
POTENSI GENANGAN BANJIR BERDASARKAN NILAI POROSITAS DAN RESISTIVITAS BATUAN DI KECAMATAN MUARA BANGKAHULU, KOTA BENGKULU

Geri Budianto¹, Jesika Erni Efrita Sinaga², Vinki Lovely Pritama³, Suhendra*, Halauddin

Program Studi Geofisika, Universitas Bengkulu, Jl. W.R. Supratman, Kota Bengkulu

* *Corresponding author. E-mail: suhendra@unib.ac.id (Suhendra),*

No. hp/WA: +62-852-7938-5128

ABSTRAK

Lokasi penelitian adalah di Kecamatan Muara Bangkahulu yang merupakan daerah rawan bencana banjir. Penelitian ini mengidentifikasi persebaran Akuifer, porositas batuan, dan kondisi geologi untuk melihat daerah yang terdampak genangan banjir bencana banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dengan metode Vertical Electrical Sounding (VES) menggunakan konfigurasi Schlumberger di 40 titik penelitian. Akuisisi data lapangan menggunakan alat Geolistrik IP Meter MAE X612-EM, data yang diperoleh kemudian diproses menggunakan software Progress 3.0 lalu didapatkan penampang Resistivity Log 1D. Setelah itu dilakukan pemodelan 3D menggunakan software Voxler 4 untuk mendapatkan gambaran persebaran Akuifer, dan porositas batuan, struktur bawah permukaan secara perlapisan. Hasil model 3D kemudian di petakan berdasarkan kedalaman akuifer 2–3 m menggunakan software ArcGis 10.8 untuk melihat daerah genangan banjir. Hasil interpretasi diketahui bahwa lapisan akuifer di Kecamatan Muara Bangkahulu memiliki komposisi antara pasir dan kerikil yang memiliki nilai resistivitas 0–25 Ω .m dan porositas batuan 5–65%. daerah rawan banjir memiliki Akuifer dengan kedalaman 2–3 m yang berada pada kelurahan Rawa Makmur, Rawamakmur Permai, Bentiring Permai dan di perbatasan antara Kandang Limun dengan Pematang Gubernur dengan luas daerah genangan banjir 84,99 Ha.

Kata Kunci : *Banjir; Resistivits; Porositas Batuan; Kecamatan Muara Bangkahulu*



ABSTRACT

Research has been conducted in Muara Bangkahulu District which is a flood-prone area. This study identifies the distribution of aquifers, rock porosity, and geological conditions to see areas affected by flood inundation in Muara Bangkahulu District with the Vertical Electrical Sounding (VES) method using the Schlumberger configuration at 40 research points. Field data acquisition using the IP Meter MAE X612-EM Geoelectric tool, the data obtained was then processed using Progress 3.0 software and then obtained a 1D Resistivity Log cross section, after which 3D modeling was carried out using Voxler 4 software to get an overview of the distribution of aquifers, and rock porosity, subsurface structure in layers. the results of the 3D model are then mapped based on 2-3 m aquifer depth using ArcGis 10.8 software to see the flood inundation area. The interpretation results show that the aquifer layer in Muara Bangkahulu Subdistrict has a composition between sand and gravel which has a resistivity value of 0-25 Ω .m and rock porosity of 5-65%. flood-prone areas have aquifers with a depth of 2-3 m located in the sub-districts of Rawa Makmur, Rawamakmur Permai, Bentiring Permai and on the border between Kandang Limun and Pematang Gubernur with a flood inundation area of 84.99 Ha.

Keywords : Flood, Resistivity, Rock Porosity, Muara Bangkahulu Sub-district

1. Pendahuluan

Kecamatan Muara Bangkahulu berada pada di utara Kota Bengkulu, berbatasan langsung dengan Kabupaten Bengkulu Tengah. Kecamatan Muara Bangkahulu terdapat dua aliran sungai, yaitu Sungai Air Bengkulu dan Sungai Air Hitam. Sungai Air Bengkulu berada di antara Kecamatan Muara Bangkahulu dan Kecamatan Sungai Serut di bagian Selatan. Sedangkan Sungai Air Hitam berada di perbatasan sebelah utara Kecamatan Muara Bangkahulu dengan Kabupaten Bengkulu Tengah [1]. Karena kondisi geologis ini, Kecamatan Muara Bangkahulu merupakan daerah yang rawan banjir. Daerah yang sering dilanda banjir adalah sebagian wilayah Desa Rawa Makmur, Rawa Makmur Permai, dan Beringin Raya Karena kondisi geologis ini, Kecamatan Muara Bangkahulu merupakan daerah yang rawan banjir [2].

1.1 Banjir

Bencana banjir menimbulkan banyak kerugian, seperti kerugian materi dan sebagainya [3]. Sungai-sungai di dataran aluvial biasanya meluap beberapa kali

dalam setahun, menyebabkan banjir. Ini adalah fitur umum dan penting bagi sungai untuk menampung air yang mengalir di luar daya dukungnya selama badai besar di dataran banjirnya [4]. Daerah hilir DAS memiliki potensi banjir genangan karena kapasitas infiltrasi yang buruk, lereng yang landai, nilai kurva limpasan tinggi, dan tingkat kebasahan yang tinggi [5]. Intensitas dan durasi pola curah hujan merupakan faktor penting dalam kedalaman dan luasnya genangan banjir, terutama di daerah perkotaan [6].

