

Technical Paper

Eksplorasi Air Tanah di Pandaan

Groundwater Exploration at Pandaan, East Java

Roh Santoso Budi Waspodo¹**Abstract**

This geoelectricity survey was conducted to get an idea of the distribution of resistivity (rock resistivity) either vertically or laterally, especially the alleged distribution of layers of rock can serve as carriers of water layer or aquifer. The results of this survey are expected to provide data to the PT Sampoerna, about the possibilities of layout, the existence and depth of carrier layers of water that can be used to meet the supply water for the needs of the Integrated Education Training Center. The results of the geoelectricity measurements were generally cannot reach the target depth to be surveyed, where, from the 10 points of sounding wick were conducted, only 3 points could penetrate the >100 m depths in VES VES-2,-6,-7 and VES VES-8. This were likely due to the resistivity characteristics between rock layers which entirely were the product of volcanic activity in the form of breksi, breksi Tuff, lava and tuff were not so different that less could be detected properly. The value of soil or rocks doty resistivity ranged from 0.5 to 868 Ω m, volcanic breksi ranged from 1156 to 1944 Ω m, volcanic breksi and aquifer I (shallow) ranged from 600 to 770 Ω m, tuf ranged from 16 to 80 Ω m, breksi Tuff and aquifer II (deep) ranged from 126 to 226 Ω m. The possibility of the aquifer I (shallow) spreads were throughout the entire VES with the top depth ranged from 1.74 to 15.66 m. The base depth ranged from 14 to 28.59 m. The aquifer I thickness ranged from 8.37 to 16.36 m. The possibility of the aquifer II (deep) spreads were throughout the entire VES-2, VES-5, VES-6, and VES-7 with the top depth ranged from 17.16 to 72.32 m. The base depth ranged from 80 to 149.08 m. The aquifer I thickness ranged from 22,85 to 131,92 m. For the purposes of the water supply, it is recommended to perform the drilling around the VES-5, VES-6, VES-7 and VES-8 or by the VES-2 because in those areas have the potential of 2 aquifer layers or a thick aquifer layer.

Keywords: *Aquifer, groundwater, resistivity*

ABSTRAK

Survey geolistrik ini untuk mendapatkan gambaran mengenai sebaran tahanan jenis (resistivitas lapisan batuan) baik secara vertikal maupun lateral, terutama sebaran lapisan batuan yang diduga dapat berfungsi sebagai lapisan pembawa air atau aquifer. Hasil survey ini diharapkan dapat memberikan data kepada PT. Sampoerna, tentang kemungkinan letak, keberadaan dan kedalaman lapisan pembawa air yang dapat dipergunakan untuk memenuhi *supply* air bagi kebutuhan *Integrated Education Training Center*. Hasil pengukuran dari geolistrik secara umum tidak dapat mencapai target kedalaman yang harus disurvei, dimana dari 10 titik sounding yang dilakukan hanya terdapat 3 titik yang dapat menembus kedalaman >100 m yaitu pada VES-2, VES-6, VES-7 dan VES-8. Hal ini kemungkinan disebabkan karakteristik resistivitas antar lapisan batuan yang seluruhnya merupakan produk dari aktifitas vulkanik berupa breksi, breksi tuf, lava dan tuf ini tidak begitu berbeda sehingga kurang dapat terdeteksi dengan baik. Nilai resistivitas soil atau lapukan batuan berkisar antara 0.5–868 Ω m, breksi vulkanik berkisar antara 1156–1944 Ω m, breksi vulkanik dan aquifer 1 (dangkal) 600–770 Ω m, tuf berkisar antara 16–80 Ω m, breksi tuf dan aquifer 2 (dalam) berkisar antara 126–226 Ω m. Kemungkinan sebaran dari aquifer 1 (dangkal) terdapat di seluruh VES dengan kedalaman top berkisar antara 1.74–15.66 m. Kedalaman base berkisar antara 14– 28.59 m. Ketebalan aquifer 1 berkisar antara 8.37-16.36 m. Kemungkinan sebaran dari aquifer 2 (dalam) terdapat di VES-2, VES-5, VES-6, dan VES 7 dengan kedalaman top berkisar antara 17.16–72.32 m. Kedalaman base berkisar antara 80 – 149.08 m. Ketebalan aquifer 1 berkisar antara 22,85 – 131,92 m. Untuk keperluan *supply* air, disarankan untuk melakukan pemboran disekitar VES-5, VES-6, VES-7 dan VES-8 atau didekat VES-2 karena pada daerah tersebut memiliki potensi 2 lapisan aquifer atau 1 lapisan aquifer yang tebal.

