

Pendugaan potensi cadangan volume akuifer air tanah di daerah Sragen bagian timur

Darsono^{1*}, Sorja Koesuma¹, Budi Legowo¹, Ahmad Marzuki¹, Nuryani¹, Gatot Yuliyanto²

¹Departemen fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta

²Departemen Fisika, FMS, Universitas Diponegoro, Semarang

*email: darsono70@staff.uns.ac.id

Abstrak – Kebutuhan air tanah di wilayah timur Kabupaten Sragen meningkat seiring perkembangan pertanian dan permukiman, sehingga diperlukan kajian potensi cadangan air tanah yang akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik akuifer dan mengestimasi volume cadangan airtanah secara kuantitatif. Metode yang digunakan adalah geolistrik tahanan jenis konfigurasi Schlumberger yang dikombinasikan dengan pendekatan hidrogeologi. Data resistivitas diinterpretasikan untuk menentukan kedalaman, ketebalan, dan distribusi akuifer, kemudian dimodelkan secara tiga dimensi untuk estimasi volume. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan bawah permukaan terdiri atas topsoil, lempung, lempung pasir, pasir kerikilan, dan breksi, dengan zona akuifer utama berada pada lapisan pasir dan pasir kerikilan. Akuifer bebas teridentifikasi pada kedalaman 0,59–47,8 m dengan ketebalan 4,42–31,36 m, sedangkan akuifer tertekan berada pada kedalaman 20–133 m dengan ketebalan 33–93,7 m. Pemodelan tiga dimensi menunjukkan bahwa potensi airtanah terbesar terdapat pada lapisan pasir dan pasir kerikilan dengan volume masing-masing sebesar $8,735 \times 10^6 \text{ m}^3$ dan $5,435 \times 10^6 \text{ m}^3$. Hasil estimasi menunjukkan bahwa cadangan airtanah di wilayah penelitian tergolong sedang hingga tinggi. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi metode geofisika dengan pendekatan kuantitatif berbasis pemodelan tiga dimensi dalam estimasi volume akuifer sebagai dasar pengelolaan airtanah berkelanjutan..

Kata Kunci: Airtanah, geolistrik resistivitas, Schlumberger, akuifer, pemodelan 3D.

Abstract – The increasing demand for groundwater in the eastern region of Sragen Regency, driven by agricultural and residential development, necessitates an accurate assessment of groundwater reserves. This study aims to identify aquifer characteristics and estimate groundwater reserve volumes quantitatively. The method employed is electrical resistivity surveying using the Schlumberger configuration, combined with a hydrogeological approach. Resistivity data were interpreted to determine aquifer depth, thickness, and spatial distribution, followed by three-dimensional modeling for volume estimation. The results indicate that subsurface layers consist of topsoil, clay, sandy clay, sand, gravelly sand, and breccia, with the main aquifer zones associated with sand and gravelly sand layers. Unconfined aquifers were identified at depths of 0.59–47.8 m with thicknesses ranging from 4.42 to 31.36 m, while confined aquifers occur at depths of 20–133 m with thicknesses of 33–93.7 m. The 3D modeling results show that the largest groundwater potential is found in sand and gravelly sand layers, with estimated volumes of $8.735 \times 10^6 \text{ m}^3$ and $5.435 \times 10^6 \text{ m}^3$, respectively. The estimated groundwater reserves are classified as moderate to high. The novelty of this study lies in the integration of geophysical methods and quantitative approaches based on 3D modeling for aquifer volume estimation, providing a basis for sustainable groundwater management.

Key words: Groundwater, resistivity method, Schlumberger configuration, aquifer, 3D modeling.