1.2 Geolistrik

Salah satu metode yang dapat menentukan kedalaman akuifer dan porositas batuan adalah metode Geolistrik resistivitas, yang bertujuan untuk menginterpretasikan sistem dan sebaran akuifer serta besar kecilnya porositas batuan di bawah permukaan yang akan diteliti. Nilai resistivitas pada setiap mineral tertentu akan berbeda-beda disebabkan factor seperti kadar air[7].

2. Bahan dan Metode

2.1. Resistivitas

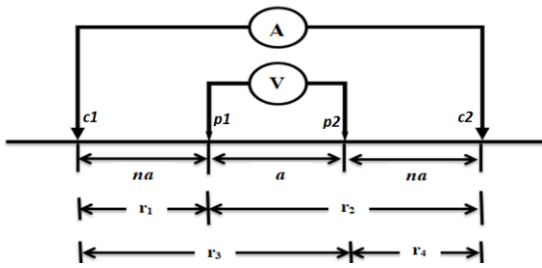
Metode Geolistrik resistivitas adalah metode geofisika yang digunakan untuk mengetahui beda potensial batuan pada batuan. Lapisan bawah permukaan bumi memberikan respon yang berbeda, yaitu nilai resistivitas, jika di injeksikan arus listrik [8].

Metode resistivitas memanfaatkan sifat beda potensial batuan untuk mempelajari struktur bawah permukaan[9]. Resistivitas adalah parameter untuk mengkarakterisasi kondisi fisik bawah permukaan terkait material, kondisi bawah permukaan, dan kondisi geologi [10,11]. Metode geolistrik juga dapat menentukan kedalaman akuifer, degradasi kualitas air akibat intrusi air laut, porositas, dan konduktivitas hidrolis [12] di karenakan kadar air pada batuan merupakan resistor yang dapat digunakan mempelajari kondisi bawah permukaan[13]. Nilai resistivitas setiap batuan bergantung pada material, porositas, dan kepadatannya [14].

Table 1. Nilai Resistivitas [15]

Jenis mineral	Resistivitas ($\Omega.m$)
Air	1-100
Air payau/air rawa	0,3-5
Lempung	1-100
Bedrock	300-900
Kerikil pasif	100-150
Pasir	1-600
Alluvium	40-400
Kerikil	100-600

Banyak konfigurasi pengukuran yang dapat digunakan sesuai dengan tujuan penelitian dalam metode resistivitas. Pada penelitian ini, konfigurasi yang digunakan yaitu Konfigurasi Schlumberger karena merupakan konfigurasi yang cocok untuk mengetahui jenis lapisan batuan bawah permukaan, mengetahui keberadaan dan ketebalan lapisan batuan tersebut. Susunan elektroda dan prinsip pada konfigurasi Schlumberger dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi Schlumberger [16,17].

Pada Gambar 1, elektroda c1 dan c2 akan mengalirkan arus sementara nilai beda potensial akan diukur dari p1 dan p2. Prinsip dari konfigurasi ini adalah jarak antara elektroda potensial c1 dan c2 tetap sedangkan jarak p1 dan p2 berubah. Ketika jarak p1 dan p2 berubah pada jarak yang signifikan, elektroda c1 dan c2 juga berubah tidak lebih signifikan dari 1/5 jarak p1 dan p2. Untuk menghitung nilai resistivitas, Anda dapat menggunakan persamaan berikut [15].

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

Keterangan:

- ρ = Resistivitas ($\Omega.m$)
- K = Faktor Geometri (m)
- ΔV = Beda Potensial (Volt)
- I = Arus Listrik (Ampere)

$$K = \pi \frac{\left[\left(\frac{AB}{2}\right)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2\right]}{2\left(\frac{MN}{2}\right)^2} \quad (2)$$

Keterangan:

- ρ = Nilai Resistivitas ($\Omega.m$)
- K = Factor Geometri
- V = Tegangan (mV)
- I = Arus (mV)
- AB = Jarak Elektroda Arus (m)
- MN = Jarak Elektroda (m)

Kepadatan batuan meningkat seiring dengan menurunnya porositas dan sebaliknya. Tabel di bawah ini menunjukkan kelas porositas batu [15].

2.2. Porositas

Porositas batuan sangat mempengaruhi nilai resistivitas batuan karena porositas batuan memainkan peran penting dalam aliran fluida, memberikan informasi tentang tingkat permeabilitas batuan yang sangat baik dan tidak baik [18].

Porositas batuan mempengaruhi nilai resistivitas dan juga ukurannya. Tekstur batuan yang berbeda, khususnya perbandingan ukuran partikel relatif dalam batuan, menyebabkan perbedaan

porositas. Jumlah butiran pasir, lumpur, dan lempung digunakan untuk mengkategorikan berbagai jenis tekstur batuan. Batuan lempung dapat menahan air karena kepadatan pori-pori, dan ukuran butiran halus yang disebut lapisan kedap air.

