



Identifikasi Fenomena Jebakan Air Garam Melalui Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger Studi Kasus Desa Ngaglik Kecamatan Sambi Boyolali

Fajar Sukmaya✉, Supriyadi, Wahyu Hardyanto

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt. 2, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Diterima April 2014
Disetujui Mei 2014
Dipublikasikan Juni 2014
***ADA TANGGALNYA**

Keywords:

Salt-water traps, Geoelectricity, Resistivity, Schumberger

Abstrak

Fenomena jebakan air garam di kebun warga di desa Ngaglik, Kecamatan Sambi Boyolali dijadikan tambang garam sekitar 20 tahun lalu. Potensi air garam ini terus berkurang, sehingga perlu dilakukan survei geolistrik untuk mengidentifikasi litologi batuan, kondisi hidrogeologi, dan pemetaan jebakan air garam. Dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi *schlumberger* dilakukan pengambilan data menggunakan *resistivitymeter S-field multi-channel* 16 elektroda pada 5 titik lokasi dengan panjang lintasan 150 m dan spasi elektroda 10 meter. Parameter yang terukur yaitu arus (I) dan beda potensial (V), serta pengolahan data menggunakan *software Ms.Excel, Res2dinv, dan Voxler*. Nilai resistivitas batuan yang teridentifikasi berkisar 0,5 s.d. lebih dari 173 Ωm dan besarnya nilai resistivitas jebakan air garam yaitu 0,5 s.d. 1,16 Ωm dalam citra penampang 2D. Litologi batuan yang diindikasikan terdapat jebakan air garam yaitu pada lapisan lempung pasir pada kedalaman kurang dari 20 meter untuk tiap lintasan dan area persebaran jebakan air garam dimodelkan dalam citra penampang 3D.

Abstract

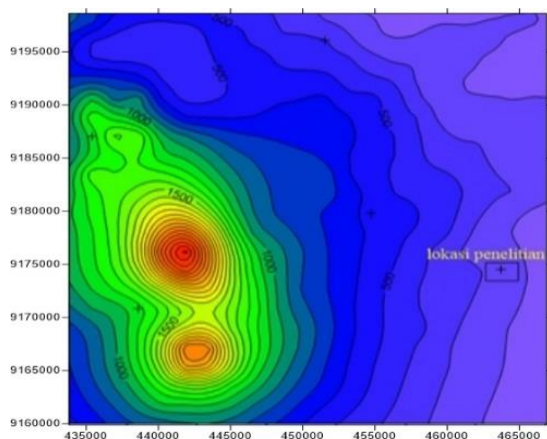
The phenomenon of the traps of salt water in the garden at the village of Ngaglik, Sambi Boyolali made salt mine about 20 years ago. Potential salt water continues to decrease, so it needs to be done to identify litology rocks using the geolistrik survey, conditions hydrogeological, mapping salt water trap. By using the method of geoelectrical resistivity, the data retrieval is performed using a schlumberger configuration used resistivitymeter S-field multi-channel 16 electrodes on a 5 point location with a length trajectory (line) of 150 m and 10 m electrode spacing. The measured parameters are electric current (I) and voltage (V), as well as data processing using software Ms Excel., Res2dinv, and Voxler. Has be identified rock resistivity values ranging from 0,5 until more than 173 Ωm - and resistivity value of the traps of salt water that is 0.5 until 1,16 Ωm 2D cross-section image. Litology of rock that indicated there was salt water traps that is on a layer of clayand sand at a depth of less than 20 meters for each path and traps of salt water distribution area is modeled in the image of a 3D cross section.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan potensi bahari dan mineral yang melimpah. Hampir seluruh provinsi di Indonesia berbatasan dengan laut dan samudera, salah satunya adalah provinsi Jawa Tengah. Di Jawa Tengah tepatnya di Desa Jono Kabupaten Grobogan, Bledug Kuwu Kabupaten Cepu, serta Kabupaten Boyolali terdapat suatu fenomena jebakan air garam. Jebakan air garam Boyolali, tepatnya di desa Ngaglik Kecamatan Sambu, berlokasi di tengah ladang warga sekitar yang mungkin tidak banyak masyarakat yang tahu.

Kabupaten Boyolali terletak pada posisi geografis antara $110^{\circ} 22' - 110^{\circ} 50'$ BT dan antara $7^{\circ} 7' - 7^{\circ} 36'$ LS dengan topografi yang bervariasi antara 75 s.d. 1500 mdpl. Kecamatan Selo merupakan daerah tertinggi di Boyolali dengan ketinggian sampai 1500 mdpl.

