksploitasi air tanah dengan melakukan pemompaan secara berlebihan bisa mempengaruhi batas *interface* air tawar dan air asin (Gilli *et al.*, 2012). Kecamatan Batee merupakan salah

satu kecamatan di Kabupaten Pidie yang sering mengalami permasalahan krisis air bersih. Permasalahan krisis air bersih yang terjadi pada daerah tersebut terjadi rendahnya curah hujan yang mengakibatkan penurunan muka air tanah (Younger, 2007). Pada bagian utara Kecamatan Batee terletak dekat dengan pesisir pantai yang terindikasi sangat rentan terjadi intrusi air laut. Berdasarkan geologi regional (Bennett *et al.*, 1981), Kecamatan Batee terletak pada formasi seulumum berupa satuan batupasir tufaan dan gampingan,

konglomerat, serta batulumpur. Pada bagian utara daerah tersebut berupa endapan aluvium (kerikil, pasir dan lumpur). Kondisi geologi regional tersebut dipengaruhi oleh terjadinya naik-turun permukaan laut akibat dari intensitas tektonik yang terjadi pada masa lalu. Bentang alam dataran rendah aluvium hingga ke arah dataran rendah pantai termasuk lingkungan transisi yang tersusun oleh endapan laut, endapan rawa, endapan fluvial, dan endapan pantai (Moechtar *et al.*, 2009). Lingkungan pengendapan sedimen tersebut dapat mempengaruhi kualitas air tanah terhadap kontaminasi air laut.

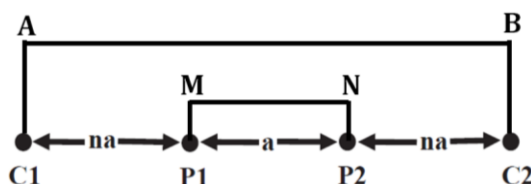
Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) merupakan metode geofisika yang dapat digunakan untuk membedakan antara air tawar dan air asin (Hodlur *et al.*, 2006). Perbedaan konduktivitas ada kedua jenis fluida tersebut dapat dimanfaatkan untuk menentukan lapisan akuifer yang terkontaminasi oleh air asin (*saltwater*). Sehingga dapat dipergunakan untuk menentukan kedalaman sumur bor pada *freshwater aquifer*.



Gambar 1 Lokasi pengukuran *Vertical Electrical Sounding* (VES)

Metodologi

Panjang bentangan elektroda arus *Vertical Electrical Sounding* (VES) pada penelitian ini adalah 300 meter atau jarak AB/2 adalah 150 meter.



Gambar 2 Bentuk konfigurasi *Schlumberger* dimodifikasi dari Loke (2000)

Analisis data menggunakan hukum ohm berdasarkan nilai tahanan jenis (R) meliputi beda potensial listrik (ΔV) dan kuat arus (I) yang diperoleh

dari pengukuran lapangan yang digunakan untuk menghitung nilai resistivitas (ρ). Nilai resistivitas dapat dihitung berdasarkan rumus dibawah ini (Telford *et al.*, 1990; Raynold *et al.*, 1997):

