

IDENTIFIKASI AKUIFER DI DAERAH RAWAN BANJIR DENGAN METODE *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* DI KECAMATAN MUARA BANGKAHULU

(Identification of Aquifers in Flood-Prone Areas using the Vertical Electrical Sounding Method in Muara Bangkahulu sub-district)

Suhendra^{1*}, Geri Budianto¹, Halauddin¹, dan Liza Lidiawati²

¹Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu, Bengkulu

²Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu, Bengkulu

*Email: suhendra@unib.ac.id

Diterima: 31 Mei 2023, Direvisi : 30 Juli 2023, Disetujui : 25 Agustus 2023

ABSTRACT

Muara Bangkahulu Subdistrict is a flood-prone area in Bengkulu City, Bengkulu Province. This study aims to identify the depth of aquifers in flood-prone areas. Flood-prone areas in the Muara Bangkahulu sub-district were analyzed using the Vertical Electrical Sounding (VES) method with Schlumberger configuration of as many as 40 VES points in residential areas. Data acquisition was carried out using the Geoelectric IP Meter MAE X612-EM. The obtained data was then processed using Progress 3.0 software to get a 1D Resistivity Log cross-section. The log data was then modelled using Voxler 4 software to find an overview of the distribution of aquifers and subsurface structures in 3D. The distribution of resistivity values at depths of 2, 5, 10, 15, 30, and 40 meters using ArcGIS 10.8 are mapped to see the distribution of aquifers. The aquifers in the Muara Bangkahulu sub-district are sand and gravel with a value of 0-25 $\Omega.m$. The intrusion of seawater influences this value. Flood-prone areas are located at shallow aquifer, namely depths of 2-5 m in the villages of Rawa Makmur, Rawamakmur Permai, and Bentiring Permai.

Keywords: *Aquifer; Flood; VES*

ABSTRAK

Kecamatan Muara Bangkahulu di Kota Bengkulu, Provinsi Bengkulu merupakan daerah yang rawan bencana banjir. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kedalaman akuifer daerah rawan banjir. Daerah rawan bencana banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dianalisis menggunakan metode *Vertical Electrical Sounding (VES)* dengan konfigurasi Schlumberger sebanyak 40 titik VES di lokasi permukiman. Akuisisi data dilakukan dengan alat Geolistrik IP Meter MAE X612-EM, dan data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *software Progress 3.0* menghasilkan penampang *Resistivity Log 1D*. Data Log yang didapatkan dilakukan pemodelan menggunakan *software Voxler 4* untuk mendapatkan gambaran

persebaran akuifer dan struktur bawah permukaan secara 3D, kemudian di petakan persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 2, 5, 10, 15, 30, dan 40 meter menggunakan *software ArcGIS 10.8* untuk melihat daerah rawan banjir. Hasil interpretasi memperlihatkan bahwa akuifer di Kecamatan Muara Bangkahulu berupa pasir dan kerikil yang memiliki nilai tahanan jenis 0–25 $\Omega.m$. Nilai tersebut dipengaruhi oleh adanya intrusi air laut. Daerah rawan banjir berada pada akuifer dangkal, yaitu 2–5 m yang berada pada kelurahan Rawa Makmur, Rawamakmur Permai, dan Bentiring Permai.

Kata kunci: Akuifer; Banjir; VES

I. PENDAHULUAN

Muara Bangkahulu merupakan kecamatan terluas kedua di Kota Bengkulu. Di kecamatan ini terdapat Sungai Air Bengkulu dan Sungai Air Hitam. Sungai Air Bengkulu berada di sebelah Selatan yang menjadi pembatas dari dua Kecamatan yaitu Muara Bangkahulu dengan Sungai Serut, sedangkan Sungai Air Hitam berada di sebelah utara yang menjadi pembatas antara Kecamatan Muara Bangkahulu dengan Kabupaten Bengkulu Tengah (BPS Kota Bengkulu 2022). Kecamatan Muara Bangkahulu berlokasi di bagian hilir Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Bengkulu. Kondisi kemiringan lereng yang landai, banyak terdapat daerah rawa-rawa, dan padatnya pembangunan menyebabkan daerah tersebut rawan terjadi banjir. Daerah yang sering kebanjiran berada di kelurahan Rawa Makmur, Rawa Makmur Permai, dan Beringin Raya (Suherianti, Mayub, & Farid, 2018). Hampir setiap tahun pada musim hujan, kecamatan Muara Bangkahulu selalu tergenang banjir. Pada Juli 2022 terjadi banjir di kecamatan Muara Bangkahulu.

Hujan adalah bagian dari siklus hidrologi. Hujan akan menjadi bencana banjir jika curah hujannya tinggi dan sebarannya tidak terkendali (Juleha,

Rismalinda, & Rahmi, 2016). Lebih lanjut disebutkan pula, bahwa banjir diakibatkan oleh faktor alam seperti curah hujan tinggi yang berlangsung lama, lokasi banjir terjadi pada topografi yang relatif datar, memiliki pola sungai berbelok-belok, keadaan struktur batuan yang lambat meresap, dan kapasitas sungai yang tidak dapat menampung serta mengalirkan air ke laut (Wahyuningtyas & Pratomo, 2015). Bagi daerah yang sering tergenang, kedalaman genangan banjir menentukan tingkat keparahan kerusakan struktur bangunan yang tergenang (Amin, Ilmiaty, & Marlina, 2020).

Air tanah merupakan air hujan yang terinfiltrasi ke bawah permukaan lalu secara perlahan mengalir ke dataran yang lebih rendah melalui pori-pori batuan (akuifer) atau di permukaan tanah lalu mengalir sepanjang aliran sungai. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kondisi air tanah adalah kondisi geologi dan litologi (Manrulu, Esse, Hasmarita, Mulia, & Nurfaalq, 2021). Air tanah terdapat di banyak jenis formasi geologi, yang dikenal sebagai akuifer. Akuifer dapat didefinisikan sebagai suatu formasi yang mengandung bahan permeabel jenuh yang cukup untuk menyimpan air dalam jumlah yang signifikan (Todd & Mays, 2004). Beberapa

formasi geologi yang berfungsi menjadi akuifer adalah endapan aluvial, batugamping, vulkanik, batupasir, dan batuan beku. Dari sisi kedudukannya terhadap lapisan yang kedap air, maka akuifer dapat dibagi menjadi akuifer tertekan dan akuifer bebas. Akuifer bebas berada di bawah muka air tanah, karena itu akuifernya dalam keadaan bebas (tidak terletak di bawah lapisan yang kedap air), dan tanpa ada tekanan (Simpen, Utama, Redana, & Zulaikah, 2016).