Keyword: *Aquifer, groundwater, resisivity*

Diterima: 06 September 2010; Disetujui: 08 Pebruari 2011

¹ Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fateta IPB

Pendahuluan

Latar Belakang

Pengembangan area PT. Sampoerna untuk keperluan *Integrated Education Training Center* (IETC) memerlukan penambahan supply air di area tersebut. Untuk memenuhi kebutuhan akan peningkatan supply air, maka dibutuhkan beberapa sumur air yang baru guna memenuhi kebutuhan IETC.

Lapisan batuan yang mengandung air atau aquifer merupakan suatu lapisan batuan yang memiliki rongga antar butiran atau rongga akibat rekahan, dimana rongga – rongga tersebut memiliki kandungan air dan mampu mengalirkan air tersebut dalam jumlah yang cukup. Salah satu cara untuk mengetahui adanya lapisan pembawa air adalah dengan metode geofisika dalam hal ini dengan alat geolistrik (*resistivity*). Melalui cara ini lapisan pembawa air atau aquifer dapat diperkirakan kedalaman, ketebalan dan penyebarannya.

Seringkali sebelum dilakukannya pemboran, terlebih dahulu dilakukan survey geolistrik untuk memperkirakan kondisi geologi bawah permukaannya, memperkirakan jenis litologinya, kemungkinan ada atau tidaknya lapisan aquifer serta untuk membantu driller dalam mempersiapkan jenis dan peralatan pemboran yang tepat untuk menembus lapisan batuan tersebut sehingga dapat meminimalkan kegagalan dalam kegiatan pemboran. Oleh karena itu survey geolistrik ini dilakukan untuk memperoleh gambaran geologi bawah permukaan,

terutama dimana terdapat potensi lapisan pembawa air atau aquifer yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan supply air bagi IETC.