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

$$K = \pi a(n + n^2) \quad (2)$$

$$\rho = KR \quad (3)$$

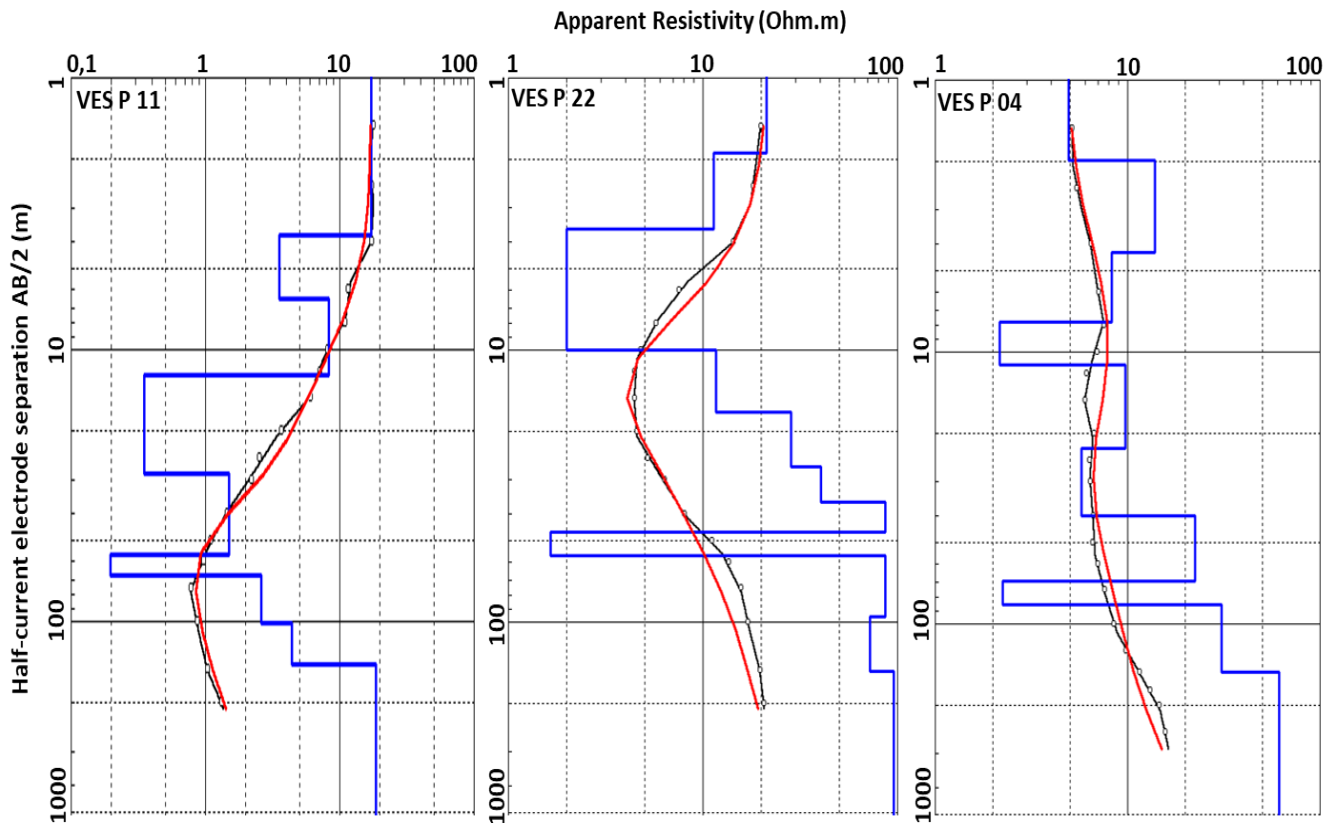
Nilai K adalah faktor geometri konfigurasi *schlumberger* dan nilai a adalah jarak antara elektroda dengan nilai n (faktor jarak). Nilai resistivitas hasil perhitungan *Vertical Electrical Sounding* (VES) diinversikan menggunakan *software* IP2WIN. Model

yang dihasilkan dalam bentuk ID dengan RMS (*Root Mean Square*) error paling rendah.

Hasil Penelitian

Hasil pengolahan menggunakan *software* IP2WIN didapatkan nilai resistivitas (*apparent resistivity*) yang berbeda-beda. Perbedaan nilai resistivitas tersebut menunjukkan bahwa setiap lapisan litologi batuan yang

berbeda. Interpretasi litologi batuan berdasarkan nilai resistivitas ini juga didasarkan pada geologi lokasi penelitian serta pengamatan langsung yang telah dilakukan. Berdasarkan metode pengolahan data yang telah dipaparkan sebelumnya, pengolahan data geolistrik pada titik *sounding* VES P11, VES P22, dan VES P04 menghasilkan grafik seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3 Grafik hasil pengolahan pada VES P11, VES P22, dan VES P04

Garis yang berwarna merah pada grafik diatas memberikan informasi tentang hubungan nilai AB/2 dan *apparent resistivity* pada titik *sounding* ini. Sedangkan garis berwarna biru memberikan informasi tentang variasi dari nilai resistivitas yang ada (banyaknya lapisan yang memiliki nilai resistivitas berbeda). Hasil pemodelan menggunakan *software* IP2WIN menunjukan bahwa nilai resistivitas rata-rata sangat rendah. Hal tersebut berdasarkan litologi batuan diinterpretasikan sebagai material lepas atau endapan karena mempunyai porositas tinggi dan mampu meloloskan air dalam jumlah yang besar, sehingga nilai konduktivitasnya tinggi. Material lepas seperti lempung, lanau, pasir atau endapan lumpur mempunyai nilai resistivitas yang rendah yang berpotensi mengandung air tanah (Rusdy *et al.*, 2020). Pemompaan yang berlebihan juga mengakibatkan permasalahan intrusi air laut mencapai batas kritis pada daerah pesisir. Pemompaan yang berlebihan, air asin dari laut dapat mudah bermigrasi ke akuifer air tawar (Ebrahim, 2013).