Porositas merupakan perbandingan volume total dengan volume pori batuan, dinyatakan dalam persen (%). Tingkat kepadatan batuan berkaitan erat dengan porositas. Kepadatan batuan meningkat dengan menurunnya porositas dan sebaliknya. Tabel di bawah ini menampilkan kelas porositas tanah [19].

Table 2. Nilai porositas [20]

No	Porositas (%)	Kualitas
1	0 – 5	Sangat Buruk
2	5 – 10	Buruk
3	10 – 15	Sedang
4	15 – 20	Baik
5	20 – 25	Baik Sekali
6	>25	Istimewa

Besarnya tahanan batuan dapat dipengaruhi oleh porositas batuan.

Perkiraan porositas dibuat dengan menggunakan Persamaan Hukum Archie 2. Rumus Archie menggunakan nilai konstanta dan koefisien semen yang disarankan karena litologi batuan diketahui [15].

$$P^f = \alpha \phi^m S^{-2} \rho_w \rho_f^1 \quad (3)$$

Berikut ini adalah bagaimana Persamaan 2 dapat digunakan untuk menentukan nilai porositas:

$$\phi^m = \alpha S^{-2} \rho_w \rho_f^1 \quad (4)$$

Keterangan:

ρ_f = Resistivitas Batuan ($\Omega.m$)

ρ_w = Resistivitas Air ($\Omega.m$)

α = Tortuosity

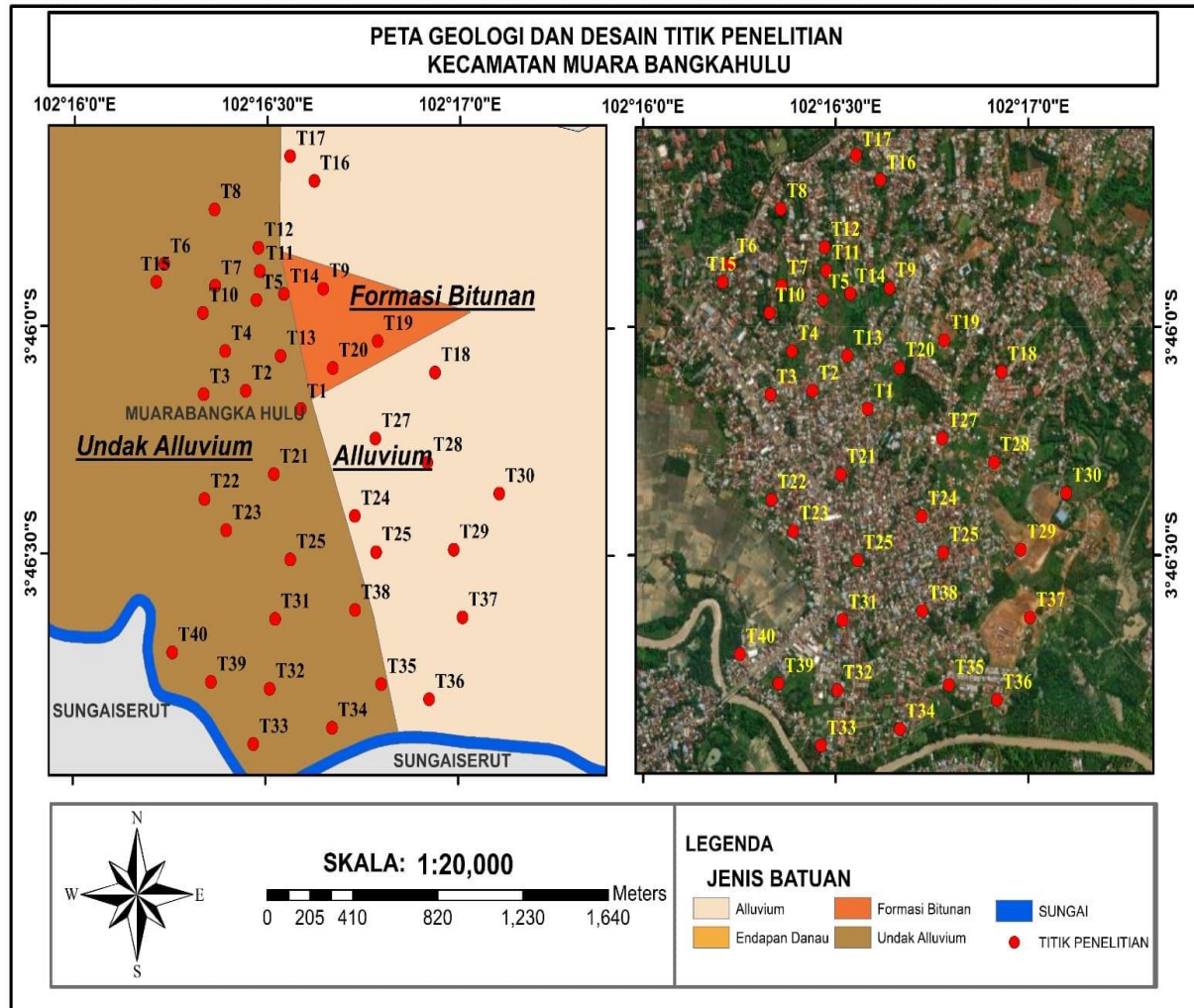
m = Faktor Sementasi

ϕ = Porositas (%)