Fenomena jebakan air garam yang dimaksud adalah fenomena yang terdapat di Desa Ngaglik, Kecamatan Sambu dengan elevasi 75 mdpl s.d. 450 mdpl (BPS Kab. Boyolali). Kabupaten Boyolali sendiri tidak berbatasan langsung dengan laut, sehingga fenomena jebakan air garam ini merupakan fenomena alam dapat dikaji lebih lanjut secara keilmuan geofisika. **Gambar 1** menunjukkan peta kontur ketinggian daerah Boyolali sebagai berikut.



Gambar 1. Peta Kontur Ketinggian sekitar Boyolali (<http://topex.uscd.edu>)

Menurut Hariyadi (2006), kawasan Ngaglik termasuk kedalam area laut purba yang terangkat ke permukaan, dengan bentangan antara Cepu (kawasan Bledug Kuwu) dan kearah barat daya menuju Boyolali dan Sangiran. Jebakan mineral juga mungkin terjadi ketika magma mendingin dan air yang dilepaskan tidak sebagai air murni karena mengandung mineral yang larut dalam magma seperti NaCl. Suhu yang tinggi akan meningkatkan efektifitas pembentukan endapan mineral garam.

Menurut peta geologi lembar Salatiga (Sukardi dan Budhitrisna, 1992), Kabupaten Boyolali memiliki beberapa formasi batuan diantaranya formasi Kerek (TMK), formasi Kalibeng, formasi Notopuro, formasi Kabuh, Batuan Vulkanik Kuarter (Gunung Merbabu dan Gunung Merapi) dan endapan alluvial. Formasi Notopuro terdiri atas perselingan tuff dengan batu pasir tuffan, dan batuan breksi lahar yang bersifat porus.

Batuan gunung api tak terpisahkan (*Qvm*) terdiri atas susunan breksi gunung berapi, lava, tuff dan breksi lahar Gunung Merbabu (*Qvm*). Batuan Vulkanik Kuarter terdiri atas Batuan Gunung Api Merbabu dan Batuan Gunung Api Merapi. Formasi batuan desa Ngaglik, Kecamatan Sambu merupakan formasi batuan Gunung Api Merbabu berupa breksi gunung api, lava, tuff, dan breksi lahar serta andesit. Sifat fisik batuan tersebut adalah bersifat porus (breksi, breksi lahar) serta ada yang bersifat kedap yaitu lava dan andesit (BPS Kab. Boyolali II : 3, 2009).

Air tanah asin merupakan suatu keadaan dimana air yang terdapat di dalam tanah secara struktur mengandung mineral berupa NaCl (*Natrium Klorida*) yang tinggi karena faktor tertentu. Faktor tersebut diantaranya karena pengaruh sedimentasi mineral yang terperangkap pada suatu lapisan batuan dan terakumulasi dalam kurun waktu yang lama (Davis *et al.*, 1966). Terdapat bermacam-macam cara air asin dapat bercampur dengan air permukaan di daerah delta dan pantai, salah satunya adalah connate water yaitu air yang terjebak dalam

rongga-rongga batuan sedimen Syahputra (2009).

Peristiwa jebakan air laut juga terjadi dikawasan Bledug Kuwu, disekitar area semburan lumpur panas. Menurut Atmiati (2011), peristiwa intrusi air garam di Bledug Kuwu terletak pada akuifer dangkal. Kemungkinan lapisan tanah di area ini berupa pasir sehingga pori-porinya banyak diisi oleh air garam.

Menurut Dorbin *et al.*, (1998), geofisika secara umum bergerak dalam pekerjaan eksplorasi berupa seismik, grafitasi, geomagnet, geolistrik, georadar, dan well logging. Tujuan utama dari kegiatan eksplorasi geofisika adalah untuk membuat model bawah permukaan bumi atau bisa juga diatas permukaan bumi dari ketinggian tertentu.

Pada pengukuran lapangan, data geofisika yang terukur antara lain dapat berupa densitas, kecepatan gelombang seismic, modulus bulk, hambatan jenis batuan, suseptibilitas magnet dan lain sebagainya. Parameter tersebut termasuk besaran fisis berupa karakteristik bawah permukaan bumi (Supriyanto, 2007).