PENDAHULUAN

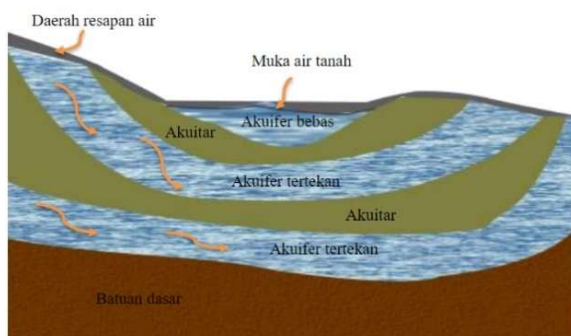
Air tanah merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan domestik, pertanian, industri, serta mendukung pembangunan berkelanjutan. Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan meningkatnya aktivitas ekonomi, ketergantungan terhadap airtanah semakin tinggi, terutama pada wilayah yang memiliki keterbatasan sumber air permukaan atau distribusi curah hujan yang tidak merata [1], [2]. Pemanfaatan airtanah yang tidak terkelola

dengan baik dapat menimbulkan berbagai permasalahan, seperti penurunan muka airtanah, intrusi air laut, serta degradasi kualitas air [3]. Oleh karena itu, identifikasi dan karakterisasi sistem akuifer menjadi aspek penting dalam pengelolaan sumber daya airtanah secara berkelanjutan.

Kabupaten Sragen yang terletak di Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu wilayah yang rentan terhadap bencana kekeringan, khususnya di bagian timur seperti Kecamatan Sambirejo dan sekitarnya. Berdasarkan Indeks Risiko Bencana Indonesia, wilayah ini secara

periodik mengalami kekeringan pada musim kemarau yang berdampak pada ketersediaan air bersih dan kegiatan pertanian [4]. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya upaya eksplorasi sumber airtanah sebagai alternatif untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat.

Akuifer merupakan lapisan geologi yang mampu menyimpan dan mengalirkan airtanah dalam jumlah signifikan. Berdasarkan kondisi hidrauliknya, akuifer dibedakan menjadi akuifer bebas (*unconfined aquifer*) dan akuifer tertekan (*confined aquifer*) [5]. Akuifer tertekan umumnya berada pada kedalaman lebih besar dan diapit oleh lapisan kedap air seperti Gambar 1, sehingga memiliki kualitas air yang relatif lebih baik serta lebih terlindungi dari kontaminasi permukaan [6]. Secara litologi, akuifer umumnya tersusun oleh material permeabel seperti pasir, kerikil, batupasir, atau batuan retak yang memungkinkan pergerakan dan penyimpanan airtanah [7], [8].



Gambar 1. Siklus hidrologi air tanah dan jenis akuifer[9]

Salah satu metode yang efektif untuk mengidentifikasi keberadaan dan karakteristik akuifer adalah metode geofisika, khususnya metode geolistrik resistivitas. Metode ini memanfaatkan perbedaan nilai tahanan jenis batuan untuk menginterpretasikan kondisi bawah permukaan. Lapisan dengan resistivitas rendah umumnya mengindikasikan material jenuh air, sedangkan resistivitas tinggi menunjukkan lapisan kompak atau kering [10]. Konfigurasi Schlumberger banyak digunakan karena mampu memberikan informasi kedalaman dan ketebalan lapisan secara vertikal dengan tingkat akurasi yang baik serta efisien dalam pelaksanaan survei [11], [12].

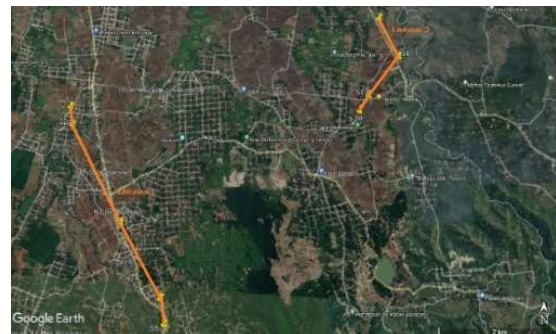
Penelitian terdahulu umumnya berfokus pada identifikasi akuifer dangkal atau potensi airtanah secara umum, sedangkan kajian mengenai karakteristik akuifer dalam, termasuk distribusi, ketebalan, dan kedalamannya, masih terbatas [9],[13]. Padahal, informasi tersebut

sangat penting dalam mendukung upaya mitigasi kekeringan dan pengelolaan airtanah jangka panjang, khususnya di wilayah rawan kekeringan seperti Sragen bagian timur.