S = Saturasi

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian dilakukan di Kecamatan Muara Bangkahulu, sebanyak 40 titik pengukuran Vertical Electrical Sounding yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Geologi dan Titik Penelitian

Kota Bengkulu memiliki enam jenis formasi geologi: Alluvium, endapan rawa, teras Alluvium, andesit, dan formasi bitumen [21]. Alluvium terdiri dari lempung lepas, lanau, lempung, pasir, kerakal dan kerikil yang diendapkan di dasar aliran sungai. Formasi Bintunan terdiri dari konglomerat berbagai material, breksi, batugamping terumbu, batulempung tufaan, batu apung, dan kayu

yang tererosi. Formasi Bintunan terdapat di bagian bagian timur Kecamatan Muara Bangkahulu. dan selatan Kecamatan Selebar. Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian adalah satu set alat Geolistrik I.P. Meter MAE X612-EM, dua buah elektroda potensial, dua buah elektroda arus, dua buah kabel penghubung, empat gulung kabel resistivitas, dua buah meteran, satu buah



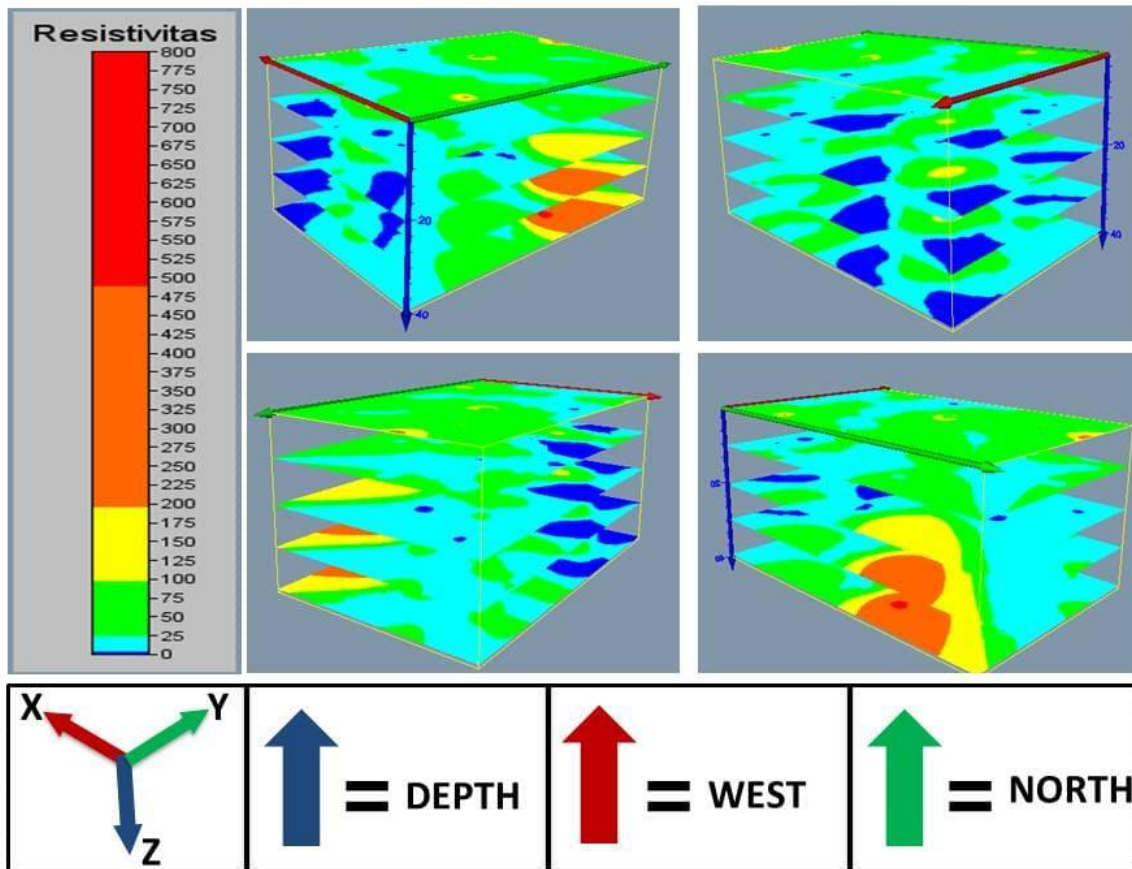
Accumeter, satu buah Global Positioning System (GPS), Perangkat Lunak Progress 3.0, Perangkat Lunak Voxler 4, ArcGIS 10.8, dan laptop.