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana mendeteksinya di permukaan bumi. Metode ini dilakukan dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang mempunyai tegangan listrik tertentu kedalam tanah. Metode geolistrik dibagi menjadi beberapa bagian berdasarkan parameter yang diukur, antara lain *self-potensial* (SP), metode *magneto-telluric* (MT), metode *induced polarization* (IP) dan metode *resistivity* (tahanan jenis).

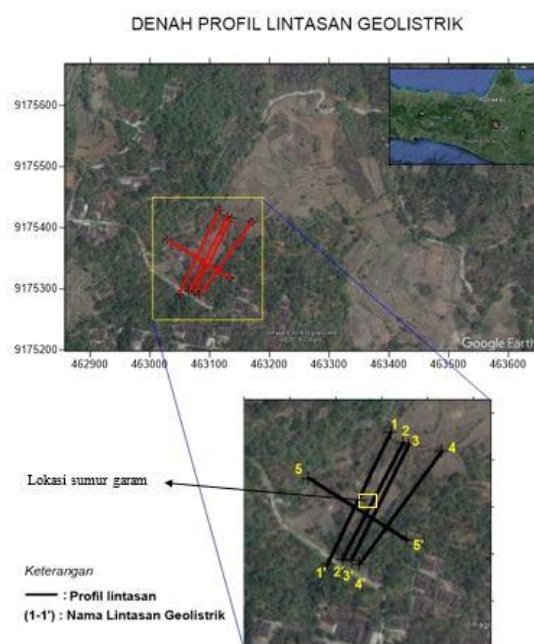
Metode geolistrik resistivitas sangat sesuai digunakan untuk pencarian air tanah, karena air yang ada di dalam perut bumi akan sangat sensitif terhadap arus listrik (konduktifitas air tinggi). Metode ini juga dapat digunakan untuk menentukan pencemaran air tanah (limbah) atau hal lain yang termasuk dalam polutan air tanah (Ebraheem *et al.*, 1996). Polutan berupa pencemaran limbah lindi di Kota Semarang pernah dilakukan dan didapatkan kedalaman maksimal 37 meter

dengan metode geolistrik (Supriyadi *et al.*, 2013).

Injeksi arus listrik dalam metode geolistrik resistivitas menggunakan dua buah elektroda arus A dan B yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu. Semakin panjang jarak AB akan menyebabkan aliran arus listrik bisa menembus lapisan batuan lebih dalam. Sedangkan dua elektroda potensial yang berada di dalam konfigurasi digunakan untuk mengukur beda potensialnya (Broto & Afifah, 2008:120).

METODE EKSPERIMEN

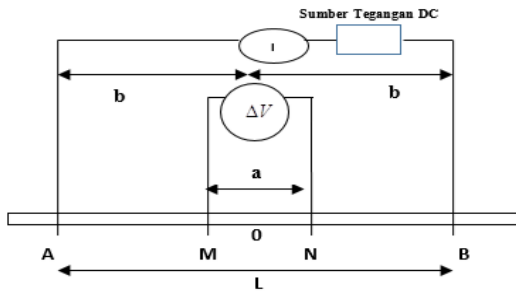
Pengambilan data dilakukan di area kebun milik warga sekitar dengan pusat target penelitian berupa sumur tua bekas tambang garam Desa Ngaglik, Kecamatan Sambu Boyolali pada bulan September 2016. Desain survei pengukuran geolistrik seperti ditunjukkan oleh **Gambar 2**.



Gambar 2. Desain Surei Geolistrik

Panjang lintasan dalam penelitian ini adalah 150 meter, dengan jumlah elektroda sebanyak 16 elektroda dan jarak atau spasi elektroda 10 meter. Peralatan yang diperlukan untuk pengambilan data adalah *Resistivitymeter S-field*, elektroda sebanyak 16 buah, dua buah aki 12 Volt, meteran, palu, *Global Positioning System* (GPS) Garmin tipe 60CSx, dan laptop.

Susunan elektroda yang digunakan yaitu konfigurasi *Schlumberger*. Konfigurasi ini terdiri atas dua buah elektroda arus (A dan B) serta dua buah elektroda potensial (M dan N). Susunan letak elektroda (konfigurasi) *Schlumberger* seperti ditunjukkan oleh **Gambar 3**.