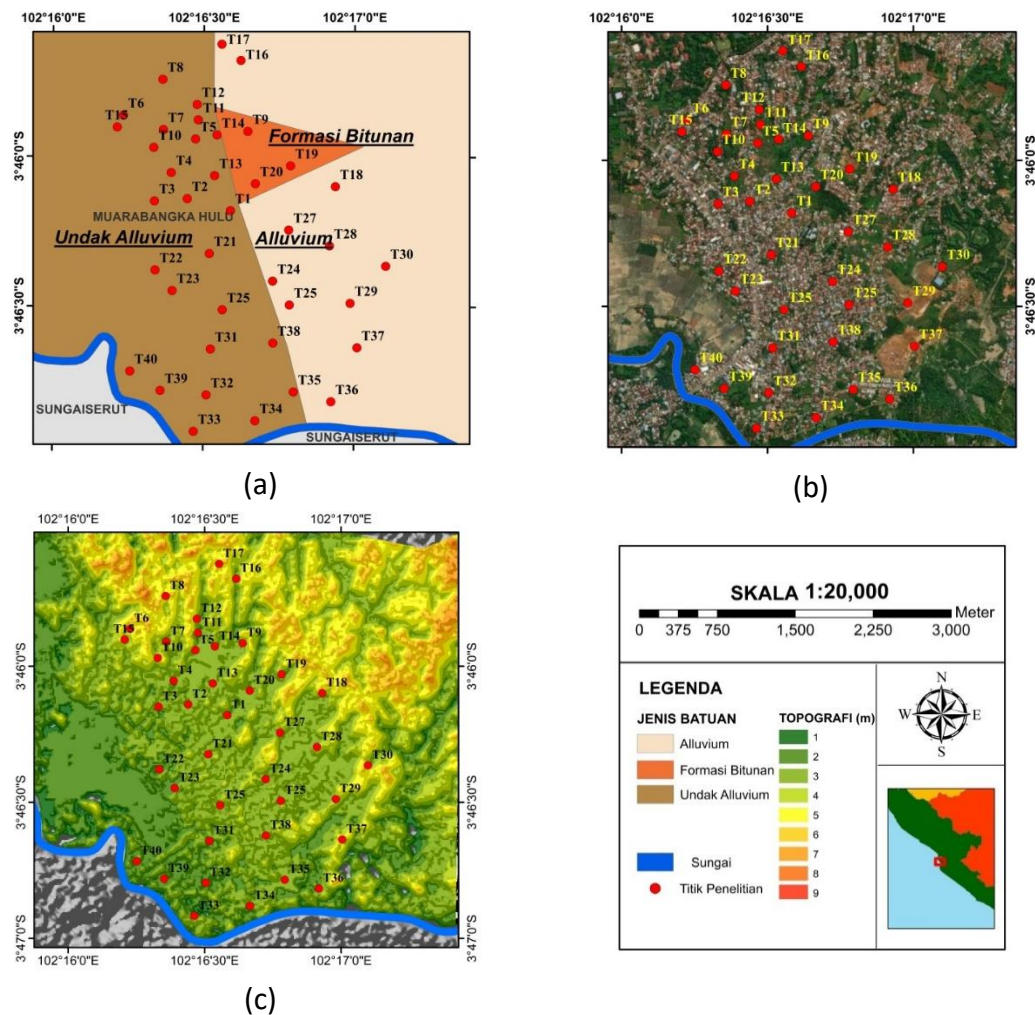
Metode yang efisien untuk mencari dan mengetahui keberadaan akuifer adalah metode geofisika. Salah satu metode geofisika yang efisien untuk mengkarakterisasi geologi dan hidrologi bawah permukaan adalah metode geolistrik dengan *Vertical Electrical Sounding* (VES) yang menggunakan konfigurasi *Schlumberger* (George, Emah, & Ekong, 2015). Batuan dan litologi memiliki sifat kelistrikan berbeda (Haerudin, Rustadi, Fitriawan, Siska, & Farid, 2019). Secara umum resistivitas batuan berhubungan dengan berbagai sifat batuan seperti kadar kejenuhan air, porositas, kerapatan rekahan, kerapatan massa, derajat kejenuhan air, ion terlarut dalam air dan pemadatan batuan akibat proses sedimentasi dan geologi (Phengnaone, Arjwech, & Everett, 2020). Penelitian ini bertujuan memetakan persebaran akuifer berdasarkan nilai resistivitas guna mengetahui kedalaman akuifer. Akuifer dangkal merupakan daerah rawan banjir sehingga berdasarkan kedalaman akuifer dan kondisi daerah yang diteliti akan dapat menjadi pertimbangan

untuk pembangunan berkelanjutan dan mitigasi banjir.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 28-31 Mei 2022 di Kecamatan Muara Bangkahulu. Lokasi pengamatan ditentukan secara *purposive sampling* untuk mempermudah akuisisi data sebanyak 40 titik pengukuran VES pada kawasan pemukiman padat penduduk, seperti yang terlihat pada Gambar 1 (b). Gambar 1 (a) menunjukkan formasi geologi yang berbeda, dimana hal ini akan sangat berpengaruh terhadap nilai resistivitas. Topografi merupakan faktor utama yang mempengaruhi kedalaman akuifer dan daerah rawan bencana banjir. Dari Gambar 1 (c) terlihat bahwa Muara Bangkahulu memiliki topografi yang relatif rendah terutama pada daerah rawan bencana banjir, topografi pada daerah penelitian memiliki ketinggian 1-9 mdpl. Survei awal dilakukan untuk menentukan panjang lintasan, pengukuran titik awal, dan kedalaman yang diinginkan. Pada penelitian ini kedalaman pengukuran ditentukan berdasarkan pertimbangan lahan yang dapat untuk menancapkan elektroda secara horizontal, karena dilakukan di tempat padat penduduk. Berdasarkan survey diperoleh 40 titik VES yang dapat di akuisisi datanya, yaitu dengan total panjang lintasan 80 m dengan kedalaman hingga 40 m. Data yang diakuisisi tersebut kemudian diolah, dianalisis, dan diinterpretasikan untuk menentukan lapisan akuifer pada daerah penelitian.



Gambar (Figure) 1. (a) Peta Geologi (*Geological map*), (b) Lokasi titik pengukuran VES (*VES measurement point locations*) (c) Peta Topografi (*Topographical map*)

Sumber (*Source*): BIG (2022), Google Earth dan Data DEMNAS

B. Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan satu set alat Geolistrik IP Meter MAE X612-EM, 2 Elektroda arus dan 2 elektroda potensial, 2 kabel penghubung, 4 rol kabel *resistivity*, meteran, *accumulator*, dan *Global Positioning System* (GPS) yang digunakan untuk memindai kordinat lokasi penelitian. Untuk perangkat lunak pengolahan data dari akuisisi data VES digunakan *software Progress 3.0*, *Voxler 4*, *ArcGIS 10.8* dan seperangkat laptop. Semua peralatan ini memiliki fungsi dalam akuisisi data lapangan, serta pengolahan data untuk

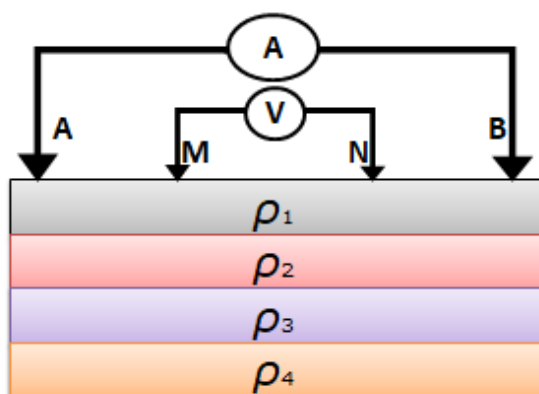
melihat persebaran akuifer di daerah rawan banjir.