Pada titik *sounding* VES P11 ini dapat diinterpretasikan secara umum, *range* nilai resistivitas mengacu pada 9 (sembilan) satuan batuan yang terdiri dari endapan *topsoil*, pasir (non kompak), pasir kerikil, pasir, pasir kerikil. Grafik inversi menunjukkan kesesuaian dengan nilai resistivitas cenderung turun sampai kedalaman 67,7 meter dan kembali naik sampai kedalaman 101 meter. Perubahan nilai resistivitas diperkirakan karena perubahan komposisi ukuran butir dan kandungan air. Lapisan intrusi air laut atau lapisan yang terkontaminasi dengan air asin terindikasi pada kedalaman 12,4-56,8 meter dengan nilai resistivitas 0,35-1,5 ohm.m dengan litologi pasir dan pada kedalaman 56,8-67,7 meter dengan nilai resistivitas 0,19 meter dengan litologi pasir kerikil. Detail interpretasi data (*Vertical Electrical Sounding*) VES bisa dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1 Hasil interpretasi data *Vertical Electrical Sounding* (VES)

Data VES	Nilai Resistivitas (Ohm.m)	Kedalaman (m)	Interpretasi Litologi
VES P11	17,1	0 – 3,79	<i>Topsoil</i>
	3,55	3,79 – 6,5	Pasir (non kompak)
	8,28	6,5 – 12,4	Pasir Kerikil
	0,35	12,4 – 28,6	Pasir (intrusi air laut)
	1,5	28,6 – 56,8	Pasir (intrusi air laut)
	0,19	56,8 – 67,7	Pasir Kerikil (intrusi air laut)
	2,6	67,7 – 101	Pasir Kerikil
	4,4	101 – 144	Pasir Kerikil
	18,6	>144	Pasir Kerikil
VES P22	21,3	0 – 1,88	<i>Topsoil</i>
	11,4	1,88 – 3,59	Pasir (non kompak)
	2	3,59 – 10	Pasir (intrusi air laut)
	11,7	10 – 16,9	Pasir (non kompak)
	28,4	16,9 – 26,9	Pasir (non kompak)
	40,3	26,9 – 36,1	Pasir Kerikil
	86,6	36,1- 46,6	Pasir Kerikil
	1,64	46,6 – 57,2	Pasir Kerikil (intrusi air laut)
	86,5	57,2 – 95,6	Pasir Kerikil
	72,2	95,6 – 152	Pasir Kerikil
VES P04	95,6	>152	Pasir Kerikil
	4,92	0 – 1,98	<i>Topsoil</i>
	13,8	1,98 – 4,29	Pasir
	8,26	4,29 – 7,75	Pasir lumpur
	2,17	7,75 – 11,1	Pasir
	9,73	11,1 – 22,6	Pasir kerikil (semi kompak)
	5,74	22,6 – 39,9	Pasir
	22,5	39,9 – 69,7	Pasir kerikil (semi kompak)
	2,25	69,7 – 84,9	Pasir
	30,8	84,9 – 150	Pasir kerikil
	61,3	>150	Pasir kerikil

Pada titik *sounding* VES P22 ini dapat diinterpretasikan secara umum, *range* nilai resistivitas mengacu pada 9 (sembilan) satuan batuan yang tersusun dari endapan *topsoil*, pasir (non kompak), pasir, pasir kerikil. Grafik hasil inversi rata-rata menunjukkan kesesuaian dengan grafik inversi cenderung turun pada kedalaman 10 meter. Lapisan akuifer dengan litologi pasir yang berpotensi terintrusi air laut diperkirakan berada pada kedalaman 3,59-10 meter dengan nilai resistivitas yaitu 2 ohm.m. Selanjutnya litologi pasir kerikil pada kedalaman 46,6-57,2 meter dengan resistivitas 1,62 ohm.m diduga lapisan akuifer yang