Gambar 3. Susunan Konfigurasi *Schlumberger*. (Djali *et al*, 2014)

Berdasarkan besaran fisis yang diukur, susunan elektroda *schlumberger* ini bertujuan untuk mengukur gradien potensial listriknya. Besar faktor geometris untuk susunan elektroda *schlumberger* ini sesuai dengan **Persamaan 1**.

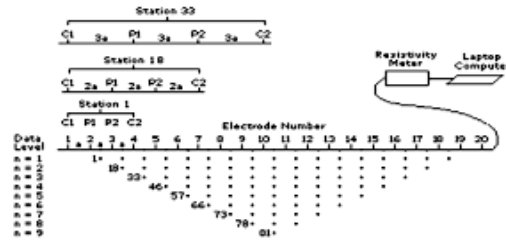
$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \quad (1)$$

Sehingga besarnya Faktor Geometri (K) untuk konfigurasi *Schlumberger* adalah:

$$K = \pi \left(\frac{b^2}{a} - \frac{a}{4} \right) \quad (2)$$

Selanjutnya dilakukan langkah penelitian sebagai berikut.

- Menentukan lintasan pengukuran.
- Menentukan lebar antar elektroda (a).
- Memasang elektroda berdasarkan susunan elektroda yang digunakan yaitu konfigurasi *Schlumberger*.
- Mengaktifkan alat resistivitymeter yang kemudian menginjeksikan arus listrik kedalam tanah melalui kabel – kabel geolistrik seperti **Gambar 4** berikut.



Gambar 4. Teknik Pengambilan Data Geolistrik Mapping. (Loke *et al*, 1999)

Data yang diperoleh berupa data primer hasil pengukuran yang diolah menggunakan Ms.excel. Parameter yang terukur adalah tegangan (V) dan kuat arus (I). Besarnya nilai tegangan (V) dan kuat arus (I) digunakan untuk menentukan nilai resistivitas semu, dengan persamaan :

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I}$$

dengan, ρ_a = resistivitas semu

k = faktor geometri

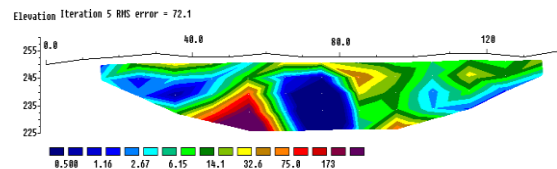
ΔV = beda potensial (V_{MN})

I = kuat arus yang diinjeksikan (I_{AB})

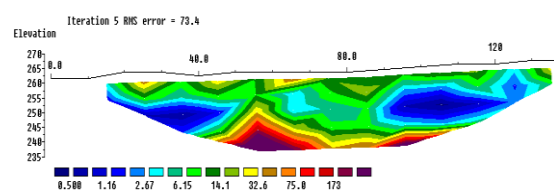
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penampang Resistivitas 2D

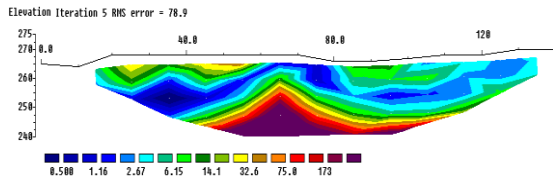
Nilai resistivitas (tahanan jenis) semu yang didapatkan lalu dikelompokkan melalui tabel resistivitas batuan dan menjadi bahan acuan interpretasi data sesuai pada **Tabel 1**. Besarnya nilai resistivitas semu yang didapatkan sesuai **Persamaan 3**, diolah dengan menggunakan software *Res2dinv* dan tampilkan dalam citra penampang resistivitas 2D seperti **Gambar 5** s.d. **Gambar 9** berikut.



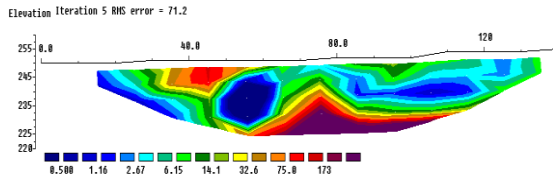
Gambar 5. Penampang Resistivitas Lintasan 1



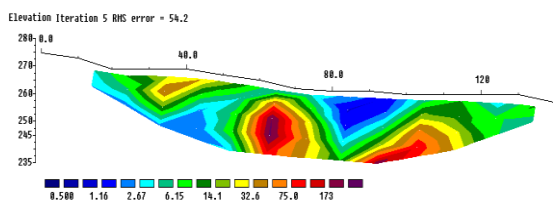
Gambar 6. Penampang Resistivitas Lintasan 2