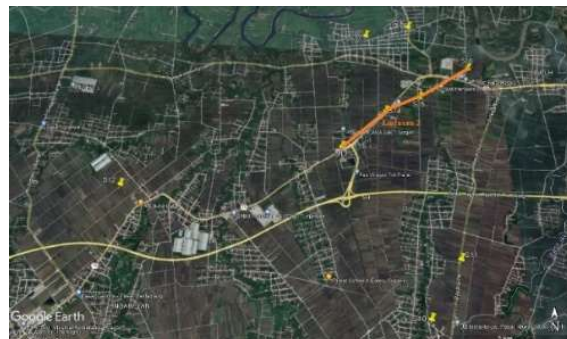
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik dan sebaran akuifer serta mengestimasi potensi cadangan volume airtanah melalui integrasi metode geolistrik konfigurasi Schlumberger, analisis geologi regional, dan pemodelan tiga dimensi (3D). Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai sistem akuifer serta menjadi dasar dalam pengelolaan airtanah yang berkelanjutan di wilayah penelitian.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di daerah Sragen wilayah timur (Kec. Sambirejo, Gondang, dan Sambung macan). Gambar 2 merupakan pengambilan titik geolistrik di kecamatan Sambirejo dan Kecamatan Gondang. Gambar 3 merupakan lokasi pengambilan data di kecamatan Sambungmacan.



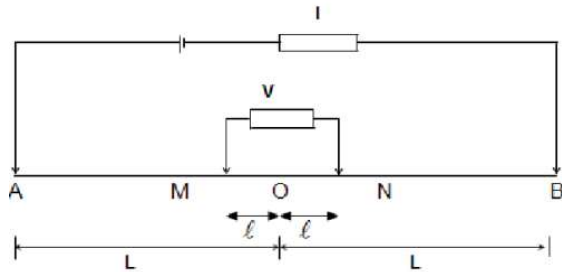
Gambar 2. Lokasi Pengambilan Data di Wilayah Sambirejo dan Gondang



Gambar 3. Lokasi Pengambilan Data di Wilayah Sambung Macan

Penelitian ini pengambilan menggunakan dengan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Schlumberger, dimana bentangan

AB/2 mulai 1,5 m sampai 300 meter dan MN/2 dari 0,5 meter sampai 25 meter. Pengambilan data dilakukan dengan cara menginjeksikan arus melalui 2 elektroda arus, selanjutnya diukur beda potensial melalui 2 elektroda potensial seperti Gambar 4.



Gambar 4. Konfigurasi Schlumberger [10]

Data yang diperoleh di lapangan berupa arus listrik dan beda potensial (tegangan). Kemudian dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai resistansi dan resistivitas. Namun resistivitas yang diperoleh dari pengukuran adalah resistivitas semu (*apparent resistivity*), karena bawah permukaan bumi umumnya bersifat berlapis. Resistivitas semu ρ_a (Ωm) pada konfigurasi Schlumberger dapat dirumuskan dengan persamaan berikut

$$\rho_a = \frac{V_{MN}}{I} K \tag{1}$$

Nilai resistivitas yang didapat dari konfigurasi Schlumberger sangat dipengaruhi oleh faktor geometri. Faktor geometri ditentukan oleh jarak AB dan MN. Faktor geometri pada konfigurasi Schlumberger sebagai berikut:

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

Kemudian dilakukan proses pengolahan hasil perhitungan dengan menggunakan software sehingga diperoleh kurva matching. Kurva ini

dapat dijadikan acuan dalam menentukan jumlah lapisan dan sebaran nilai resistivitas semu terhadap kedalaman. Proses inversi dilakukan untuk memperoleh sebaran resistivitas yang sebenarnya (*true resistivity*) terhadap kedalaman pada setiap lapisan. Hasil yang diperoleh berupa nilai resistivitas, ketebalan lapisan dan kedalaman lapisan. Selanjutnya dibuat penampang 2 dimensi (2D) yang menghubungkan titik sounding dan Untuk mendapatkan pendugaan volume akuifer dibuatkan 3 dimensi (3D). dengan *software*. Selanjutnya dibuat penampang 2 dimensi dan 3 dimensi untuk melihat lapisan litologi dan arah persebaran akuifer dengan software.