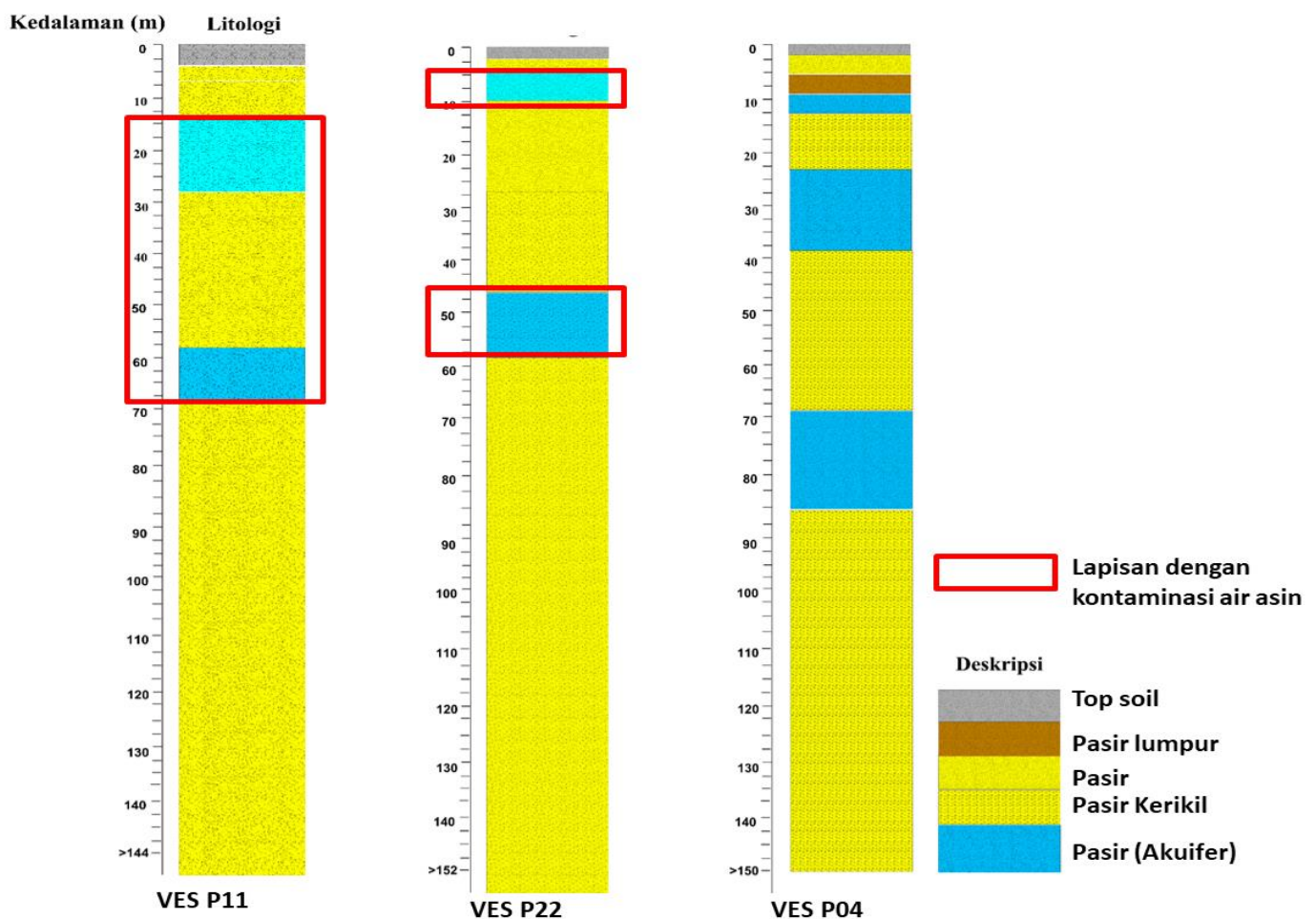
terintrusi air laut dan juga terletak pada zona endapan aluvium yang dipengaruhi pasang surut air laut pada masa lalu.

Pada titik *sounding* VES P04 ini dapat diinterpretasikan secara umum nilai resistivitas mengacu pada 9 satuan batuan yang terdiri dari endapan *topsoil*, pasir, pasir lumpur, pasir kerikil. Lapisan terlihat lebih konduktif dengan nilai resistivitas 2,17 ohm.m yang diindikasikan sebagai lapisan pasir dengan kedalaman 7,75-11,1 meter yang diidentifikasi sebagai akuifer sangat rentan terhadap kontaminasi air asin. Lapisan akuifer diperkirakan juga berada pada kedalaman sampai

22,6-39,9 meter dengan resistivitas 5,74 ohm .m dan ketebalan lapisan 17,3 meter dan pada kedalaman 69,7-84,9 meter dan ketebalan 15,2 meter dengan litologi berupa endapan pasir.