Gambar 7. Penampang Resistivitas Lintasan 3



Gambar 8. Penampang Resistivitas Lintasan 4



Gambar 9. Penampang Resistivitas Lintasan 5

Tabel 1. Nilai Resistivitas Batuan (Telford *et al.*, 1990)

Material	Tahanan Jenis (Ωm)	Material	Tahanan Jenis (Ωm)
Air (udara)	0	Ground Water (Air Tanah)	0,5 – 300
Quartz (kwarsa)	500 – 80.000	Sea Water (Air Laut)	0,2
Calcite (Kalsit)	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$	Dry Gravel (Kerikil Kering)	600 – 10.000
Rock Salt (Garam Batu)	$30 - 1 \times 10^{13}$	Alluvium (alluvium)	10 – 800
Granite (granit)	200 – 100.000	Gravel (Kerikil)	100 – 600
Basalt (basal)	200 – 100.000	Air dalam akuifer alluvial	20 – 30
Limestone (Gamping)	500 – 10.000	Pasir dan kerikil terendam dalam air tawar	$50 - 5 \times 10^2$
Sandstones	20 – 20.000	Pasir dan kerikil	0,5 – 5

(Batu Pasir)

terendam dalam air laut

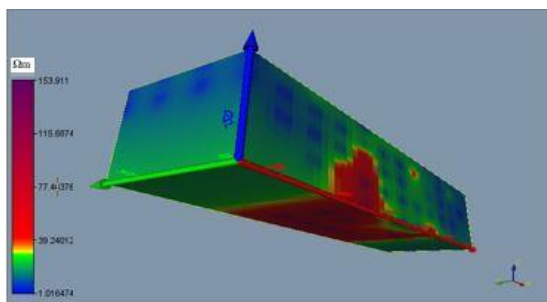
Shales (Batu Tulis)	20 – 20.000	Sand (Pasir)	1 – 1.000
---------------------	-------------	--------------	-----------

Pada **Gambar 5** s.d. **Gambar 9**, menunjukkan keadaan bawah permukaan untuk lintasan 1 sampai lintasan 5 dimana nilai resistivitas batuan terendah yaitu $0,50 \Omega m$ (warna biru tua) dan nilai resistivitas tertinggi yaitu lebih dari $173 \Omega m$ (warna ungu). Jebakan air garam diduga kuat memiliki nilai resistivitas yang rendah antara $0,50 \Omega m$ s.d. $1,16 \Omega m$ (indeks warna biru). Litologi batuan disusun berdasarkan data geologi regional Salatiga untuk daerah Ngaglik berupa formasi Batuan gunungapi tak terpisahkan (*Qvm*). Adapun penyusun untuk tiap lapisan seperti pada **Tabel 2**.

Rentang kedalaman jebakan air garam diketahui untuk masing-masing lintasan berturut-turut terletak pada kedalaman 7,75 s.d. 23 m; kurang dari 13,5 m ; 7,75 s.d. 19,9 m; 7, 75 s.d. 19,9 m dan 7,75 s.d. lebih dari 26,9 m. Hal ini menunjukkan bahwa letak jebakan air garam tersebut terletak pada akuifer air permukaan yang terdapat pada kedalaman kurang dari 25 m di bawah permukaan tanah.

Penampang Resistivitas 3D

Pembuatan model 3D dilakukan dengan menggabungkan file format 3D pada program *Res2dinv*. Penampang yang dijadikan model 3D yaitu untuk lintasan 1 sampai lintasan 4 yang memiliki kriteria topografi yang tidak berbeda jauh. Data masukan yang digunakan untuk membuat model 3D terdiri atas 5 variabel, yaitu sumbu-x sebagai *easting* dan sumbu-y sebagai *northing* (skala UTM), sumbu-y menunjukkan kedalaman. Dan dua variabel yang lain yaitu besarnya nilai tahanan jenis dan ID atau bisa diwakilkan dengan nama lintasan. Indeks skala sumbu-x di dimulai dari skala 0 meter kemudian bertambah tergantung pada jarak antar lintasan yang ada (Azizan et al., 2015). Pada **Gambar 10**, menunjukkan pemodelan 3D untuk daerah kajian geolistrik.