C. Metode Penelitian

Untuk mengetahui ketersediaan akuifer, intrusi air laut, porositas, dan konduktivitas hidrolik dari akuifer berpori dapat menggunakan metode geolistrik (Kazakis, Vargemesis, & Voudouris, 2016). Metode geolistrik didasarkan bahwa setiap lapisan di bawah permukaan bumi akan memberikan respon yang berbeda berupa nilai resistivitas jika dialiri oleh arus listrik (Bachtiar, Yoseph, & Firmansyah, 2022).

Metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas) merupakan metode yang memanfaatkan sifat tahanan jenis suatu batuan untuk melihat kondisi bawah permukaan tanah. Parameter resistivitas untuk mengkarakterisasi keadaan fisis bawah permukaan akan terkait dengan material serta kondisi bawah permukaan (Hanifa, Sota, & Siregar, 2016). Setiap batuan memiliki nilai resistivitas yang berbeda tergantung pada beberapa faktor, seperti usia batuan, kandungan elektrolit, densitas, porositas, permeabilitas, dan lain sebagainya (Mohammad, Mardiana, Yuniardi, Firmansyah, & Alfadli, 2016). Oleh karena itu, resistivitas batuan bernilai dalam interval (Sehah, Raharjo, & Aziz, 2018).

Konfigurasi *Schlumberger* merupakan konfigurasi yang tepat untuk mengetahui jenis lapisan bawah permukaan sehingga dapat menentukan kedalaman dan ketebalan akuifer dan dapat digunakan di lahan yang tidak terlalu luas dalam akuisisi data lapangannya. Susunan elektroda pada konfigurasi *Schlumberger* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar (Figure) 2. Konfigurasi *Schlumberger*
(*Schlumberger configuration*)
Sumber (Source): Todd & Mays (2004)

Pada Gambar 2, elektroda A dan B sebagai perantara menginjeksikan arus listrik untuk mengukur beda potensial berdasarkan arus listrik yang diinjeksikan. Prinsip Konfigurasi *Schlumberger* yaitu jarak antara elektroda potensial A dan B dibuat tetap sedangkan jarak MN yang diubah-ubah. Saat jarak A dan B berubah pada jarak yang besar maka elektroda MN juga berubah tidak lebih besar dari 1/5 jarak A dan B. Untuk menghitung resistivitas batuan maka menggunakan persamaan 1 (Kirsch, 2006).

$$\rho = K \frac{U}{I} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- ρ = Resistivitas ($\Omega.m$)
- K = Faktor Geometri (meter)
- U = Beda Potensial (volt)
- I = Arus Listrik (ampere)

Faktor geometri (K) pada konfigurasi *Schlumberger* diketahui berdasarkan persamaan 2 (Kirsch, 2006).

$$K = \frac{1}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- K = Faktor Geometri (m)
- AB = Jarak Elektroda Arus (m)
- MN = Jarak Elektroda (m)

Prinsip konfigurasi *Schlumberger* adalah jarak antar elektroda arus dan elektroda potensial akan berbeda sesuai dengan nilai kedalaman yang ingin diketahui karena jarak antara elektroda mempengaruhi kedalaman titik datum nilai resistivitas suatu batuan dengan klasifikasi akuifer berkisar antara 1-50 $\Omega.m$ (Tio, Yunita, Bernaldi, & Sugianto, 2022).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data lapangan menggunakan metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) di Kecamatan Muara Bangkahulu dilakukan pada 40 titik VES. Data yang diperoleh diolah terlebih dahulu menggunakan *Software Progress 3.0*, kemudian dilakukan *Invers Modelling* untuk mendapatkan pencocokan model dengan model yang sebenarnya dengan nilai *Root Mean Square* (RMS) <5%. Hasilnya adalah penampang 1D berupa *Resistivity Log* dengan kedalaman 40 m dan nilai Resistivitas berkisar antara 0-800 $\Omega.m$ secara keseluruhan pada 40 titik pengukuran VES. Nilai resistivitas dari setiap mineral dan batuan berbeda-beda tergantung sifat konduktivitas suatu material yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Nilai resistivitas struktur pada penampang *Resistivity Log* 1D kemudian diklasifikasikan berdasarkan Tabel 1 yang menunjukkan jenis-jenis lapisan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas sebenarnya. Berdasarkan pengklasifikasian tersebut, jenis lapisan bawah permukaan di Kecamatan Muara Bangkahulu terdiri dari air tanah, alluvium, lempung, kerikil, pasir,

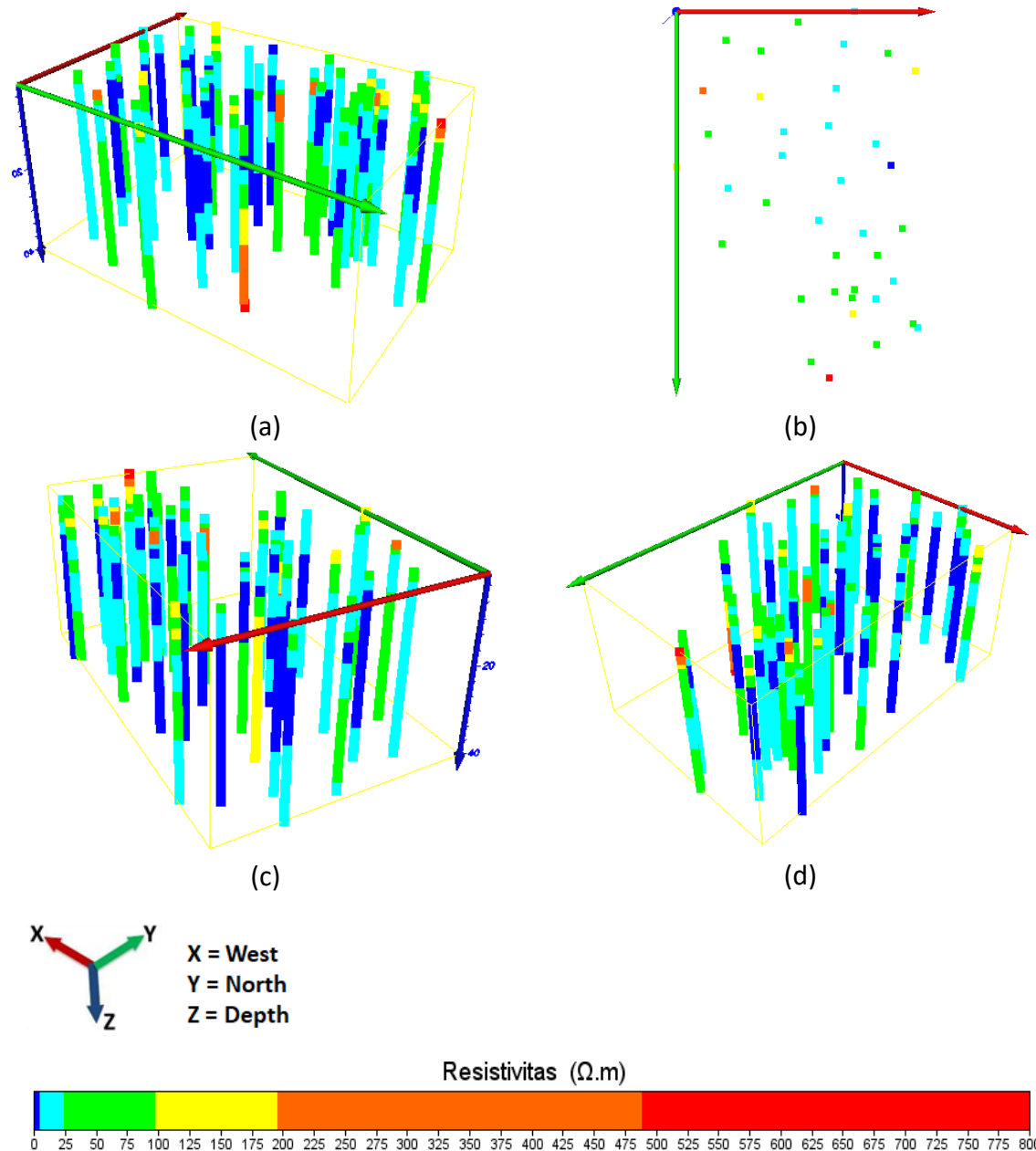
dan batu pasir. Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran VES, dan analisis nilai resistivitas untuk menentukan jenis material batuan pada daerah rawan banjir.