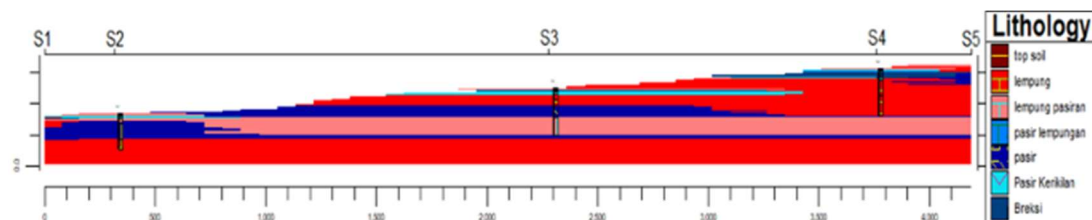
HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah Sragen wilayah timur (Kec. Sambirejo, Gondang, dan Sambung macan) berada pada formasi endapan lawu. Formasi endapan lawu tersusun atas batu pasir gunung berapi, batu lempung lanau gunung berapi, breksi gunung berapi dan lava. Litologi pada formasi ini terdiri dari lempung, lempung pasiran, pasir, pasir lempungan, pasir kerikilan, dan breksi. Litologi yang merupakan akuifer adalah pasir, pasir lempungan, pasir kerikilan, dan breksi.

Tabel 1. Range resistivitas litologi di daerah penelitian

No	Litologi	Resistivitas (Ωm)
1	Top Soil	3,4 – 34,23
2	Lempung	0,63- 7,6
3	Lempung Pasiran	7,73 – 13,51
4	Pasir Lempungan	14,6 – 24,18
5	Pasir	28,14 – 54,77
6	Pasir Kerikilan	64,91 – 87,24
7	Breksi	151,21 – 533,91

Hasil dari olahan software dibuat menjadi penampang 2 dimensi dan 3 dimensi agar dapat dilihat persebaran litologi dan akuifernya.



Gambar 5. Penampang 2 dimensi lintasan 1

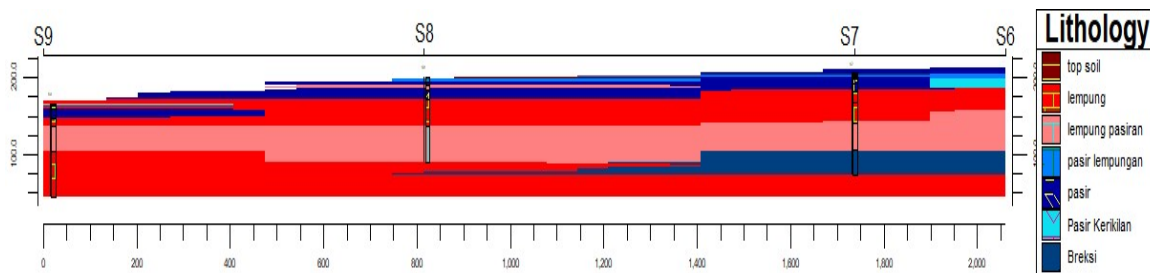
Penampang 1 terletak di kecamatan sambirejo yang menghubungkan antara titik sounding 1, 2, 3, 4, dan 5 berurutan dari arah

barat laut ke tenggara seperti yang ditunjukkan Gambar 5. Akuifer ditunjukkan dengan warna biru. Lapisan berwarna merah menunjukkan

lapisan lempung yang *impermeable* sebagai pembatas antar akuifer.