Tahapan dari penelitian ini adalah survei lapangan, meliputi perencanaan titik penelitian dan panjang lintasan. Setelah survei lapangan, proses akuisisi data VES dilakukan di lokasi yang telah direncanakan dengan menggunakan konfigurasi Schlumberger di 40 titik dengan total panjang 60 m untuk kedalaman sampai dengan 40 m. Akuisisi data (pengambilan data) dilakukan dengan menggunakan metode Geolistrik Vertical Electrical Sounding (VES) di daerah Muara Bangkahulu hingga 40 titik VES. Data yang diperoleh terlebih dahulu diolah dengan perangkat lunak Progress 3.0. Untuk mencocokkan model dengan model sebenarnya, dilakukan inversi model dengan nilai RMS (mean root square) <5%, sehingga dihasilkan penampang 1D berupa log resistivitas pada kedalaman 40 meter dengan nilai resistivitas total 0-800 Ω .m. Nilai resistivitas struktur pada penampang Log

Resistivitas 1D kemudian diklasifikasikan berdasarkan Tabel 1 yang menunjukkan jenis lapisan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas sebenarnya. Berdasarkan klasifikasi tersebut, lapisan bawah permukaan di Kecamatan Muara Bangkahulu terdiri dari air tanah, Alluvium, lempung, kerikil, pasir, dan batupasir.

3.1. Hasil Model Resistivitas Batuan

Data VES hasil akuisisi lapangan yang diperoleh terlebih dahulu diolah menggunakan Software Progress 3.0. Inverse Modeling dilakukan untuk mendapatkan kecocokan model dengan model sebenarnya dengan nilai Root Mean Square (RMS) <5%, yang menghasilkan penampang 1D berupa Log Resistivitas dengan kedalaman 40 m dan nilai Resistivitas berkisar antara 0-800 Ω .m secara keseluruhan. Berdasarkan hasil akuisisi data lapangan VES, konfigurasi Schlumberger menunjukkan bahwa setiap titik akuisisi data memiliki kedalaman akuifer yang berbeda



Gambar 3. Model 3D lapisan batuan berdasarkan nilai resistivitas

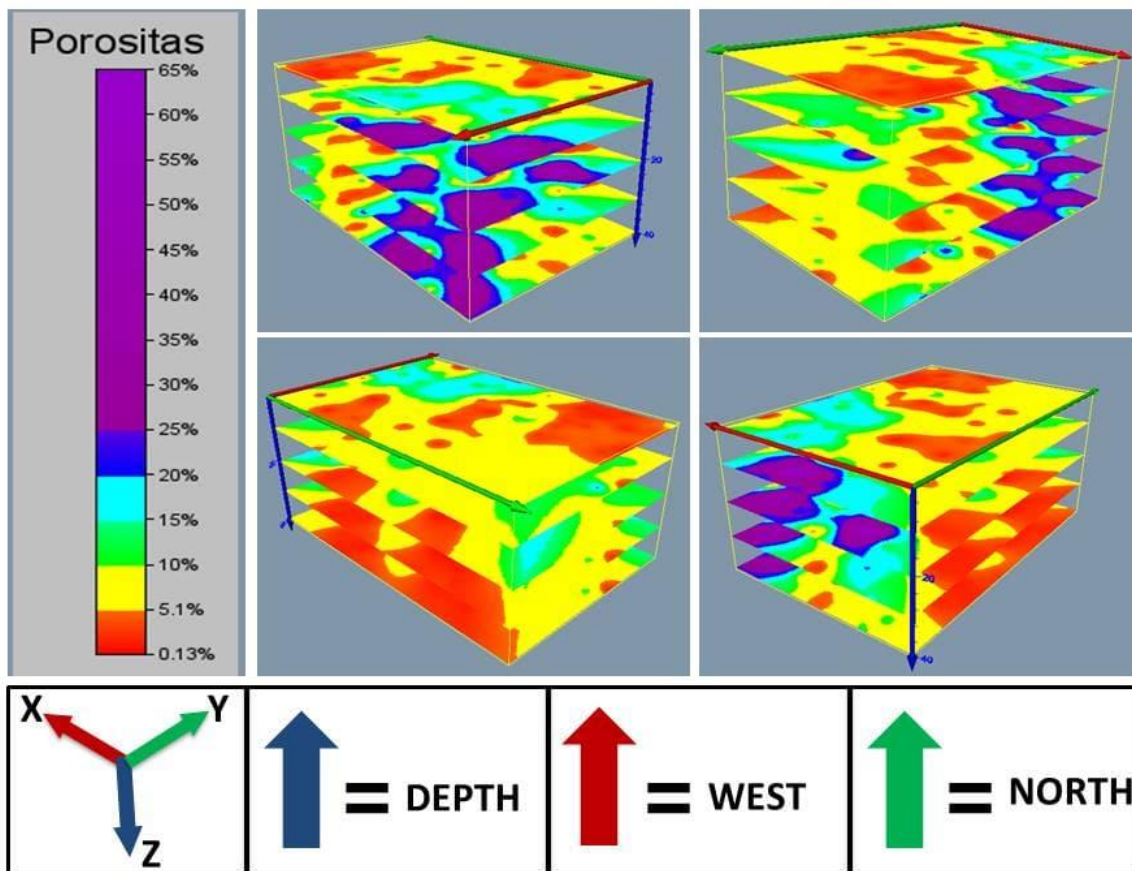
Gambar 3 menunjukkan model 3D dari area yang diukur, berdasarkan nilai resistivitas 0-800 $\Omega.m$, dan dapat dilihat bahwa nilai air atau akuifer berkisar antara 0-25 $\Omega.m$ yang berwarna biru, area yang berwarna hijau merupakan lempung yang bernilai 25-100 $\Omega.m$, batu pasir dan kerikil berpasir yang berwarna kuning bernilai 100-300 $\Omega.m$ serta batuan dasar yang bernilai 300-800 $\Omega.m$ yang berwarna merah hingga merah tua.