Gambar 3 menunjukkan model persebaran data log 1D yang memiliki nilai resistivitas yang berbeda di setiap titik sounding VES. Setiap pengukuran diketahui memiliki kedalaman dan ketebalan lapisan akuifer yang berbeda-beda, yang disebabkan berbagai faktor yaitu geologi, topografi dan iklim. Ketiga faktor ini sangat berpengaruh terhadap kedalaman akuifer. Pada umumnya daerah yang memiliki topografi yang rendah akan memiliki lapisan akuifer yang dangkal karena air mengalir dari dataran yang tinggi ke dataran yang rendah. Faktor geologi mempengaruhi kedalaman akuifer. Dataran yang rendah memiliki komposisi batuan yang berasal dari sedimentasi dan pelapukan batuan sebelumnya seperti kerikil, pasir, lempung dan lanau. Iklim juga mempengaruhi kedalaman akuifer, pada daerah yang sering terjadi hujan cenderung memiliki akuifer yang lebih dangkal. Kedalaman dan ketebalan akuifer pada setiap titik VES tertera pada Tabel 2.

Tabel (Tabel) 1. Nilai Resistivitas (*Resistivity Value*)

No	Jenis mineral (<i>Types of minerals and rock</i>)	Resistivitas (<i>Resistivity</i>) ($\Omega.m$)
1	Air (<i>Water</i>)	1-100
2	Air payau / air rawa (<i>Brackish water/swamp water</i>)	0,3-5
3	Air laut (<i>Sea water</i>)	0,2
4	Lempung (<i>Clay</i>)	1-100
5	Batuan dasar (<i>Bedrock</i>)	300-900
6	Krikil Pasiran (<i>Passive gravel</i>)	100-150
7	Pasir (<i>Sand</i>)	1-600
8	Alluvium (<i>Alluvium</i>)	40-400
9	Krikil (<i>Gravel</i>)	100-600
10	Batu pasir (<i>Sandstone</i>)	$1-6.4 \times 10^8$
11	Konglomerat (<i>Conglomerate</i>)	$2 \times 10^3 - 10^4$
12	Air Permukaan (<i>Surface Water</i>)	$30-3 \times 10^3$

Sumber (*Source*): Tama & Supriyadi (2015); Syafarini, Hendrayana, & Winardi (2022)



Gambar (Figure) 3. Titik sounding dari akuisisi VES (Sounding points of VES acquisition from different sides) (a and d north side, b top side, c eastside)

Sumber (Source): Analisis menggunakan voxler 4 (Analysis using voxler 4, 2022)

Berdasarkan hasil akuisisi data dan pengolahan data VES pada Gambar 3, terjadi perbedaan kondisi bawah permukaan di Kecamatan Muara Bangkahulu karena beberapa faktor, seperti keadaan geologi, struktur batuan, dan topografi yang bervariasi. Hasil pengukuran menunjukkan nilai resistivitas 0-25 $\Omega.m$ merupakan lapisan akuifer,

termasuk di dalamnya adalah daerah intrusi air laut dengan muara sungai yang selalu mengalami pasang surut. Intrusi air laut memiliki Nilai resistivitas <5 $\Omega.m$, dikarenakan intrude air laut adalah konduktor yang sangat baik sehingga memiliki nilai resistivitas yang kecil (Kazakis, Pavlou, et al., 2016).

Tabel (Tabel) 2. Kedalaman dan ketebalan Akuifer serta RMS setiap titik pengukuran VES (*Aquifer depth and thickness and RMS of each VES measurement point based on Progress 3.0 processing results*)

Titik VES (VES point)	Kedalaman Akuifer (Depth of Aquifer) (m)	Ketebalan Akuifer (Aquifer Thickness) (m)	Nilai Resistivitas (Ω .m)	RMS (%)
1	-	-	-	-
2	6-16	10	15,76	4,0176
3	3-26	23	6,93-1,97	4,2024
4	2-40	38	2,2-6,93	1,9055
5	4-17	13	3,13-17,79	4,7629
6	10-14 & 18-27	4 & 9	22,32 & 21,54	1,3096
7	12-23	11	16,79	3,5557
8	8-40	32	4,73-7,39	1,4935
9	8-25	17	1,95-13,91	4,7725
10	11-40	29	12,34-20,29	3,1404
11	5-40	35	4,11-10,46	4,9733
12	4-40	35	3,36-16,68	1,8756
13	2-12	10	1,96-18,68	0,8676
14	7-40	33	6,23-14	4,0965
15	6-40	34	2,09-12,78	4,2903
16	7-40	33	2,72-12,2	2,7916
17	17-26	7	17,92	1,8362
18	6-11	6	2,88-7,27	3,5847
19	8-22	14	9,6-10,54	3,9542
20	2-5&10-26	3&16	2,51-22,04	3,3684
21	2-5&10-40	3&20	7,3-22,27 & 1,95-8,88	1,7166
22	2-40	38	1,17-11,31	1,0530
23	2-40	38	0,98-6,34	2,5920
24	2-40	38	2,94-24,56	1,3571
25	2-4&8-40	2&32	53-18,6 & 1,31-13,83	3,7113
26	2-18	16	0,29-8,73	1,8608
27	7-40	33	6,95-20,22	1,4028
28	2-40	72	3,82-21,42	0,5739
29	2-20	18	6,55-21,6	2,1467
30	4-25	21	12,63-14,28	1,9299
31	2-5	3	2,82-6,55	2,2752
32	2-30	28	0,97-10,98	3,4442
33	6-40	34	2,9-9,53	1,5063
34	3-19	16	1,4-24,35	4,0321
35	3-40	38	0,91-18,6	3,7847
36	3-40	38	5-21,06	0,9996
37	3-10	7	7,28-16,64	2,0994
38	9-40	31	8,44-18,73	4,6489
39	2-40	38	1,32-15,85	2,6411
40	10-40	50	9,49-24,7	4,4961