Dari titik *sounding* 1 terdeteksi akuifer bebas dengan litologi pasir kerikilan sampai dengan titik *sounding* 2 dengan ditandai dengan warna biru muda. Akuifer tertekan ditandai dengan warna biru dengan litologi pasir terdeteksi dari titik *sounding* 1 sampai titik *sounding* 2 dengan ketebalan yang berbeda. Pada titik 1 akuifer tertekan dibatasi dengan lapisan *impermeable* berupa lempung di atas dan di bawahnya, sedangkan pada titik 2 akuifer

tertekan dibatasi dengan lapisan *impermeable* berupa lempung pasir di atasnya dan lapisan lempung di bawahnya. Pada titik *sounding* 3 terdeteksi akuifer bebas dengan litologi pasir kerikilan dan akuifer tertekan dengan litologi pasir yang dibatasi lapisan *impermeable* berupa lempung di atasnya dan lempung pasir di bawahnya. Pada titik *sounding* 4 terdeteksi beberapa lapisan akuifer bebas dengan litologi pasir kerikilan dan breksi. Pada titik *sounding* 5 terdeteksi lapisan akuifer bebas dengan litologi breksi dan akuifer tertekan dengan litologi pasir.

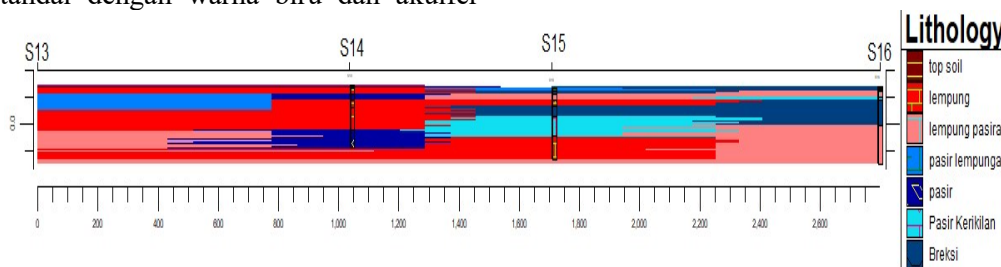


Gambar 6. Penampang 2 dimensi lintasan 2

Penampang 2 terletak di perbatasan kecamatan sambirejo sampai kecamatan gondang yang menghubungkan titik *sounding* 6, 7, 8, dan 9 berurutan dari arah barat daya ke timur laut seperti yang ditunjukkan Gambar 6. Akuifer ditunjukkan dengan warna biru. Lapisan berwarna merah menunjukkan lapisan lempung yang *impermeable* sebagai pembatas antar akuifer.

tertekan dengan litologi breksi, akuifer tertekan pada titik *sounding* 7 dibatasi dengan lapisan *impermeable* berupa lempung dan lempung pasir. Pada titik *sounding* 8 terdeteksi akuifer bebas dengan litologi pasir lempungan yang ditandai dengan warna biru muda dan pasir yang ditandai dengan warna biru tua. Pada titik *sounding* 9 terdeteksi akuifer bebas dengan litologi pasir yang ditandai dengan warna biru tua. Pada penampang ini terlihat akuifer bebas dengan litologi pasir dari titik *sounding* 6 ke titik *sounding* 7 semakin tebal dan menyambung ke titik *sounding* 8 dengan ketebalan yang mirip, dan menipis ke arah titik *sounding* 9.

Pada titik *sounding* 6 terdeteksi akuifer bebas dengan litologi pasir, pasir lempungan, dan pasir kerikilan yang ditandai dengan warna biru muda dan biru tua. Pada titik *sounding* 7 terdeteksi akuifer bebas dengan litologi pasir yang ditandai dengan warna biru dan akuifer