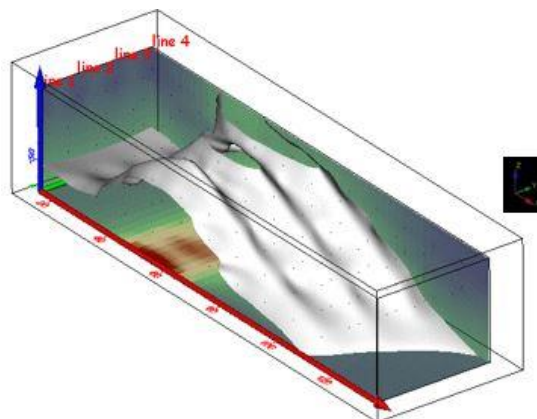
Gambar 10. Solid Model Penampang 3D bawah permukaan Lokasi Kajian (Sumbu x , y , dan z dalam meter)

Adapun besarnya nilai resistivitas penyusun lapisan jebakan air garam berkisar antara 6,15 s.d. 32,6 Ωm . Teridentifikasi pula batuan andesit yang mengerucut membentuk *dome* dan menjadi pembatas lapisan batuan pembawa air garam. Analisis sebaran area sebaran lapisan batuan pembawa air garam dimodelkan dengan menggunakan model *iso-surface* pada *software* Voxler 3.0 (**Gambar 11**).

Tabel 2. Litologi Batuan di Lokasi Kajian Geolistrik

No	Nilai Resistivitas	Warna	Jenis Batuan	Keterangan
1	6,15 s.d. 173 Ωm	Hijau s.d. Ungu	Singkapan andesit, <i>rock salt</i> , lempung, batu pasir	Lapisan penutup/top soil
2	0,50 s.d. 1,16 Ωm	Biru	Lempung pasir	pasiran dalam air asin
3	6,15 s.d. 14 Ωm	Hijau	Lempung pasir	Air tanah
4	32,6 s.d. 75 Ωm	Kuning s.d. Orange	Lempung berselingan tuffan	Air tanah
5	173	Merah	Andesit	
6	>173 Ωm	Coklat s.d. Ungu	Rock Salt/Batuan garam, Batuan beku andesit	Batuan dasar

Area sebaran lapisan batuan pembawa air garam seperti ditunjukkan pada **Gambar 11**. dengan pemodelan pada *software* Voxler 3.0.

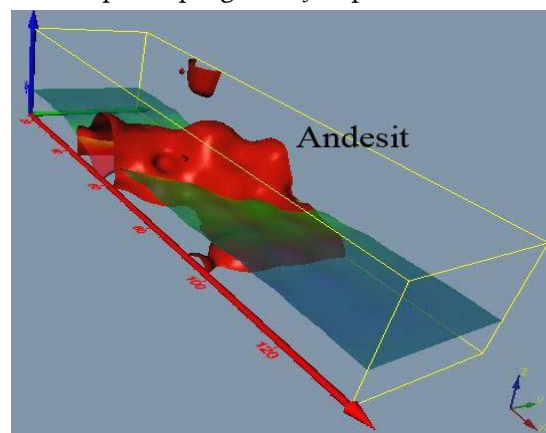


Gambar 11. Model *iso-surface* area lapisan batuan pembawa air garam (sumbu x , y , dan z dalam meter)

Pada model *iso-surface* terlihat area yang diduga kuat berupa lapisan pembawa batuan air garam (warna putih) dalam litologi lempung pasir dengan nilai resistivitas 6,15 s.d. 32,6 Ωm memanjang pada tiap lintasan. Teridentifikasi bahwa area tersebut terdapat area yang kosong (lubang) yang merupakan daerah pengerucutan batuan andesit (indeks warna merah) pada **Gambar 12**.

Jenis batuan beku seperti andesit memiliki nilai resistivitas yang tinggi, karena batuan jenis ini memiliki struktur yang kompak maka dari itu porositasnya sangat kecil. Akibatnya, tidak ada larutan elektrolit (air) yang dapat mengisi porus (rongga) tersebut sehingga konduktivitasnya menjadi sangat kecil. Kita tahu bahwa nilai konduktivitas bahan berbanding terbalik dengan nilai resistivitasnya. Batuan andesit di lokasi kajian teridentifikasi memiliki nilai resistivitas yang tinggi yaitu lebih dari 173 Ωm (**Tabel 2**).