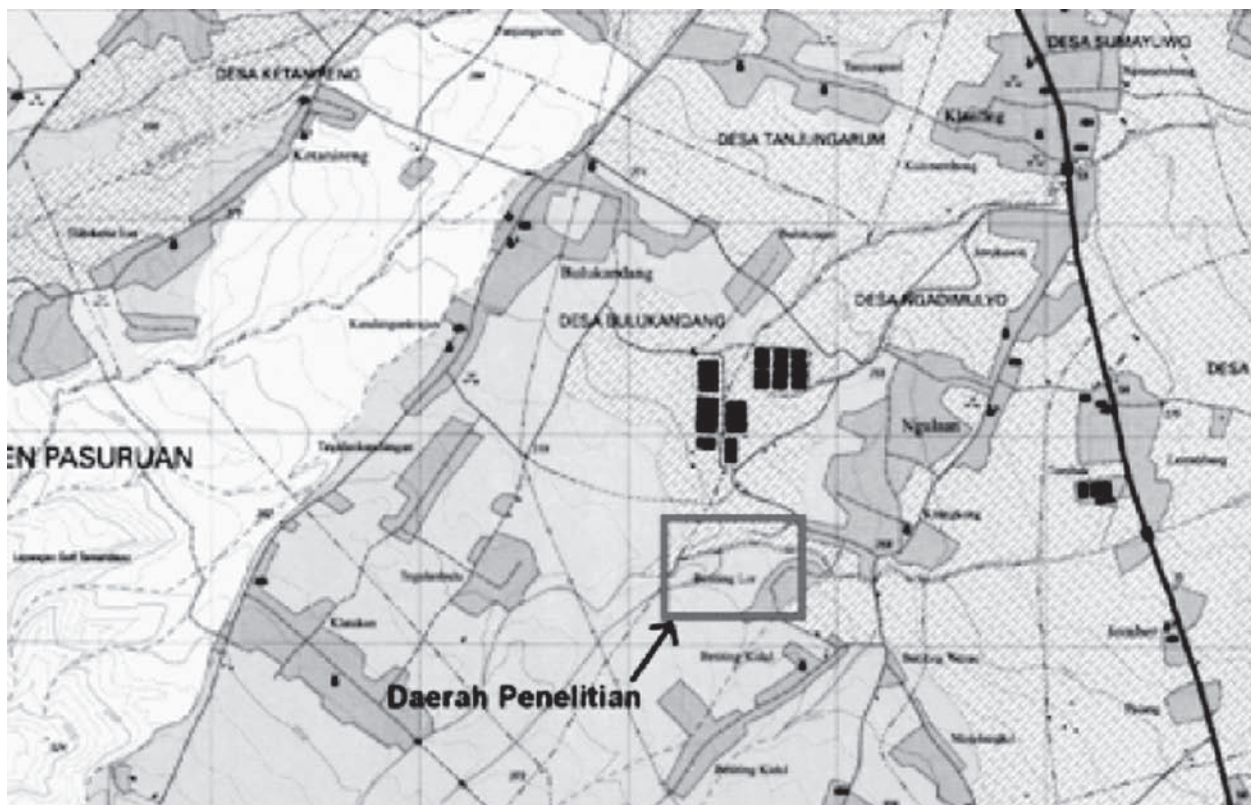
Maksud dan Tujuan

Adapun maksud dari dilakukannya survey geolistrik ini untuk mendapatkan gambaran mengenai sebaran tahanan jenis (resistivitas lapisan batuan) baik secara vertikal maupun lateral, terutama sebaran lapisan batuan yang diduga dapat berfungsi sebagai lapisan pembawa air atau aquifer. Sedangkan tujuan dari dilakukannya survey ini diharapkan dapat memberikan data kepada PT. Sampoerna, tentang kemungkinan letak, keberadaan dan kedalaman lapisan pembawa air yang dapat dipergunakan untuk memenuhi supply air bagi kebutuhan IETC.

Metodologi

Waktu dan Lokasi

Survey geolistrik yang dilakukan pada area PT. Sampoerna secara administratif terletak di Desa Gunting, Kecamatan Sukorejo, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Sedangkan secara geografis, area survey terletak pada koordinat $112^{\circ} 41' 40''$ BT dan $7^{\circ} 42' 12''$ LS sampai $112^{\circ} 41' 52''$ BT dan $7^{\circ} 42' 24''$ LS. Wilayah survey geolistrik disajikan pada Gambar 1, sedangkan peta geologi regional wilayah survey disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta topografi daerah penelitian dan sekitarnya (Bakorsurtanal, 2000)

Stratigrafi Wilayah

Stratigrafi daerah penelitian terdiri dari Batuan Gunung Api Arjuna–Welirang, dimana terdiri dari :

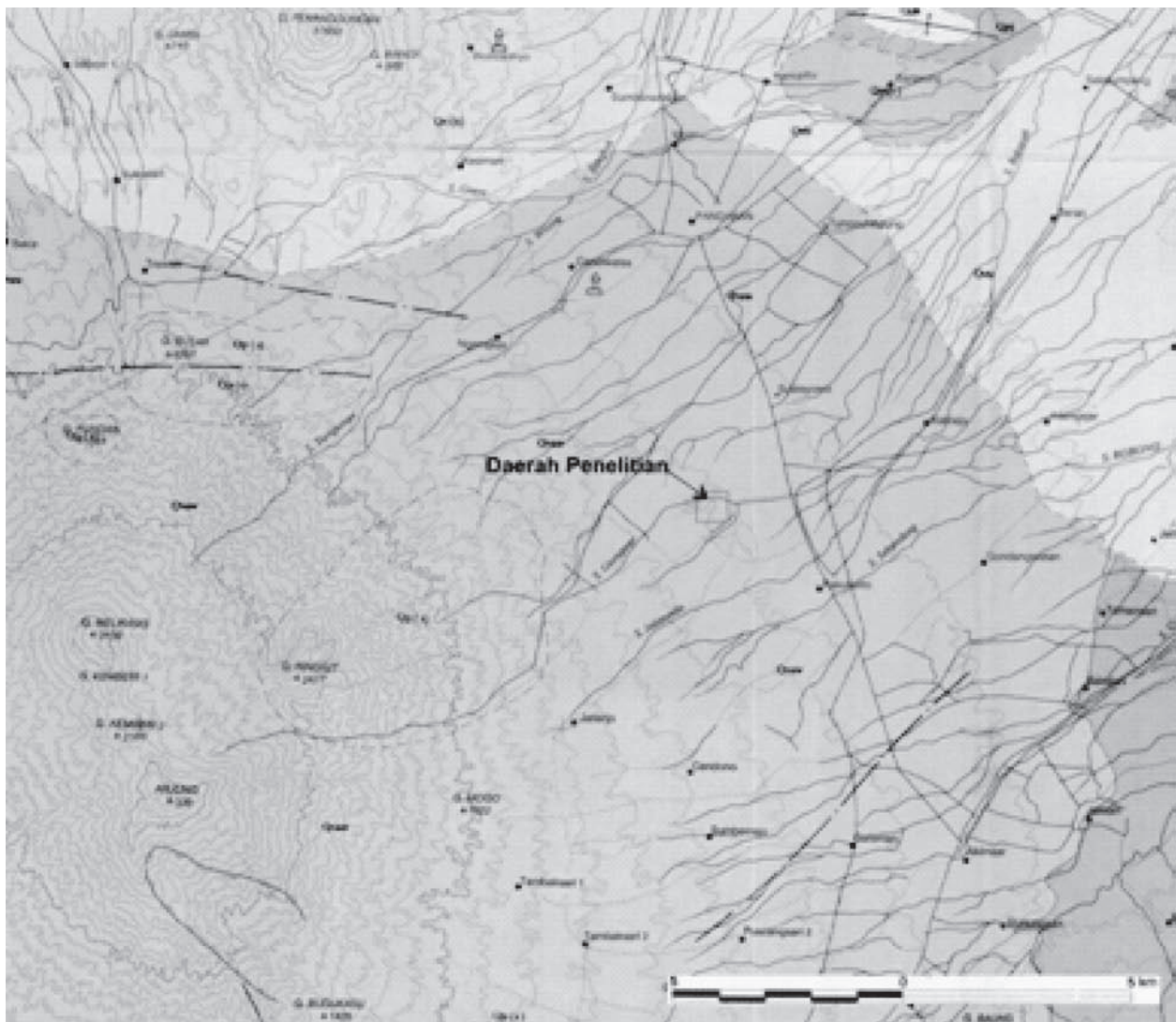
1. *Breksi gunung api*
Berwarna coklat – kuning keruh, bersifat menengah–basa; berukuran pasir–bom, menyudut–membundar tanggung; fragmen sebagian besar andesit, basal, batuapung, obsidian, mineral mafik dan kaca gunung api dengan masadasar tuf pasiran; sedikit mampat, kurang padu, kemas terbuka.
2. *Lava*
Berwarna kelabu, hitam, coklat kemerahan dan kehijauan; bersusunan andesit – basal; umumnya berkomposisi feldspar, piroksen, mineral terang, sedikit mineral mafik atau bijih dan hornblende; setempat porfiri, bervesikuler pada permukaannya membentuk corak seperti kerak roti; terkekarkan, berstruktur aliran atau seperti sisipan melidah dalam breksi.
3. *Breksi tufan*
Berwarna kuning keruh, coklat kelabu dan kemerahan; bersifat menengah, kurang mampat,