Sebaran lapisan akuifer memiliki kedalaman yang bervariasi, semakin ke arah selatan kedalaman akuifer semakin dangkal dan terdapat aliran sungai dan rawa-rawa. Berdasarkan model dan kondisi geologi, akuifer bersifat bebas dan terdapat pada kedalaman 2-17m, lapisan akuifer memiliki nilai tahanan jenis 0-5 $\Omega.m$ dengan warna biru tua yang diduga terisi oleh air payau, yaitu intrusi air laut atau air rawa. Kedalaman akuifer di bagian selatan lebih dangkal

dibandingkan dengan lapisan di bagian utara yang memiliki rata-rata kedalaman akuifer 2-3m, dan semakin ke utara kedalaman akuifer semakin dalam mulai dari 5-17m, hal ini dipengaruhi oleh kondisi geologi dan topografi daerah setempat yang cenderung lebih rendah di bagian selatan dan dekat dengan daerah aliran sungai Air Bengkulu.

3.2. Hasil Model Resistivitas Batuan

Dari data log VES yang telah diketahui nilai resistivitas batuanya, dilakukan perhitungan untuk mencari nilai porositas pada setiap titik penelitian. Nilai porositas batuan yang telah didapatkan kemudian diolah dengan software Voxler 4, dan dihasilkan model 3D porositas lapisan



Gambar 4. Model 3D lapisan batuan berdasarkan nilai porositas batuan

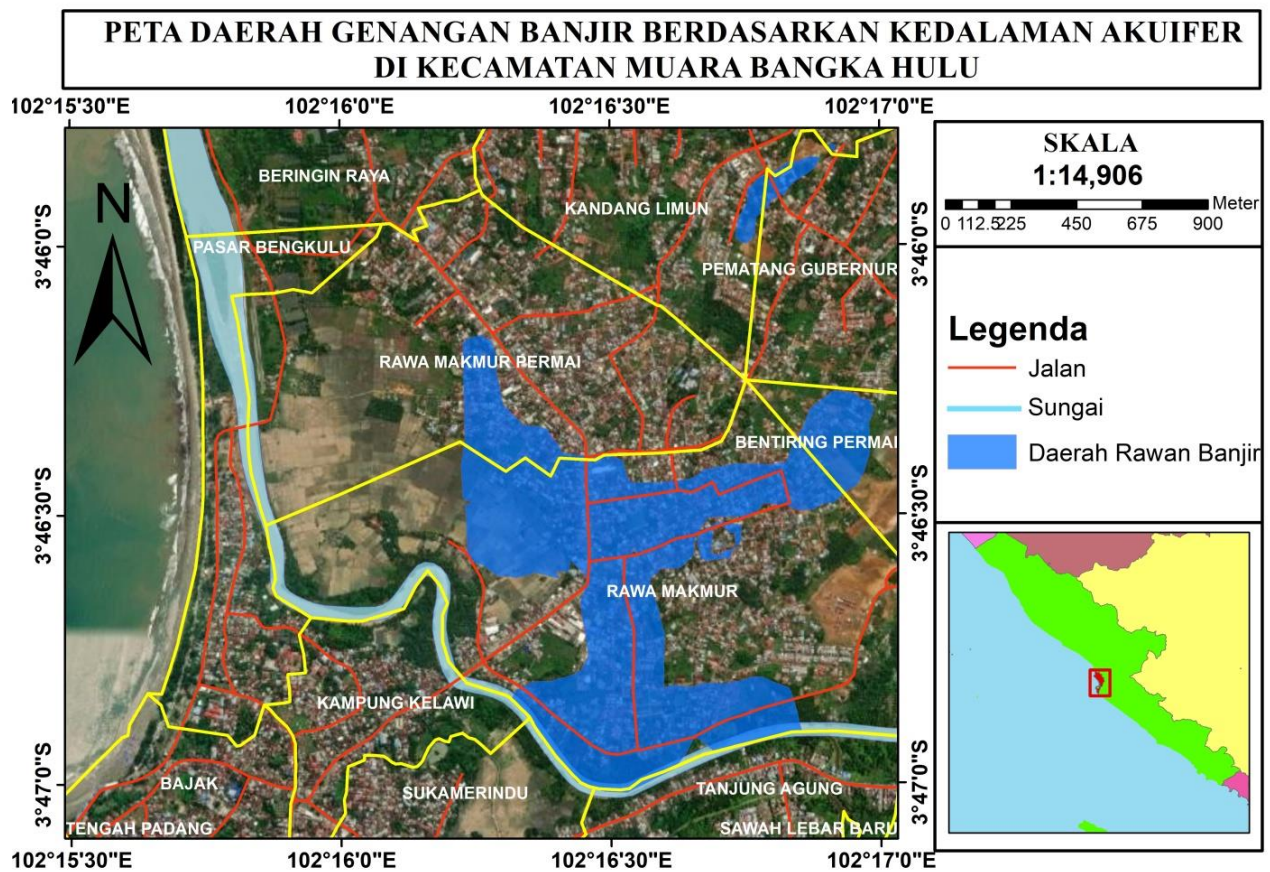
Pada umumnya daerah dengan porositas batuan yang rendah memiliki potensi banjir yang lebih tinggi karena daya serap (infiltrasi) yang kurang baik,