Sumber (Source): Analysis of Progress 3.0 data, 2022

Keterangan (Remarks): Hasil pengolahan VES dengan progress 3.0 (VES results using progress 3.0)

Air payau merupakan intrusi air laut dikarenakan daerah penelitian ini dekat dengan laut yang sungainya selalu mengalami pasang surut. Lapisan akuifer memiliki ketebalan dan kedalaman yang bervariasi seperti pada Tabel 2. Nilai resistivitas 25-100 $\Omega.m$ merupakan lapisan lempung dan lempung berpasir atau lempung yang berfungsi sebagai lapisan penutup akuifer (*impermeable*) sedangkan batu pasir dan kerikil pasiran terletak pada nilai resistivitas 100-150, kerikil memiliki nilai 150-480 $\Omega.m$ yang berwarna oranye, serta batuan keras memiliki nilai resistivitas 500-800 $\Omega.m$ (Tama & Supriyadi, 2015). Berdasarkan akuisisi data lapangan VES konfigurasi *Schlumberger* menunjukkan bahwa di setiap titik akuisisi data memiliki kedalaman akuifer yang berbeda. Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 3 a dan d, daerah bagian utara penelitian memiliki kedalaman akuifer 5-17 m. Akuifer terdalam berada pada titik 17 dengan kedalaman 17 m, sedangkan akuifer di bagian Selatan berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 3 b dan c yang berdekatan dengan Sungai Air Bengkulu lebih dangkal dibandingkan lapisan di bagian Utara, yaitu memiliki kedalaman rata-rata 2-3 m. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi geologi dan topografi yang cenderung lebih rendah dan dekat dengan Sungai Air Bengkulu dibandingkan bagian Utara. Untuk melihat persebaran lapisan yang memiliki nilai resistivitas berbeda yang memiliki volume secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4 yang dilihat dari berbagai sisi.

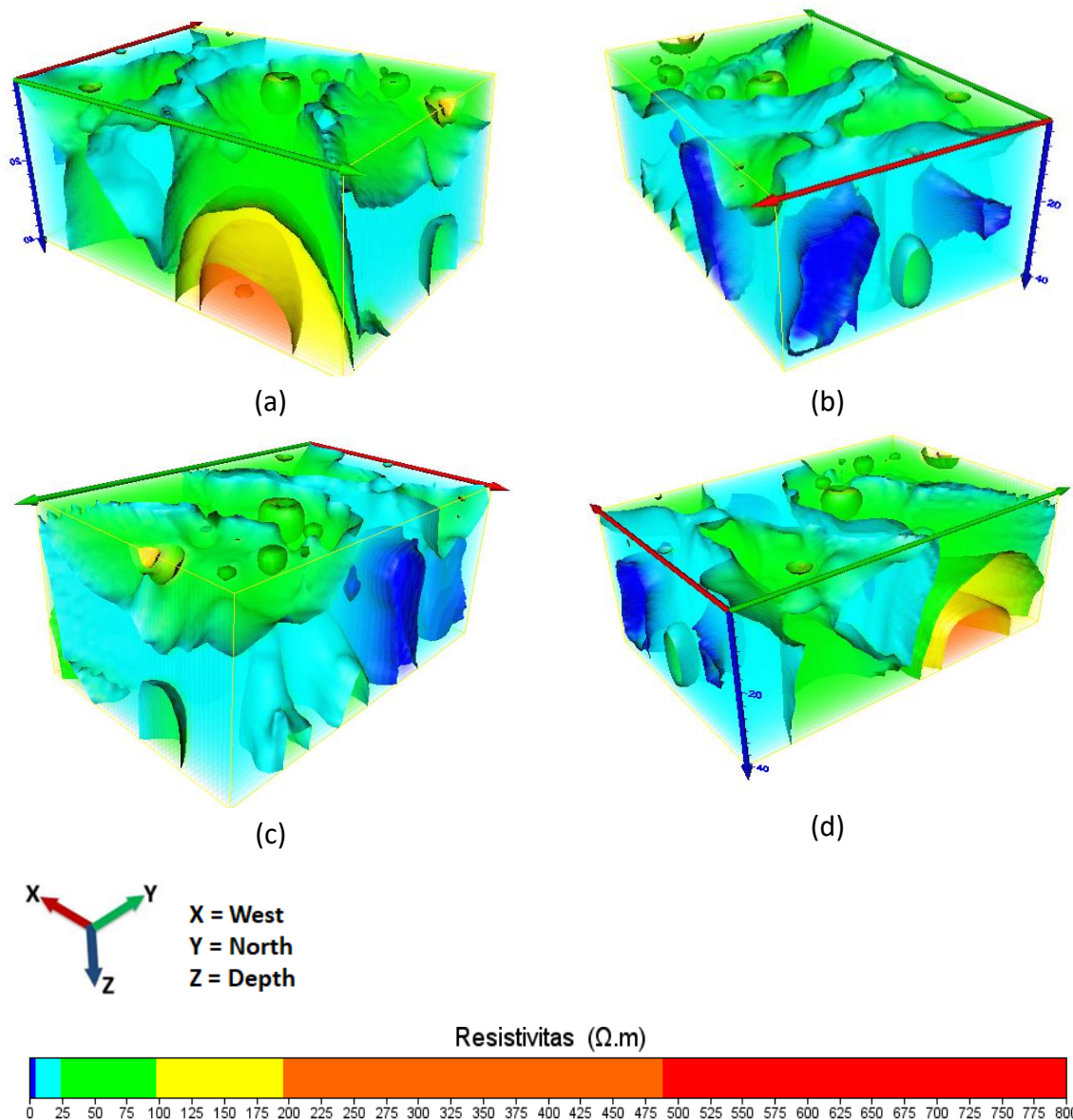
Dari Gambar 4 a, b, c dan d menunjukkan model 3D dari daerah yg diukur, berdasarkan nilai resistivitas 0-800 $\Omega.m$. Akuifer berdasarkan nilai resistivitas

pada Gambar 4 berkisar 0-25 $\Omega.m$ yang berwarna biru yang lebih dominan pada bagian tengah dan selatan dan yang berwarna biru tua merupakan intrusi air laut. Daerah berwarna hijau merupakan lempung yang bernilai 25-100 $\Omega.m$, di karenakan berdasarkan tabel resistivitas lempung memiliki nilai 1-100 $\Omega.m$. Dari beberapa riset yang memiliki geologi dan tempat yang hampir serupa yang berada di daerah banjir, lempung di daerah banjir memiliki nilai di bawah 100 $\Omega.m$ (Tama & Supriyadi, 2015). Lempung berperan sebagai lapisan batuan *impermeable* serta menjadi pembatas maupun penutup dari akuifer. Batu pasir dan kerikil pasiran yang berwarna kuning bernilai 100-200 $\Omega.m$, pasir 150-480 $\Omega.m$ yang berwarna oranye dan batuan keras memiliki nilai 500-800 $\Omega.m$ yang berwarna merah. Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa semakin dekat dengan sungai lapisan akuifernya semakin tebal dan kedalamannya semakin dangkal. Persebaran lapisan akuifer memiliki kedalaman tidak merata dan semakin ke arah Selatan kedalaman akuifer tersebut semakin dangkal serta terdapat aliran sungai serta rawa-rawa. Berdasarkan model 3D serta kondisi geologi maka akuifer di daerah penelitian tersebut merupakan jenis akuifer bebas dan ditemukan pada kedalaman 2-18 m. Lapisan akuifer yang memiliki nilai 0-5 $\Omega.m$ dengan warna biru gelap diduga diisi dengan air payau yaitu intrusi air laut. Untuk melihat persebaran akuifer dapat dilihat pada Gambar 5 yang merupakan model 3D persebaran akuifernya saja.