mudah lepas, sedikit repih; berbutir pasir kasar – bom, menyudut tanggung, komponen yang berukuran bom tersebar tidak merata; berkomponen andesit, basal, obsidian, batuapung, porfiri, kaca gunung api dan mineral hitam, bermasadasar tuf pasiran; berstruktur perlapisan bersusun, aliran dan setempat silang siur.

4. *Tuf*
Berwarna putih keruh, coklat kelabu muda; berbutir pasir kasar hingga halus, sedikit mampat, setempat terdapat pecahan batuan berukuran lapili yang tersebar tak merata; berkomponen banyak mineral terang, sedikit batuapung, dan kaca atau abu gunungapi.

Peralatan

Alat yang digunakan dalam pelaksanaan survei geolistrik ini menggunakan Earth Resistivity Meter Naniura NRD 22 S dengan berat alat ± 10 kg. Alat ini menggunakan *input power* dari accu 12 V, 45 A dengan *output* yang dihasilkan mulai dari 5 - 500 A.



Gambar 2. Peta Geologi Regional wilayah survey potensi air tanah (Santosa S dan T. Suwarti, 1986)

Peralatan penunjang yang dipergunakan untuk keperluan survey geolistrik ini antara lain :

1. Kabel sepanjang 500 m sebanyak 2 unit untuk elektroda arus.
2. Kabel sepanjang 300 m sebanyak 2 unit untuk elektroda potensial.
3. Elektroda stainless stell sebanyak 4 unit.
4. AVO meter 1 unit.
5. Kompas Geologi 1 unit.
6. Rol Meteran sepanjang 50 m sebanyak 4 unit.
7. Palu sebanyak 4 unit.
8. Handy Talky sebanyak 3 unit.
9. GPS Garmin 1 unit.

Teknik Pengukuran Geolistrik

Secara umum setiap batuan memiliki tahanan jenis yang berbeda satu dengan lainnya, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

1. Ukuran butiran penyusun batuan.
2. Komposisi dari kandungan air.
3. Kepadatan material lapisan.
4. Porositas batuan atau lapisan (permeabilitas batuan).

Berdasarkan faktor-faktor diatas maka metoda resistivity dapat digunakan untuk mendeteksi lapisan-lapisan batuan terutama lapisan batuan sedimen, fresh (*bedrock*), breksi atau pasir dengan

kemiringan yang tidak terlalu tajam. Dari beberapa titik duga dapat diketahui pola penyebaran lapisan-lapisan batuan kearah tegak maupun mendatar, beberapa keterbatasan kemampuan metoda ini adalah bila yang ingin diketahui atau dicari berada pada lapisan tipis dengan respon tahanan jenis rendah.