sehingga terjadi genangan air di permukaan dan menyebabkan banjir. Pada kasus banjir yang sering terjadi di daerah Muara Bangkahilu, terdapat beberapa

daerah genangan banjir memiliki porositas yang sesuai bahkan sangat baik. Daerah yang memiliki porositas yang baik merupakan daerah rawa, dekat sungai, memiliki topografi yang rendah dan akuifer yang dangkal. Dikarenakan faktor tersebut sehingga pada saat hujan deras terjadi, batuan pada daerah tersebut

mudah jenuh (kondisi jenuh air) sehingga daerah tersebut mengalami banjir.

Area dengan porositas batuan berkisar antara 10-65% berwarna hijau hingga ungu adalah area yang tergenang air karena batuan yang jenuh, topografi yang rendah, lapisan akuifer yang dangkal, dan dekat dengan daerah aliran sungai.



Gambar 5. Dataran genangan banjir berdasarkan kedalaman akuifer 2-3 meter

Gambar 5 menunjukkan bahwa Kecamatan Muara Bangkahulu bagian selatan yaitu Kelurahan Rawa Makmur, Rawa Makmur Permai, dan Bentiring Permai merupakan daerah genangan banjir yang memiliki luas 84,99 Ha. Kelurahan yang paling banyak terdampak adalah Kelurahan Rawa Makmur karena Kelurahan Rawa Makmur memiliki topografi yang lebih rendah dibandingkan daerah sekitarnya, terdapat aliran sungai Air Bengkulu, dan memiliki akuifer yang dangkal berkisar antara 2-3 m dengan nilai resistivitas 0-25 Ω .m, porositas batuan berkisar antara 10-65% dalam keadaan jenuh air, dan terdapat beberapa daerah yang tergenang air dengan nilai porositas 5-10% sehingga pada saat hujan turun, daerah tersebut mudah jenuh air atau kondisi jenuh air, yaitu kemampuan batuan pada daerah tersebut tidak dapat menampung volume air hujan karena akuifer yang dangkal sehingga daerah tersebut sangat rentan terhadap banjir.

4. Simpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lapisan akuifer di wilayah Kecamatan Muara Bangkahulu relatif dangkal, berkisar antara 2-17 m, merupakan akuifer

bebas dengan nilai tahanan jenis 0-25 Ω .m dan memiliki porositas batuan yang bervariasi antara 0,13-65%. Akuifer di bagian selatan lebih dangkal, dengan kedalaman 2m-3m dan porositas batuan 5-65%. Sebagai perbandingan, bagian utara lebih dalam, dengan kedalaman 5-17 m dan porositas batuan 0,13-20%. Zona banjir terdapat di Rawa Makmur, Rawa Makmur Permai, Bentiring Permai, dan perbatasan antara Kandang Limun dan Pematang. Semakin tinggi porositas batuan, maka semakin rendah resistivitas batuan tersebut. Selain daerah selatan memiliki akuifer yang dangkal, secara geologi, daerah selatan berbatasan dengan sungai besar yang banyak terdapat rawa-rawa dan topografi yang rendah. Karena hal tersebut, daerah selatan yang memiliki kedalaman akuifer yang dangkal dan memiliki porositas batuan yang sudah jenuh yaitu pori-pori batuan sudah terisi fluida, sehingga merupakan daerah genangan banjir. Daerah genangan banjir tersebut berada di Kelurahan Rawa Makmur, Rawa Makmur Permai, Bentiring Permai, dan perbatasan antara Kelurahan Kandang Limun dan Pematang.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih untuk semua orang yang terlibat dan teman-teman dari prodi Geofisika yang telah membantu serta meluangkan waktu dan tenaga untuk membantu dalam penelitian ini.