Dari Gambar 5 lapisan akuifer memiliki nilai resistivitas 0-25 $\Omega.m$ yang mengalir

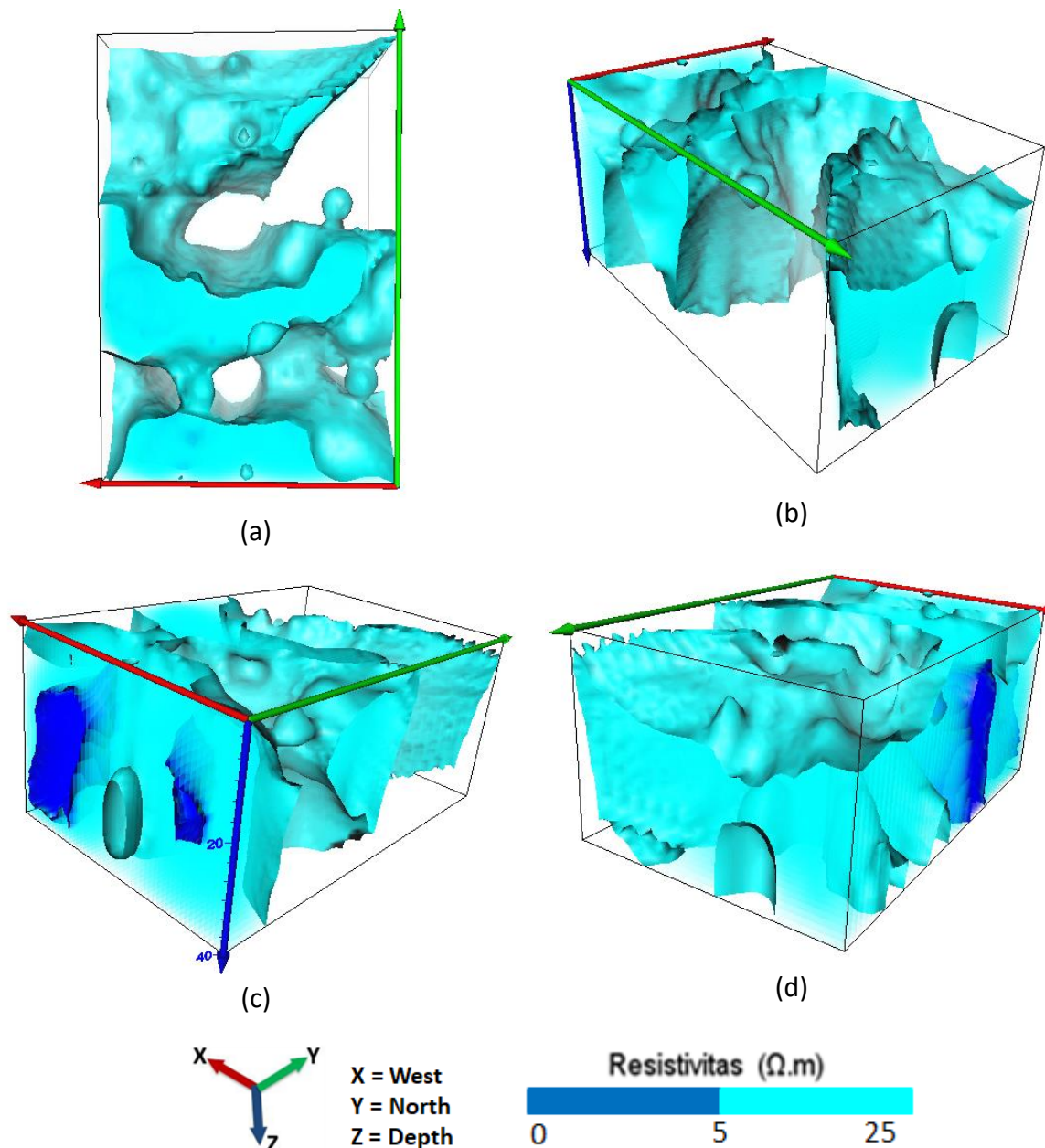
dari arah utara ke selatan menuju aliran sungai, dikarenakan bagian utara memiliki topografi yang lebih tinggi. Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa lapisan akuifer pada bagian utara lebih dalam dibandingkan akuifer di bagian selatan. Nilai resistivitas 0-5 $\Omega.m$ yang berwarna

biru gelap dominan berada pada bagian selatan penelitian yang merupakan intrusi dari laut, sedangkan nilai resistivitas 5-25 $\Omega.m$ yang berwarna biru cerah merupakan lapisan akuifer yang tidak terpengaruh intrusi air laut.



Gambar (Figure) 4. Model 3D lapisan batuan berdasarkan nilai resistivitas (3D model of rock layers based on resistivity values from different sides (a and c north side, b top side, d east side))

Sumber (Source): Analisis menggunakan voxler 4 (Analysis using voxler 4, 2022)

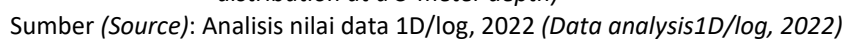


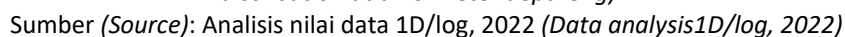
Gambar (Figure) 5. Model 3D lapisan akuifer berdasarkan nilai resistivitas 0-25 $\Omega.m$ (3D model of aquifer layers based on resistivity values from different sides (a and c north side, b top side, d east side))