Teknik Pengukuran metoda geolistrik yang dilakukan pada survey ini adalah teknik Vertical Electrical Sounding (VES) dengan menggunakan susunan elektrode konfigurasi Schlumberger sebanyak 10 titik dengan panjang $AB/2 = 300$ m, sehingga diharapkan dapat mendeteksi variasi resistivitas lapisan batuan hingga ± 150 m dibawah permukaan tanah. Gambaran dari susunan elektrode sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.

Teknik pengukuran dilapangan menggunakan konfigurasi elektrode dipole-dipole, dapat dilihat pada Gambar 4. Arus listrik (I) dari sebuah transmitter diinjeksikan ke dalam tanah melalui elektrode arus CE_A dan CE_B . Beda-potensial (ΔV) yang muncul diukur dengan alat receiver melalui elektrode potensial PE_M dan PE_N . Tahanan-jenis bawah permukaan bumi biasanya tidak homogen, oleh karena itu tahanan-jenis yang didapat dari lapangan bukan tahanan-jenis yang sebenarnya melainkan tahanan-jenis semu.



Gambar 3. Foto singkapan batuan breksi gunung api di sekitar wilayah survey

Tabel 1. Beberapa variasi nilai resistivitas batuan atau mineral secara umum

Common Rocks/Materials	Resistivity (ohm meters)	Ore Minerals	Resistivity (ohm meters)
Clay	1 – 100	Pyrrhotite	0.001 – 0.01
Graphitic Schist	10 – 500	Galena	0.001 – 100
Topsoil	50 – 100	Cassiterite	0.001 – 10,000
Gravel	100 – 600	Chalcopyrite	0.005 – 0.1
Weathered Bedrock	100 – 1000	Pyrite	0.01 – 100
Gabbro	100 – 500,000	Magnetite	0.01 – 1,000
Sandstone	200 – 8,000	Hematite	0.01 – 1,000,000
Granite	200 – 100,000	Sphalerite	1000 – 1,000,000
Basalt	200 – 100,000		
Limestone	500 – 10,000		
Slate	500 – 500,000		
Quartzite	500 – 800,000		
Greenstone	500 – 200,000		

Variasi Nilai Resistivitas Batuan

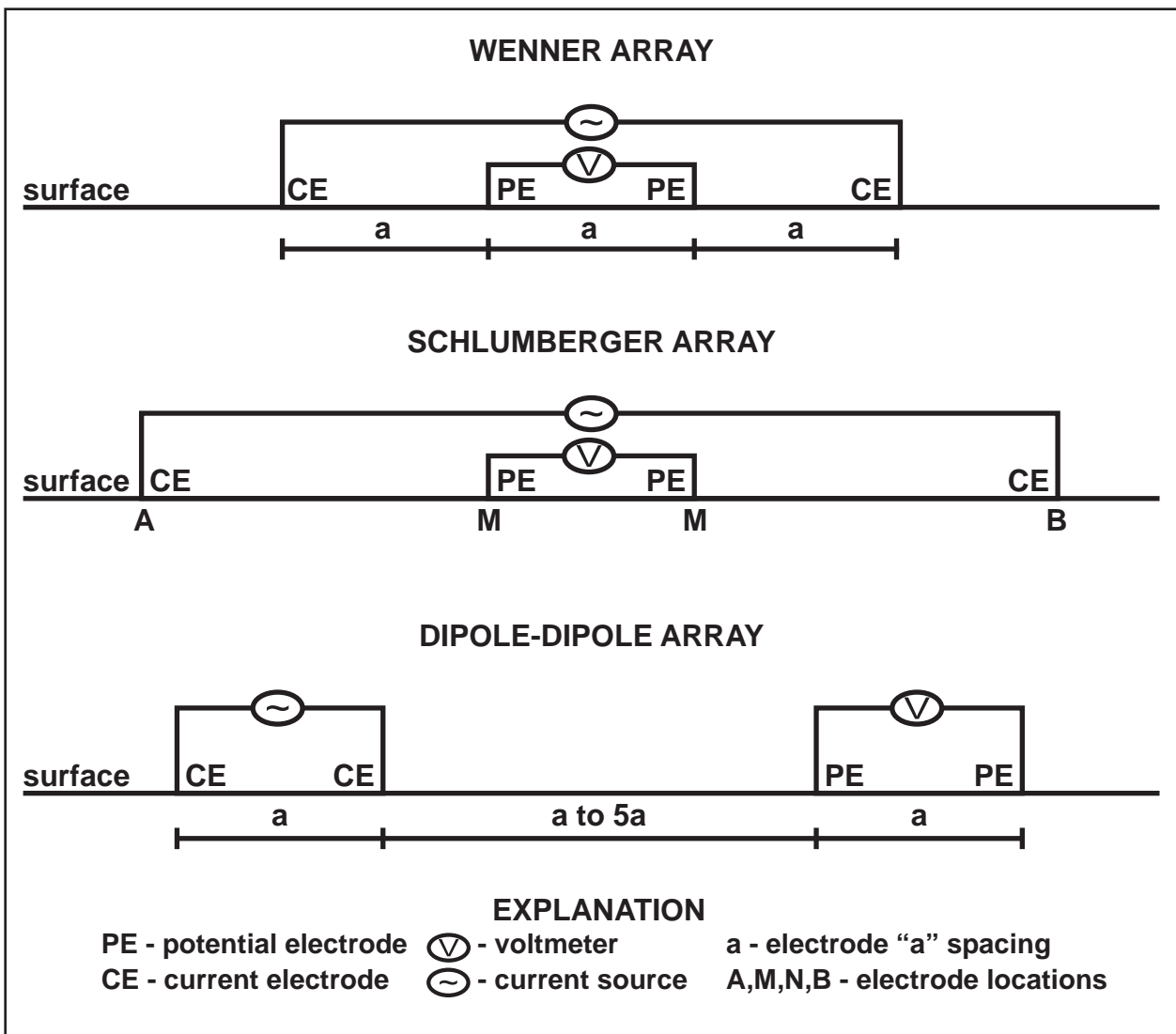
Setiap batuan memiliki variasi nilai resistivitas yang berbeda-beda, ada berbagai faktor-faktor yang dapat mempengaruhi besar atau kecilnya nilai resistivitas batuan seperti yang telah dibahas sebelumnya. Sebagai acuan atau parameter dalam melakukan interpretasi nilai resistivitas yang didapat bila dihubungkan dengan jenis batuanya atau mineral dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini :

Hasil dan Pembahasan

Analisis Hasil Pengukuran Tiap VES

1. VES-1

Litologi pada VES-1 ini diperkirakan terdiri dari soil/lapukan dari breksi vulkanik hingga kedalaman 5.03 m, breksi vulkanik hingga kedalaman 12.14 m, breksi vulkanik dan lapisan aquifer 1 hingga kedalaman 24.07 m dan tuf hingga kedalaman > 55 m.



Gambar 4. Berbagai susunan elektrode yang sering digunakan dalam survey geolistrik. Susunan Elektrode Wenner (atas), Schlumberger (tengah) dan Dipole-Dipole (bawah)

2. **VES-2**

Litologi pada VES-2 ini diperkirakan terdiri dari soil/lapukan dari breksi vulkanik hingga kedalaman 2.01 m, breksi vulkanik dan lapisan aquifer 1 hingga kedalaman 17.16 m, breksi tuf dan lapisan aquifer 2 hingga kedalaman 149.08 m dan tuf hingga kedalaman > 220 m.

3. **VES-3**

Litologi pada VES-3 ini diperkirakan terdiri dari soil/lapukan dari breksi vulkanik hingga kedalaman 7.34 m, breksi vulkanik hingga kedalaman 12.38 m, breksi vulkanik dan lapisan aquifer 1 hingga kedalaman 20.75 m dan tuf hingga kedalaman > 30 m.

4. **VES-4**

Litologi pada VES-4 ini diperkirakan terdiri dari soil/lapukan dari breksi vulkanik hingga kedalaman 3.19 m, breksi vulkanik kedalaman 11.88 m, breksi vulkanik dan lapisan aquifer 1 hingga kedalaman 21.74 m, dan tuf hingga kedalaman > 30 m.

5. **VES-5**

Litologi pada VES-5 ini diperkirakan terdiri dari soil/lapukan dari breksi vulkanik hingga kedalaman 6.06 m, breksi vulkanik dan lapisan aquifer 1 hingga kedalaman 16.54 m, tuf hingga kedalaman 57.15 m, breksi tuf dan lapisan aquifer 2 hingga kedalaman > 80 m.

6. **VES-6**

Litologi pada VES-6 ini diperkirakan terdiri dari soil/lapukan dari breksi vulkanik hingga kedalaman 3.02 m, breksi vulkanik dan lapisan aquifer 1 hingga kedalaman 14.06 m, tuf hingga kedalaman 72.32 m, breksi tuf dan lapisan aquifer 2 hingga kedalaman > 100 m.