Hasil penelitian berdasarkan pengukuran *Vertical Electrical Sounding* (VES) menunjukkan sebaran litologi secara umum didominasi pasir hingga pasir kerikil. Kedalaman tingkat kontaminasi air asin yang tinggi sangat bervariasi. Pada lokasi pengukuran VES P11, tingkat kontaminasi air asin yang tinggi dengan nilai resistivitas 0,19 – 1,5 ohm.m pada kedalaman 12,4 – 67,7 meter. Pada lokasi pengukuran VES P22, tingkat

kontaminasi air asin yang tinggi dengan nilai resistivitas 1,64 – 2 ohm.m pada kedalaman 3,59 – 10 meter dan 6,6 – 57,2 meter. Kontaminasi air asin pada akuifer air tawar pada lokasi pengukuran VES P11 dan VES P22 bisa disebabkan oleh menurunnya muka air tanah pada musim kemarau sehingga terjadinya intrusi air laut kedalam akuifer air tawar. Selanjutnya penyebab lain karena daerah pengukuran terletak pada endapan aluvium yang dipengaruhi pasang surut air laut pada masa lalu. Pada lokasi pengukuran VES P04 terindikasi tingkat kontaminasi air asin sangat rendah.



Gambar 4 Interpretasi litologi batuan berdasarkan nilai resistivitas

Oleh Karena itu, restorasi air tanah di daerah ini telah menjadi komponen penting dari pengelolaan air tanah. Penerapan metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) dapat digunakan sebagai pilihan pengelolaan air tanah dan memberikan rekomendasi untuk mengurangi masalah intrusi air laut pada akuifer daerah pesisir ini.

Kesimpulan

Kontaminasi air asin pada akuifer air tawar pada lokasi pengukuran VES P11 dan VES P22 bisa disebabkan oleh menurunnya muka air tanah pada musim kemarau sehingga terjadinya intrusi air laut kedalam akuifer air tawar. Selanjutnya penyebab lain karena daerah

pengukuran terletak pada endapan aluvium yang dipengaruhi pasang surut air laut pada masa lalu. Hasilnya penelitian ini bisa memberikan rekomendasi dalam menentukan kedalaman sumur bor untuk *freshwater aquifer*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Aceh untuk penyediaan Data *Vertical Electrical Sounding* (VES) dan juga penelitian ini tidak akan selesai tanpa dukungan tim di Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala.

Referensi

- Bennet, J. D., Bridge, D. M., Djunuddin, A., Ghazali, S. A., Jeffreys, D. H., Kartawa, W., Keats, W., Rock, N. M. S., Thomson, S. J., & Whandoyo, R. (1981) Peta Geologi Lembar Banda Aceh, Sumatera, Skala 1:250.000. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Ebrahim, G. Y. (2013) Modelling Groundwater Systems : Understanding and Improving Groundwater Quantity And Quality Management. Dissertation. Delft: Delft University of Technology.
- Gilli, E., Mangan, C., & Mudri, J. (2012) Hydrogeology: Objectives, Methods, Applications. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Hodlur, G.K., Dhakate, R., & Andrade, R. (2006) Correlation of Vertical Electrical Sounding and Borehole-Log Data for Delineation of Saltwater and Freshwater Aquifers. *Geophysics*. **71**(1): 1-3.
- Loke, M. H. (2000) Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies. *International Journal of Geosciences*. **5**(3): 61.
- Moechtar, H., Subiyanto, S., & Sugianto, D. (2009) Geologi Aluvium dan Karakter Endapan Pantai/Pematang Pantai di Lembah Krueng Aceh, Aceh besar (prov. NAD). *Jurnal Geologi dan Sumberdaya*. **19**(4): 272–283.
- Rusdy, I., Ikhlas, Setiawan, B., Zainal, M., Idris, S., Basyar, K., & Putra, Y. A. (2020) Integration of Borehole and Vertical Electrical Sounding Data to Characterise The Sedimentation Process and Groundwater in Krueng Aceh Basin, Indonesia. *Journal Groundwater for Sustainable Development*. **10**: 1-2.
- Raynold, J. M. (1997). Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Hoboken, New Jersey: John Willey and Son Ltd.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., & Sheriff, R.E. (1990). *Applied Geophysics*, 2nd ed. New York: Cambridge University Press.
- Younger, P.L. (2007) Groundwater in the environment: an introduction. Oxford: Blackwell Publishing.