5. Referensi

1. BPS Kota Bengkulu, *Kecamatan Muara Bangkahulu Dalam Angka 2022*. 2022.
2. Suherianti, A. Mayub, and M. Farid, "Potensi rawan banjir kecamatan muara bangkahulu sebagai penunjang pembelajaran materi pemanasan global di SMPN 11 Kota Bengkulu," *PENDIPA J. Sci. Educ.*, vol. 2, no. 1, pp. 93–99, 2018, doi: 10.33369/pendipa.2.1.93-99.
3. N. Zalmita, "Tingkat Kerugian Ekonomi Pada Bencana Banjir Di Aceh Utara Tahun 2014-2019," *J. Geogr.*, vol. XIX, pp. 61–68, 2021.
4. P. Roy and S. K. De, "A Comparative Approach To Flood Frequency Analysis Of The Puthimari River In Assam, India," *SpringerReference*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, 2011, doi: 10.1007/springerreference_30345.
5. C. Azizah, H. Pawitan, Nuraida, H. Satriawan, and R. Abbas, "Karakteristik Hidrologi Dan Dampaknya Terhadap Banjir Daerah Aliran Sungai Jambo Aye Di Aceh Indonesia," *J. Penilitin Pengelolaan Drh. Aliran Sungai*, vol. 26, no. 2, pp. 173–180, 2021, [Online]. Available: <http://www.ufrgs.br/actavet/31-1/artigo552.pdf>
6. P. Luo *et al.*, "Flood inundation assessment for the Hanoi Central Area, Vietnam under historical and extreme rainfall conditions," *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2018, doi: 10.1038/s41598-018-30024-5.
7. G. Adelita, A. R. Ferahenki, M. Iryanti, and A. Aminudin, "Analisis Nilai Resistivitas Tanah Perkebunan Berdasarkan Variasi Kadar Air," *Wahana Fis.*, vol. 5, no. 1, p. 6, 2020.
8. M. A. Bachtiar, B. Y. C.S.S.S.A, and Y. Firmansyah, "Pendugaan Persebaran Akuifer Berdasarkan Data Geolistrik Resistivitas 1d Dan 2d Di Daerah Cicalengka Dan Sekitarnya, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat," *Pajajaran Geoscince J.*, vol. 6, no. 1, pp. 657–664, 2022.
9. C. P. Asmoro, H. Susanti, and N. D.

- Ardi, “Rekontruksi Set Alat Praktikum Geolistrik pada Matakuliah Eksplorasi Geofisika di Departemen Pendidikan Fisika Universitas Pendidikan Indonesia,” *Wahan Fis.*, vol. 5, no. 1, p. 11, 2020.
10. D. Hanifa, I. Sota, and S. S. Siregar, “Penentuan Lapisan Akuifer Air Tanah Dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Di Desa Sungai Jati Kecamatan Mataraman Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan,” *J. Fis. FLUX*, vol. 13, no. 1, pp. 30–39, 2016.
11. Asmoro, C. P., & Susanti, H. (2020). Analysis of Do-it-Yourself (DIY) Electrode for Soil Resistivity Measurement Practical of Geology and Geophysics Subject at Earth and Outerspace Laboratory. *Jurnal Temapela*, 3(1), 10-18.
12. N. Kazakis, G. Vargemezis, and K. S. Voudouris, “Estimation of hydraulic parameters in a complex porous aquifer system using geoelectrical methods,” *Sci. Total Environ.*, vol. 550, no. 1, pp. 742–750, 2016, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.133.
13. E. N. Aildasari, Supriyadi, T. N. Fitrianto, and Yohanes Brahmo, “Identifikasi Keberadaan Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistifivitas Sehlumberger di Kecamatan Buayan, Kabupaten Kebumen, Jawa tengah,” *Wahana Fis.*, vol. 7, no. 2, pp. 116–126, 2022.
14. B. Buwana, N. Priyantari, and S. Supriyadi, “Identification of Aquifer in the MIPA Faculty - University of Jember Using 1D Geoelectrical Resistivity Method with Schlumberger Array,” *J. ILMU DASAR*, vol. 21, no. 2, p. 123, 2020, doi: 10.19184/jid.v21i2.13159.
15. W. M. Telford, L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, *Applied geophysics*, Second edi., vol. 127, no. 3212. 1990. doi: 10.1038/127783a0.
16. D. K. Todd and L. W. Mays, “Groundwater hydrology. 2nd edition,” *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 18, no. 5. p. 92, 1981. doi: 10.1016/0148-9062(81)90111-x.
17. Ardi, N. D., Iryanti, M., Asmoro, C. P., Yusuf, A., Sundana, A. N. A., Safura, H. Y., ... & Afrianti, R. (2018, May). Geoelectric imaging for saline water intrusion in Geopark zone of



- Ciletuh Bay, Indonesia. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1013, No. 1, p. 012185). IOP Publishing.
18. N. J. George, J. B. Emah, and U. N. Ekong, “Geohydrodynamic properties of hydrogeological units in parts of Niger Delta, southern Nigeria,” *J. African Earth Sci.*, vol. 105, pp. 55–63, 2015, doi: 10.1016/j.jafrearsci.2015.02.009.
19. F. M. Tio, A. Yunita, R. Bernaldi, and N. Sugianto, “Soil Porosity Conditions in Flood-Prone Areas of the Prosperous Swamp of Bengkulu City Based on Geoelectrical Measurement,” *Gravitasi*, vol. 21, no. 1, pp. 1–4, 2022, doi: 10.22487/gravitasi.v21i1.15813.
20. M. I. Nurwidyanto, I. Noviyanti, and S. Widodo, “Estimasi Hubungan Porositas Dan Permeabilitas Pada Batupasir (Study Kasus Formasi Kerek , Ledok , Selorejo),” *Berk. Fis.*, vol. 8, no. 3, pp. 87–90, 2005.
21. N. Sugianto, M. Farid, and Suhendra, “Kondisi Geologi Lokal Kota Bengkulu Berdasarkan Ground Shear Strain (Gss),” *Spektra J. Fis. dan Apl.*, vol. 2, no. 1, pp. 29–36, 2017, doi: 10.21009/spektra.021.05.