

APLIKASI METODE TAHANAN JENIS DALAM STUDI GEOLOGI KARST GUA SEROPAN DI GUNUNG KIDUL YOGYAKARTA

GEOELECTRIC RESISTIVITY APPLICATION FOR CAVE DETERMINING IN SEROPAN AREA GUNUNG KIDUL, YOGYAKARTA

Pulung A. Pranantya¹⁾, Nurlia Sadikin²⁾

^{1,2)}Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Balitbang PU
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Jl. Ir.H.Juanda 193, Bandung, Jawa Barat, Indonesia
E-Mail: poel_pranantya@yahoo.com

Diterima: 4 Maret 2014; Direvisi: Maret 2014; Disetujui: 28 Juli 2015

ABSTRAK

Secara geologi, sebagian besar wilayah Kabupaten Gunungkidul bagian selatan merupakan penyebaran Formasi Wonosari, yang disusun oleh batugamping. Permukaan tanah daerah ini memperlihatkan sebagai daerah kering yang mengalami kesulitan sumber air baku, walau sebenarnya di daerah ini terdapat cukup banyak sumber air berupa sungai bawah permukaan atau gua atau luweng berair. Di daerah Pacarejo, Kecamatan Semanu informasi yang diperoleh dari penuturan masyarakat terdapat gua Seropan yang berair tawar. Gua ini terletak di dasar tebing yang memiliki kedalaman 65 m. Eksplorasi tahap awal dilakukan dengan metode resistivitas secara dua dimensi atau biasa disebut tahanan jenis multichannel. Hasil interpretasi menunjukkan terdapat indikasi gua dan sungai bawah tanah berair tawar. Iso-pach kedalaman gua dari permukaan tanah yang bergelombang berkisar antara 80 m sampai 200 m di bawah muka tanah. Pemanfaatan air dari gua Seropan dapat dilakukan melalui pemipaan yang dipasang pada tebing sampai masuk ke gua, atau melalui pengeboran. Posisi pengeboran yang disarankan berada berdasarkan hasil interpretasi untuk pembuatan sumur bor adalah pada koordinat 110°22'23.6388" BT 8°4'2.874" LS.

Kata Kunci: Batu gamping, Gua Seropan, Gunung Kidul, metode tahanan jenis, sungai bawah permukaan

ABSTRACT

In terms of geology, most areas in south of the Gunung Kidul District in Central Java consist of the Wonosari formation limestone. The land is generally very dry and source of raw water is also difficult to reach. Findings on the existence of underground river in caves, however, indicate the potential amount of water within the area, especially in the eastern part of the Gunung Kidul District. Although limited information available, some fishermen have discovered that Seropan cave contains fresh water source. This cave is situated at 65 m below the cliff. Initial exploration, which done using a multichannel resistivity method, confirmed the availability of freshwater in the cave and underground river. The isopach of cave depth is found in ranges of 80 – 200 m below the ground surface. The water of Seropan cave can be utilized by implementing pipeline or by drilling at the suggested point based on the interpretation results, i.e. 110°22'23.6388" EL 8°4'2.874" SL.

Key word: Limestone, fresh water, sub-surface river, multichannel resistivity method, mapping

PENDAHULUAN

Sebagian daerah Gunungkidul merupakan bagian dari Gunung Sewu yang disusun oleh batu gamping, membentang antara daerah Parang Tritis, Yogyakarta sampai Pacitan. Umumnya air hujan yang jatuh di permukaan tanah akan mengalir dan hilang masuk ke dalam saluran atau sungai bawah permukaan melalui luweng (*sinkhole*).

Hilangnya air dari permukaan tanah telah menyebabkan masyarakat yang tinggal di daerah ini kesulitan memperoleh air baku, baik air baku untuk air minum atau air baku untuk pertanian. Terutama untuk air minum, masyarakat berusaha memanfaatkan setiap sumber yang ada, seperti menampung air hujan dalam PAH (penampungan air hujan) atau air telaga yang sangat tergantung pada musim hujan.