7. **VES-7**

Litologi pada VES-7 ini diperkirakan terdiri dari soil/lapukan dari breksi vulkanik hingga kedalaman 3.02 m, breksi vulkanik dan lapisan aquifer 1 hingga kedalaman 14.06 m, tuf hingga kedalaman 72.32 m, breksi tuf dan lapisan aquifer 2 hingga kedalaman > 100 m.

8. **VES-8**

Litologi pada VES-8 ini diperkirakan terdiri dari soil/lapukan dari breksi vulkanik hingga kedalaman 14.15 m, breksi vulkanik hingga kedalaman 22.98 m, tuf hingga kedalaman > 180 m.

9. **VES-9**

Litologi pada VES-9 ini diperkirakan terdiri dari soil/lapukan dari breksi vulkanik hingga kedalaman 3.78 m, breksi vulkanik hingga kedalaman 12.98 m, breksi vulkanik dan lapisan aquifer 1 hingga kedalaman 26.35 m, tuf hingga kedalaman >35 m.

10. **VES-10**

Litologi pada VES-10 ini diperkirakan terdiri dari soil/lapukan dari breksi vulkanik hingga kedalaman 3.76 m, breksi vulkanik hingga

kedalaman 15.66 m, breksi vulkanik dan lapisan aquifer 1 hingga kedalaman 28.59 m, tuf hingga kedalaman > 40 m.

Analisis Penampang Resistivitas

1. Line 1

Line 1 ini merupakan penampang resistivitas dari VES-3, VES-4, VES-9 dan VES-7 yang dibuat untuk memberikan gambaran kondisi geologi bawah permukaannya dan keberadaan aquifer pada khususnya. Pada line 1 ini, kemungkinan aquifer 1 (dangkal) memiliki nilai resistivitas berkisar antara 600–770 Ωm dengan litologi breksi gunungapi, dimana pelamparannya diperkirakan mulai dari VES-3 menerus hingga VES-7, top dari aquifer 1 ini diperkirakan terletak pada kisaran kedalaman 2–12 m dibawah permukaan tanah, base dari aquifer 1 ini terletak pada kisaran kedalaman 18–26.3 m dibawah permukaan tanah dengan ketebalan antara 8.3–16.3 m.

Potensi dari aquifer 2 (dalam) pada line 1 ini hanya terdeteksi pada VES-9 dengan nilai resistivitas 126 Ωm dengan litologi kemungkinan berupa breksi tuf dimana top dari aquifer 2 ini diperkirakan berada pada kedalaman 65.9 m dibawah permukaan tanah VES-9, sedangkan base dari aquifer ini tidak terdeteksi di VES lain sepanjang line 1 ini, sehingga tidak dapat diperkirakan sebaran maupun ketebalan dari aquifer 2 ini.

2. Line 2

Line 2 ini merupakan penampang resistivitas dari VES-5, VES-8, VES-9 dan VES-1. Pada line 2 ini diperkirakan juga terdapat aquifer 1 (dangkal) yang memiliki nilai resistivitas sekitar 746 Ωm dengan litologi breksi gunungapi terdapat dibawah VES-5 dengan kedalaman top aquifer pada 6.1 m dibawah permukaan tanah dan kedalaman base aquifernya terletak pada kisaran 16.6 m dengan ketebalan ± 10.5 m. Sebaran dari aquifer 1 pada VES-5 ini diperkirakan tidak menerus hanya berada disekitar VES-5 yang kemudian secara berangsur menghilang sebelum sampai pada VES-8.

Aquifer 1 (dangkal) ini diperkirakan muncul kembali dibawah VES-9 dan VES-1 dengan nilai resistivitas antara 685 – 770 Ωm dengan litologi breksi gunungapi, top aquifer 1 diperkirakan berada pada kedalaman 12 – 13 m dibawah permukaan tanah, sedangkan base dari aquifer 1 ini berada pada kisaran 24 – 26 m dibawah permukaan tanah dengan ketebalan antara 12 – 13 m yang kemudian secara berangsur menghilang kearah VES-8.

Potensi aquifer 2 (dalam) pada line 2 ini juga kurang begitu jelas terdeteksi, hanya saja top dari aquifer 2 ini terdeteksi pada VES-5 dengan nilai resistivitas 226 Ωm yang diperkirakan litologinya

berupa breksi tuf berada pada kedalaman 57 m dibawah permukaan tanah dan base aquifer ini terdeteksi pada VES-8 dengan nilai resistivitas 194 Ω m pada kedalaman 129 m dibawah permukaan tanah.