Kubah (*dome*) andesit seperti dimodelkan melalui penampang *iso-surface* pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Model *iso-surface* Andesit (sumbu x , y , dan z dalam meter)

SIMPULAN

Berdasarkan nilai resistivitasnya dapat diketahui jenis batuan penyusun daerah kajian. Top soil berupa singkapan rock salt, andesit, lempung, dan batu pasir yang tersebar dibeberapa titik dengan nilai resistivitas antara 6,15 s.d. 173 Ω m. Lapisan selanjutnya adalah jebakan air garam dengan nilai resistivitas 0,50 s.d 1,16 Ω m dengan kedalaman antara 7 meter s.d. 20 meter.

Kemudian secara berurutan adalah lapisan lempung berasosiasi pasir, lempung berselingan tuffan rock salt atau batu garam, dan Andesit dengan resistivitas masing masing 6,15 s.d 14 Ω m, 32,6 s.d 75 Ω m, 173 Ω m, lebih dari 173 Ω m.

Air tanah permukaan terdapat pada kedalaman kurang dari 25 meter di bawah permukaan. Keberadaan air tanah tersebut merupakan infiltrasi air hujan dalam litologi lempung pasir. Jebakan air garam masih terdapat di daerah kajian ini, dengan terlihatnya nilai resistivitas yang kecil (0,50 s.d 1,16 Ω m) tersebar secara dominan pada jarak lintasan 75 meter dan tersebar dengan kedalaman kurang dari 20 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmianti, S. 2011. *Aplikasi Metode Geolistrik untuk Menentukan Intrusi Air Garam di sekitar Bledug Kuwu Grobogan*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Azizan, F.A., Azwan, M., Zawawi, M., & Abdullah, A.F. 2015. *Development of 3D Model View of Potential Groundwater Aquifer for Irrigation Using Geophysical Technique*. Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering) 76:15 (125-130).
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Boyolali. 2009. *Buku Putih Sanitas Kabupaten Boyolali (Gambaran Umum Kabupaten Boyolali Bab II)*. Boyolali : BPS Kabupaten Boyolali.
- Broto, S. & Afifah. R.S. 2008. *Pengolahan Data Geolistrik Dengan Metode Schlumberger*. Teknik, 29(2): 120-128. ISSN: 0852-1697.
- Davis, S.N., De Wiest, & Roger J. M. 1996. *Hydrogeology*. University of California: Krieger Publishing Company. ISBN: 0894646389, 9780894646386.
- Djali. 2014. *Laporan Geolistrik Djali*. Bandung : Universitas Padjajaran. Tersedia di <http://dokumen.tips/documents/laporan-geolistrik-djali.html> [diakses pada tanggal 24 November 2016].
- Dorbin, M.B. & Savit, C.H. 1998. *Introducing to Geophysics Processing 4th edition*. New York.
- Ebraheem, M., Senosy, M., & Dahab, A. 1996. *Geoelectrical and Hydrogeochemical Studies for Delineating Ground-Water Contamination Due to Salt-Water Intrusion in the Northern Part of the Nile Delta, Egypt*. Egypt: Assiut University. Groundwater Vol. 35 (2).
- Hariyadi. 2006. *Penentuan Kedalaman Aquifer Air Asin Di Daerah Ngaglik Sambi Boyolali Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole*. Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Loke, M.H., 1999. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies, A practical guide to 2-D and 3-D surveys*. Penang, Malaysia.
- Purnama, S., Cahyadi, A., Abriarta, E., Khakim, N., & Prihatno, H. 2013. *Identifikasi Airtanah Asin Berdasarkan Pendugaan Geolistrik di Pesisir Kota Cilacap Jawa Tengah*. Yogyakarta: UGM. Geomedia Vol.11 (2).
- Sukardi, & Budhitrisna. 1992. *Peta Geologi Lembar Salatiga, Jawa*. Bandung: Badan Geologi Indonesia.
- Supriyadi, Khumaedi, & Panca, R.N. 2013. *Pola Sebaran Limbah TPA Studi Kasus di Jatibarang Semarang*. Jurnal Manusia dan Lingkungan Vol. 20 (1).
- Supriyanto. 2007. *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi edisi 1*. Departemen Fisika-FMIPA Universitas Indonesia.
- Telford, W.M., Sheriff, R.E., & Geldart, L.P. 1990. *Applied Geophysics, 2nd edition*. New York: Cambridge University Press.