Gambar 7. Penampang 2 dimensi lintasan 3

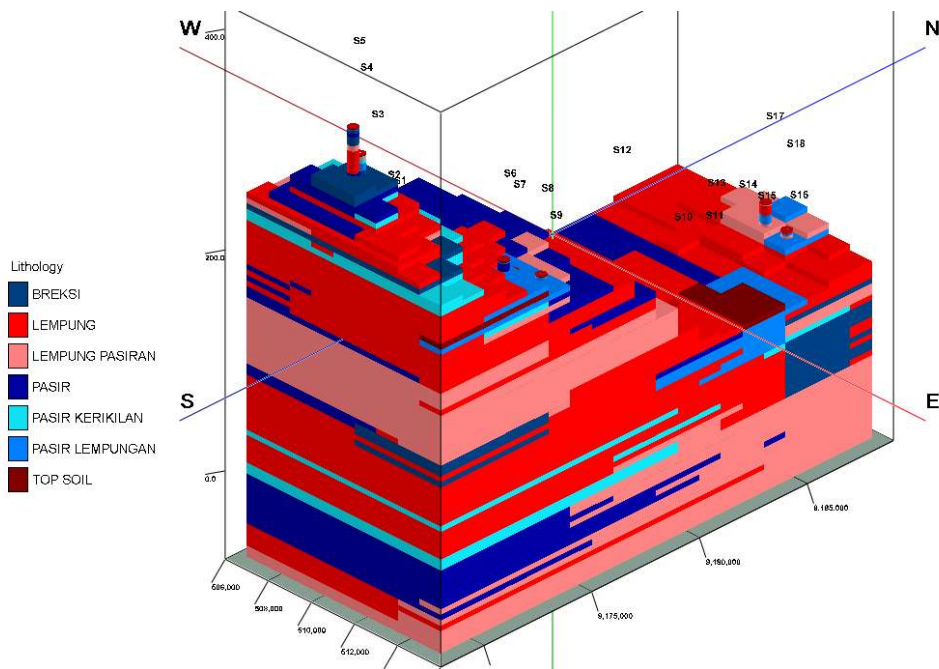
Penampang 3 terletak di kecamatan sambung macan yang menghubungkan titik *sounding* 13, 14, 15, dan 16 berurutan dari arah barat daya ke timur laut seperti yang ditunjukkan Gambar 7. Akuifer ditunjukkan dengan warna biru. Lapisan berwarna merah

menunjukkan lapisan lempung yang *impermeable* sebagai pembatas antar akuifer.

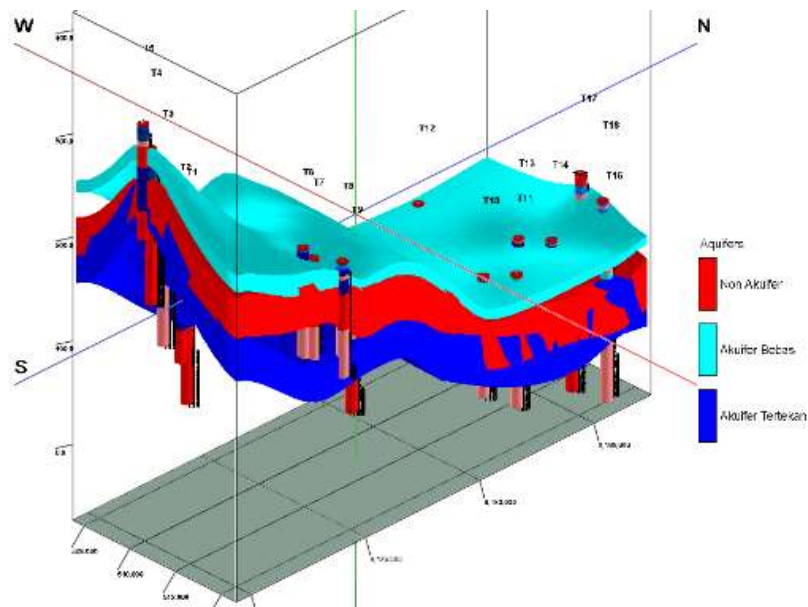
Pada titik *sounding* 13 terdeteksi akuifer bebas dengan litologi pasir lempungan yang ditandai dengan warna biru muda. Pada titik *sounding* 14 terdeteksi akuifer bebas dengan litologi pasir dan akuifer tertekan dengan

litologi pasir yang ditandai dengan warna biru tua, akuifer tertekan pada titik 14 dibatasi dengan lapisan impermeable berupa lempung. Pada titik *sounding* 15 terdeteksi akuifer bebas dengan litologi pasir lempungan dan breksi yang ditandai dengan warna biru muda dan biru tua, dan terdeteksi akuifer tertekan dengan litologi breksi dan pasir kerikilan yang ditandai dengan warna biru tua dan biru muda. Akuifer tertekan