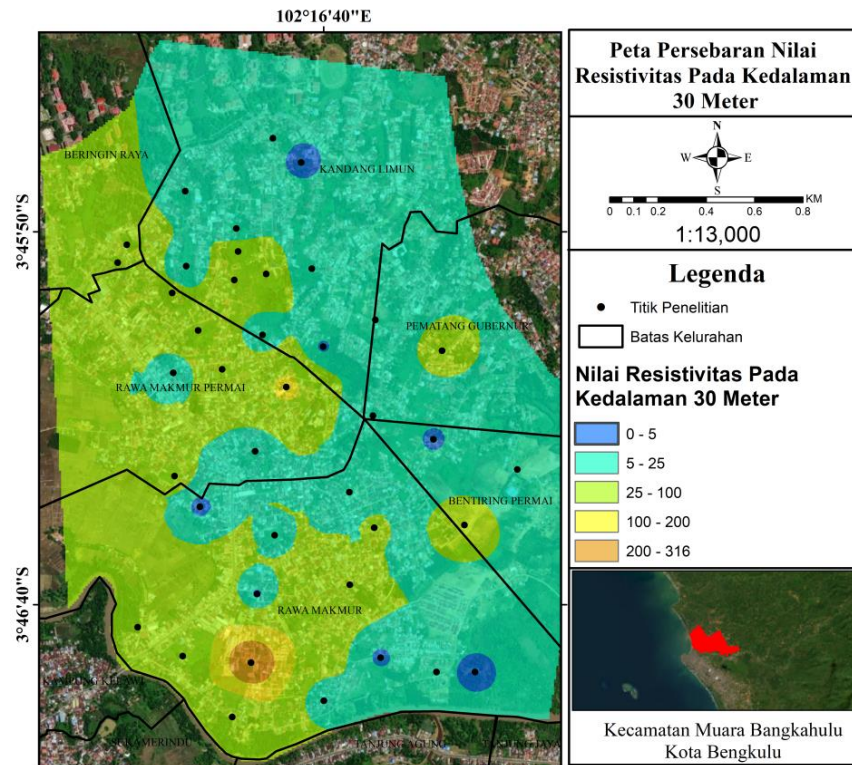
Sumber (Source): Analisis menggunakan voxler 4 (Analysis using voxler 4, 2022)

Daerah rawan banjir di kecamatan Muara Bangkahulu memiliki kedalaman akuifer dangkal diakibatkan topografi yang relatif rendah dan datar. Semakin dekat dengan sungai maka pada umumnya akuifer di daerah tersebut akan semakin dangkal seperti yang terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Gambar 6 menunjukkan

persebaran akuifer dangkal dengan kedalaman 2 m, sedangkan Gambar 7 menunjukkan nilai resistivitas batuan dengan kedalaman berkisar antara 5 m. Berdasarkan Gambar 6, 7, 8, 9, 10, dan 11 adalah peta persebaran nilai resistivitas lapisan pada kedalaman mulai dari 2 m, 5 m, 10 m, 15 m, 30 m, dan 40 m.

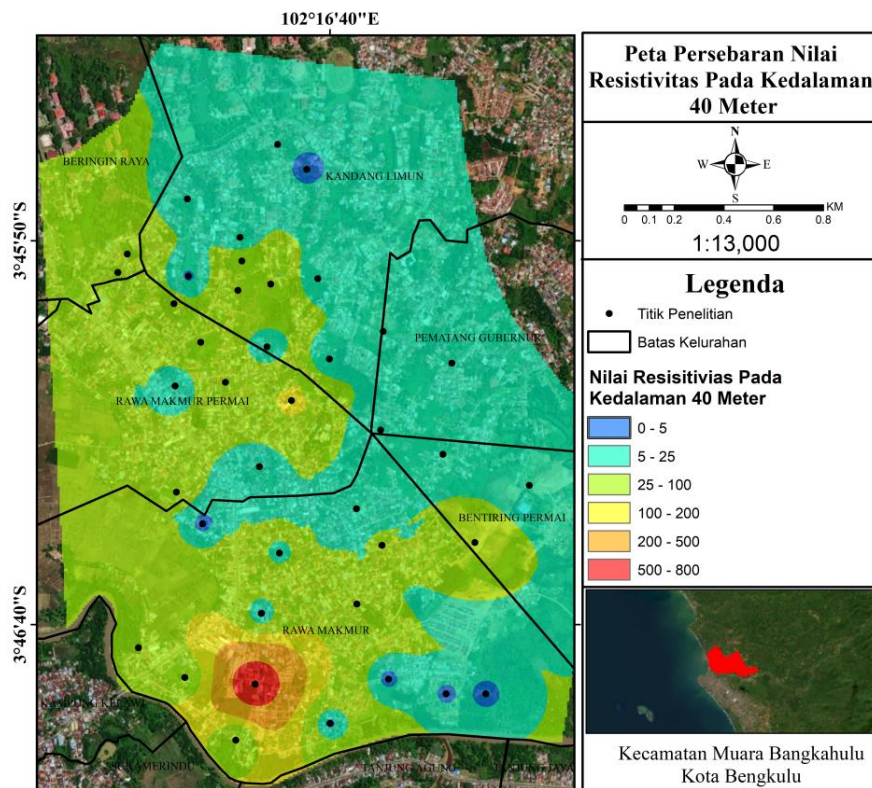






Gambar (Figure) 10. Peta persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 30 meter (The map of resistivity values distribution at a 30-meter depth)

Sumber (Source): Analisis nilai data 1D/log, 2022 (Data analysis1D/log, 2022)



Gambar (Figure) 11. Peta persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 40 meter (The map of resistivity values distribution at a 40-meter depth)

Sumber (Source): Analisis nilai data 1D/log, 2022 (Data analysis1D/log, 2022)

Berdasarkan persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 2 m pada Gambar 6, maka diketahui bahwa daerah bagian Selatan Kecamatan Muara Bangkahulu memiliki akuifer dangkal yang lebih luas yaitu pada Kelurahan Rawa Makmur dengan nilai resistivitas 0-25 Ω .m. Untuk nilai <5 Ω .m adalah intrusi dari air rawa dikarenakan berdasarkan hasil survei di lokasi, kecamatan Muara Bangkahulu banyak memiliki daerah rawa-rawa dan intrusi tersebut sangat dangkal sehingga tidak ada kemungkinan intrusi tersebut berasal dari laut.

Gambar 8 dan 9 merupakan persebaran nilai resistivitas dengan kedalaman 10 dan 15 m. Dari Gambar 8 dan 9 tersebut, persebaran nilai resistivitas hampir dipenuhi dengan nilai 0-25 Ω .m. Nilai tersebut diidentifikasi sebagai akuifer, termasuk di dalamnya untuk nilai <5 Ω .m merupakan intrusi air laut. Dengan kata lain, hampir seluruh daerah penelitian memiliki lapisan akuifer pada kedalaman 10-15 m. Pada Gambar 10 dan 11 juga tidak menunjukkan perbedaan yang jauh meskipun kedalaman yang dipetakan memiliki jarak 10 m. Gambar 10 merupakan persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 30 m, sedangkan Gambar 11 merupakan persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 40 m. Dari Gambar 10 dan 11 dapat diidentifikasi bahwa arah aliran akuifer mengalir dari utara ke selatan menuju aliran sungai.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini diketahui bahwa lapisan akuifer di Kecamatan Muara

Bangkahulu cukup dangkal berkisar antara 2-17 m yang pada umumnya merupakan akuifer bebas dengan nilai 0-25 Ω .m, termasuk di dalamnya adalah intrusi air rawa dan air laut yang bernilai <5 Ω .m. Akuifer di daerah Selatan lebih dangkal dengan kedalaman 2-5 m, sedangkan bagian Utara lebih dalam, yaitu 6-17 m. Secara geologi, bagian selatan memiliki aliran sungai yang besar dan banyak terdapat rawa-rawa serta topografi yang rendah. Dikarenakan hal tersebut, maka daerah bagian selatan yang memiliki kedalaman akuifer 2-5 m merupakan daerah rawan banjir, yang berada pada kelurahan Rawa Makmur, Rawa Makmur Permai, Bentiring Permai, dan di perbatasan antara Kandang Limun dengan Pematang Gubernur.