Jika diasumsikan bahwa top dari aquifer 2 ini menggunakan data VES-5 dan base dari aquifer 2 ini menggunakan data pada VES-8 dan pola penyebarannya menerus hingga VES-9 dan VES-1 dengan mengikuti pola lapisan diatasnya, maka top aquifer 2 ini diperkirakan berada pada kedalaman 57.1–66.9 m dibawah permukaan tanah dan base dari aquifer 2 ini diperkirakan berada pada kedalaman 122.6 – 132.4 m dibawah permukaan tanah dengan ketebalan aquifer \pm 65.5 m.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari hasil survey geolistrik untuk keperluan supply air bagi *Integrated Education Training Center* di area PT. Sampoerna adalah :

1. Geomorfologi daerah penelitian terletak di kaki Gunung Arjuna – Welirang dengan ketinggian \pm 300 mdpl, dengan kemiringan lereng sekitar 5–10° yang termasuk kedalam satuan geomorfologi perbukitan
Pola aliran sungainya sejajar (pararel), bersifat sementara dan berkala, berlembah sempit hingga agak lebar dan bertebing terjal. Sedangkan litologi daerah penelitian terdiri dari breksi vulkanik, breksi tuf, tuf dan lava.
2. Hasil pengukuran dari geolistrik secara umum tidak dapat mencapai target kedalaman yang harus disurvei, dimana dari 10 titik sounding yang dilakukan hanya terdapat 3 titik yang dapat menembus kedalaman >100 m yaitu pada VES-2, VES-6, VES-7 dan VES-8. Hal ini kemungkinan disebabkan karakteristik resistivitas antar lapisan batuan yang seluruhnya merupakan produk dari aktifitas vulkanik berupa breksi, breksi tuf, lava dan tuf ini tidak begitu berbeda sehingga kurang dapat terdeteksi dengan baik.
3. Nilai resistivitas soil atau lapukan batuan berkisar antara 0.5–868 Ω m, breksi vulkanik berkisar antara 1156–1944 Ω m, breksi vulkanik dan aquifer 1 (dangkal) 600–770 Ω m, tuf berkisar antara 16–80 Ω m, breksi tuf dan aquifer 2 (dalam) berkisar antara 126–226 Ω m.
4. Kemungkinan sebaran dari aquifer 1 (dangkal) terdapat di seluruh VES dengan kedalaman top

berkisar antara 1.74–15.66 m. Kedalaman base berkisar antara 14– 28.59 m. Ketebalan aquifer 1 berkisar antara 8.37-16.36 m.

5. Kemungkinan sebaran dari aquifer 2 (dalam) terdapat di VES-2, VES-5, VES-6, dan VES 7 dengan kedalaman top berkisar antara 17.16–72.32 m. Kedalaman base berkisar antara 80 – 149.08 m. Ketebalan aquifer 1 berkisar antara 22,85 – 131,92 m.

Saran

Adapun saran yang dapat dipertimbangkan dari hasil survey geolistrik untuk keperluan supply air bagi *Integrated Education Training Center* di area PT. Sampoerna adalah :

1. Untuk keperluan supply air, disarankan untuk melakukan pemboran disekitar VES-5, VES-6, VES-7 dan VES-8 atau didekat VES-2 karena pada daerah tersebut memiliki potensi 2 lapisan aquifer atau 1 lapisan aquifer yang tebal.
2. Bagi *driller* yang akan melakukan pemboran, sekiranya perlu disiapkan peralatan pemboran yang cocok untuk menembus lapisan batuan vulkanik seperti breksi dan lava yang banyak sekali mengandung fragmen atau bongkah-bongkah berukuran besar.

Daftar Pustaka

- Emch, P.G. dan W.W.G. Yeh. 1998. *Management Model for Conjunctive Use of Coastal Surface water and Groundwater*. Journal of Water Resources Planning and Management, *American Society of Civil Engineers*, 124 (3), 129
- Fetter, C.W. 1994. *Applied Hydrogeology*. 3rd Ed. Merrill Publishing Company, Ohio, USA.
- Grigg, N.S., 1996. *Water Resources Management*. Mc Graw-Hill, New York, 29 – 59.
- Mays, L.W. 1992. *Water Resources Handbook*, McGraw-Hill, Singapore 6.32 – 6.33.
- Mays, L.W. dan Y.K. Tung (1992), *Hydrosystem Engineering & Management*, McGraw-Hill, Singapore, 1-20, 323-348
- Nemec, J. 1972. *Engineering Hydrology*. Mc Graw Hill. London
- Sosrodarsono, S. Dan K.Takeda,1993. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Pradnya Paramita, Jakarta, 1-5
- Suripin. 2001. *Pelestarian Sumberdaya Air dan Tanah*. Penerbit Andi, Yogyakarta
- Ward, A. D. dan W. J. Elliot. 1995. *Environmental Hydrology*. CRC Press Inc., Florida.