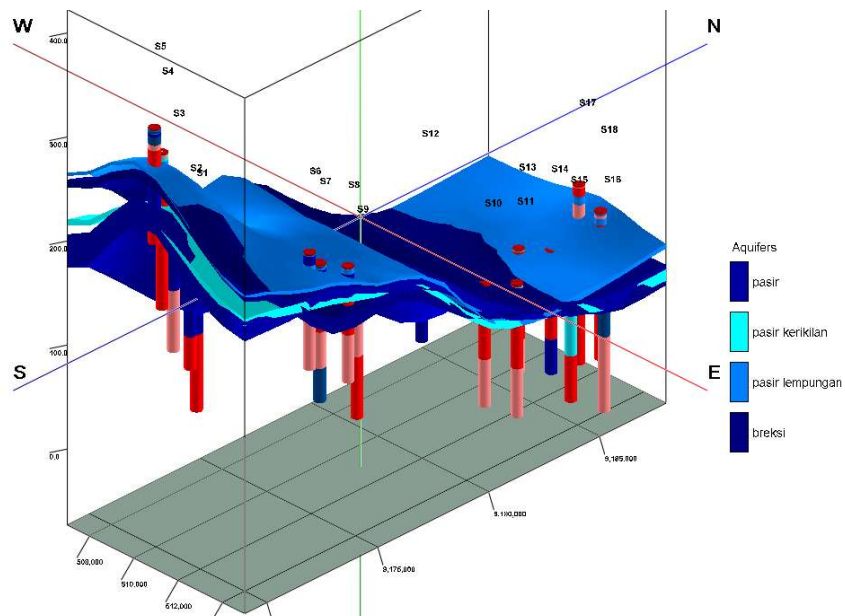
pada titik 15 dibatasi lapisan impermeable berupa lempung. Pada titik *sounding* 16 terdeteksi akuifer bebas dengan litologi breksi dan pasir kerikilan, dan terdeteksi akuifer tertekan dengan litologi sedikit pasir kerikilan dan lapisan breksi yang cukup tebal yang ditandai dengan warna biru muda dan biru tua. Akuifer tertekan pada titik 16 dibatasi lapisan impermeable berupa lempung pasir.



Gambar 8. Penampang 3 dimensi litologi geolistrik



Gambar 9. Penampang 3 dimensi jenis akuifer



Gambar 10. Model litologi akuifer 3 dimensi

Berdasarkan gambar 8 informasi volume litologi dari setiap lapisan dapat diketahui menggunakan *Software* untuk nilainya dapat dilihat pada tabel 2. Sedangkan pada gambar 10 memperlihatkan persebaran lapisan akuifer.

Tabel 2. Volume litologi

Litologi	Volume (m ³)
Top Soil	60.000×10 ³
Lempung	13.670.000×10 ³
Lempung Pasiran	10.720.000×10 ³
Pasir	8.735.000×10 ³
Pasir Lempungan	600.000 × 10 ³
Pasir Kerikilan	5.435.000 × 10 ³
Breksi	1.430.000 × 10 ³