Penelitian lebih lanjut yang disarankan membahas tentang naiknya volume banjir di akibatkan rob (yaitu genangan pasang surut air laut) DAS Air Bengkulu di Kecamatan Muara Bangkahulu. Kenaikan volume banjir dikarenakan saat pasang serta bencana banjir terjadi secara bersamaan maka dapat mengakibatkan terjadinya penambahan volume air dan masuknya air laut ke aliran sugai sehingga bencana banjir dapat meluas daripada yang seharusnya dan mengakibatkan banjir sulit untuk menyusut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih terima kasih untuk teman-teman angkatan 2019 program studi geofisika telah yang telah membantu dan meluangkan waktu untuk pengambilan data untuk penelitian ini.

KONTRIBUSI

Penulis pertama dan kedua merencanakan tema penelitian, mengumpulkan dan mengolah data, menyusun draf awal, dan membuat peta. Penulis ketiga dan ke empat membantu mengumpulkan dan mengolah data, serta membantu dalam penulisan draf. Penulis korespondensi sebagai pembimbing penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. B. Al, Ilmiaty, R. S., & Marlina, A. (2020). Geoplanning Flood Hazard Mapping in Residential Area Using Hydrodynamic Model. *Geoplanning*, 7(1), 25–36. <https://doi.org/10.14710/geoplanning.7.1.25-36>
- Bachtiar, M. A., Yoseph, B., & Firmansyah, Y. (2022). Pendugaan Persebaran Akuifer Berdasarkan Data Geolistrik Resistivitas 1D dan 2D di Daerah Cicalengka dan Sekitarnya, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat. *Pajajaran Geoscience Journal*, 6(1), 657–664.
- BPS Kota Bengkulu. (2022). Kecamatan Muara Bangkahulu Dalam Angka 2022. In *BPS Kota Bengkulu*.
- BIG. (2022). Peta geologi dan desain titik penelitian kecamatan muara bangkahulu. *Badan Informasi Geospasial*, 1.
- George, N. J., Emah, J. B., & Ekong, U. N. (2015). Geohydrodynamic properties of hydrogeological units in parts of Niger Delta, southern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, 105, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.02.009>
- Haerudin, N., Rustadi, R., Fitriawan, H., Siska, D., & Farid, M. (2019). Earthquake Disaster Mitigation Mapping By Modeling of Land Layer and Site Effect Zone in The Kota Baru of South Lampung. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 8(1), 53–67. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v8i1.3705>
- Hanifa, D., Sota, I., & Siregar, S. S. (2016). Penentuan Lapisan Akuifer Air Tanah Dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Di Desa Sungai Jati Kecamatan Mataraman Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan. *Jurnal Fisika FLUX*, 13(1), 30–39.
- Juleha, Rismalinda, & Rahmi, A. (2016). Analisa Metode Intensitas Hujan Pada Stasiun Hujan Rokan IV Koto, Ujung Batu, Dan Tandun Mewakili Ketersediaan Air Di Sungai Rokan. *Jurnal Mahasiswa Teknik UPP*, 1(1), 1–8.
- Kazakis, N., Pavlou, A., Vargemezis, G., Voudouris, K. S., Soulios, G., Pliakas, F., & Tsokas, G. (2016). Seawater intrusion mapping using electrical resistivity tomography and hydrochemical data. An application in the coastal area of eastern Thermaikos Gulf, Greece. *Science of the Total Environment*, 543, 373–387. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.041>
- Kazakis, N., Vargemezis, G., & Voudouris, K. S. (2016). Estimation of hydraulic parameters in a complex porous aquifer system using geoelectrical methods. *Science of the Total Environment*, 550(1), 742–750. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.133>
- Kirsch, R. (2006). Groundwater geophysics: a tool for hydrogeology. In *Choice Reviews Online* (Vol. 44). <https://doi.org/10.5860/choice.44-1535>
- Manrulu, R. H., Esse, Hasmarita, Mulia, H. M., & Nurfalaq, A. (2021). Pembuatan

- Peta Litologi Sebagai Langkah Awal Penentuan Zona Akuifer Desa Cendana Kabupaten Luwu Timur. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 18, 9–17.
- Manrulu, R. H., Nurfalaq, A., & Hamid, I. D. (2018). Pendugaan Sebaran Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner dan Schlumberger di Kampus 2 Universitas Cokroaminoto Palopo. *Jurnal Fisika FLUX*, 15(1), 6. <https://doi.org/10.20527/flux.v15i1.4507>
- Mohammad, F., Mardiana, U., Yuniardi, Y., Firmansyah, Y., & Alfadli, M. K. (2016). Potensi Air tanah Berdasarkan Nilai Resistivitas Batuan di Kelurahan Cangkorah, Kecamatan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat. *Bulletin of Scientific Contribution*, 14(2), 141–152. Retrieved from <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc/article/view/9799>
- Phengnaone, K., Arjwech, R., & Everett, M. (2020). 2nd electrical resistivity tomography (Ert) method to delineate coal seams: Case studies on lignite and anthracite. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 42(4), 844–849.
- Sehah, Raharjo, S. A., & Aziz, A. N. (2018). Coastal Hydrogeological Model in the Iron Ore Prospect Area of Widarapayung Coastal, Cilacap Regency Based on 2D-Resistivity Data I. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya*, 8(2), 71–83.
- Simpem, I. N., Sutama, I. N. S., Redana, I. W., & Zulaikah, S. (2016). Aquifer Porosity Prediction Base on Resistivity Data and Water Conductivity. *International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research*, 2 (5).
- Suherianti, Mayub, A., & Farid, M. (2018). Potensi rawan banjir kecamatan muara bangkahulu sebagai penunjang pembelajaran materi pemanasan global di SMPN 11 Kota Bengkulu. *PENDIPA Journal of Science Education*, 2 (1), 93–99. <https://doi.org/10.33369/pendipa.2.1.93-99>
- Syafarini, H., Hendrayana, H., & Winardi, S. (2022). Assessment of Aquifer Systems for The Sustainable Development of Groundwater Use in The Batutua Groundwater Basin. *Earth and Environmental Science*, (1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1039/1/012003>
- Tama, S. K., & Supriyadi. (2015). Struktur Bawah Permukaan Tanah Di Kota Lama Semarang Menggunakan Metode Geolistrik Resistivity Konfigurasi Schlumberger. *Unnes Physics Journal*, 4(1), 26–33.
- Tio, F. M., Yunita, A., Bernaldi, R., & Sugianto, N. (2022). Soil Porosity Conditions in Flood-Prone Areas of the Prosperous Swamp of Bengkulu City Based on Geoelectrical Measurement. *Gravitasi*, 21(1), 1–4. <https://doi.org/10.22487/gravitasi.v21i1.15813>
- Todd, D. K., & W. Mays, L. (2004). Groundwater Hydrology. In *Dictionary Geotechnical Engineering/Wörterbuch GeoTechnik*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_72667
- Wahyuningtyas, A., & Pratomo, R. A. (2015). Identifikasi Potensi Multi-Bencana Kabupaten Landak Kalimantan Barat. *Geoplanning Journal*, 2 (1), 10–21.

Halaman ini sengaja dikosongkan