Hasil dari penampang 3 dimensi litologi menunjukkan bahwa lapisan batuan di daerah pengukuran terdiri dari top soil, lempung, lempung pasiran, pasir, pasir lempungan, pasir kerikilan, dan breksi. Keberadaan akuifer ditunjukkan oleh litologi pasir, pasir lempungan, pasir kerikilan, dan breksi. Dimana volume dari lapisan pasir sebesar 8.735.000×10³ m³, volume dari lapisan pasir lempungan sebesar 600.000×10³ m³, volume dari lapisan pasir kerikilan sebesar 5.435.000×10³ m³, dan volume dari lapisan breksi sebesar 1.430.000×10³ m³. Gambar 9 menggambar persebaran lapisan akuifer dangkal dan akuifer dalam, untuk lapisan akuifer dangkal tergambar dengan warna biru muda, lapisan bukan akuifer tergambar yang berwarna merah dan warna biru tua merupakan lapisan akuifer dalam. Sedangkan pada Gambar 10 merupakan gambar perlapisan akuifer yang berupa lapisan pasir lempungan, lapisan pasir, pasir kerikilan dan lapisan breksi. Persebaran litologi akuifer dapat dilihat hamper disetiap wilayah penelitian.

KESIMPULAN

Pada titik-titik *sounding* dideteksi akuifer bebas dan akuifer tertekan. Pada kecamatan Sambirejo terdeteksi akuifer bebas pada kedalaman antara 1,17-35,7 m dengan ketebalan antara 9,56-31,36 m sedangkan akuifer tertekan pada kedalaman 26,4-90,8 m dengan ketebalan antara 35,8-56,3 m. Pada kecamatan Gondang terdeteksi akuifer bebas pada kedalaman antara 0,8-29,7 m dengan ketebalan antara 12,51-23,59 m sedangkan akuifer tertekan pada kedalaman 100-133 m dengan ketebalan antara 33 m. Pada kecamatan

Sambung macan terdeteksi akuifer bebas pada ketertekanan antara 0,59-47,8 m dengan ketebalan antara 4,42-29,04 m sedangkan akuifer tertekan pada kedalaman 20-121 m dengan ketebalan antara 33,4-93,7 m. Berdasarkan hasil pemodelan 3D, potensi airtanah terbesar terdapat pada lapisan pasir dan pasir kerikilan dengan volume masing-masing sebesar 8,735×10⁶ m³ dan 5,435×10⁶ m³.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada LPPM Universitas Sebelas Maret yang sudah memberikan penugasan penelitian Mandiri Tahun 2025 dengan no kontrak 1297/UN27.22/PT.01.03/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. K. Todd & L. W. Mays, *Groundwater Hydrology*. 3rd Ed. Wiley, 2005.
- [2] C. W. Fetter, *Applied Hydrogeology*. 4th Ed. Pearson Education, 2014.
- [3] E. Custodio & M. R. Llamas, *Hydrogeology of Spain*, Geological Society of America, 1996.
- [4] Badan nasional Penanggulangan Bencana Provinsi Jawa Tengah *Data Bencana Indonesia 2017*, Pusat Data, Informasi dan Humas Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2017.
- [5] R. A. Freeze & J. A. Cherry, *Groundwater*. Prentice-Hall, 1979.
- [6] J. Bear, *Dynamics of Fluids in Porous Media*. Elsevier, 1972.
- [7] A. Suyono, et al., Identification of groundwater aquifer potential using resistivity methods in volcanic terrain, Indonesia. *Journal of Applied Geophysics*, 190, 104387, 2021.
- [8] Sukardi dan T. Budhitrisna, *Peta Geologi Lembar Salatiga, Jawa. Skala 1 : 100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi:Bandung, 1992.
- [9] D. Wijaya & A. Kusmiran, “Siklus hidrologi dan sistem akuifer”, *Jurnal Geologi Indonesia*, 16(2), 75–84, 2021.

- [10] W. M. Telford, L. P. Geldart, & R. E. Sheriff, *Applied Geophysics*. 2nd Ed. Cambridge University Press, 1990.
- [11] M. H. Loke, *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*. Geotomo Software, 2004.
- [12] D. Rolia & E. Sudjiningsih, "Identifikasi lapisan pembawa air menggunakan metode geolistrik resistivitas", *Jurnal Geofisika Indonesia*, 2018.
- [13] A.Lembayu, dkk., Analisis potensi air tanah berdasarkan data geolistrik di Kabupaten Sragen. *Jurnal Geosains Indonesia*, 2020.