Pada tahun 1982 Tim dari Inggris telah melakukan survei dan mendokumentasikan 160 buah gua dan luweng dari 246 buah yang telah diketahui masyarakat. Terdapat 42 lokasi gua atau luweng yang mengandung air dan berpotensi untuk dikembangkan (MacDonald, 1984). Saat ini beberapa sumber air yang telah dikembangkan antara lain di Baron dan Bribin. Karena faktor jarak dan elevasi, pemanfaatan sungai bawah permukaan ini menjadi tidak mudah untuk dilakukan. Untuk mewujudkan itu, dalam pelaksanaan konstruksi dan pemeliharannya diperlukan biaya yang sangat besar.

Tidak adanya air permukaan telah menyebabkan masyarakat yang tinggal di daerah ini kesulitan memperoleh air baku, baik untuk air minum atau untuk pertanian. Terutama air baku untuk air minum, masyarakat berusaha memanfaatkan setiap sumber yang ada seperti menampung air hujan dengan PAH (penampungan air hujan) atau air telaga. Namun demikian penampungan sumber-sumber air tersebut, sangat tergantung pada musim hujan. Kenampakan sebagai daerah kering di permukaan, sebenarnya tidak selalu menunjukkan bahwa di daerah ini tidak ada sumber air. Di tempat-tempat tertentu terdapat sumber air yang cukup melimpah. Air tersebut merupakan air yang hilang melalui saluran-saluran bawah permukaan, kemudian bergabung membentuk sungai bawah tanah. Pemanfaatan air dari sumber-sumber sungai bawah permukaan sangat sulit, karena hambatan jarak atau elevasi dan dalam pelaksanaannya memerlukan biaya yang sangat besar dalam pembangunan serta pemeliharannya.

Salah satu gua yang terdapat di Kecamatan Ponjong adalah Gua Seropan terletak di Desa Gombang. Keberadaan gua ini yang didasarkan dari penuturan masyarakat setempat, juga dari dokumentasi ekspedisi pencinta alam *Acintyacunyata Speleological* atau yang dikenal dengan ASC. Gua ini pertama kali ditelusuri dan dipetakan pada tahun 1988. Hasil pengukuran sesaat pada tahun 2008, di dalam gua terdapat aliran air tawar dengan debit 750 liter/detik. Keberadaan sumber air tawar di daerah yang sangat sulit sumber air tentunya cukup menjanjikan untuk dieksplorasi.

Maksud kegiatan penelitian ini adalah untuk menentukan jenis batuan, kedalaman dan penyebarannya, kondisi bawah permukaan dari keberadaan gua serta sebaran aliran bawah permukaan melalui pemetaan di sekitar Gua Seropan berdasarkan pengukuran tahanan jenis

Tujuannya adalah untuk melakukan identifikasi arah kemenerusan gua dan penentuan lubang bor sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber air baku. salah satu upaya memanfaatkan air dari

aliran bawah permukaan di Gua Seropan adalah dengan pengeboran.

Lokasi daerah pengukuran tahanan jenis (*Resistivity*) di Gua Seropan ini dibatasi di daerah sekitar Desa Gombang, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunung Kidul, Propinsi D.I. Yogyakarta. Untuk mencapai daerah tersebut dapat ditempuh dengan melewati jalan darat melalui jalur selatan (Bandung – Tasik – Banjar – Kebumen – Wates – Jogjakarta - Wonosari) yang terletak 100 m dari jalan Wonosari – Bedoyo dan dapat ditempuh dengan waktu sekitar ± 8 jam, dengan infrastruktur jalan sangat baik.

TINJAUAN PUSTAKA

1 Geologi

Kondisi geologi mengacu kepada Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1 : 100.000 dan (Rahardjo, W. dkk,1995). Terdapat beberapa formasi stratigrafi penyusun litologi di kawasan ini. Urutan stratigrafi dari yang berumur tua hingga muda, batuan yang ada di daerah Temon dan sekitarnya, adalah Formasi Nglanggran (Tmn), Formasi Sambipitu (Tms), Formasi Wonosari (Tmwl), Formasi Kepek (TmPk), Endapan Gunungapi Merapi Muda (Qmi), dan Aluvium (Qa). Formasi Nglanggran merupakan batuan tertua, terdiri atas breksi vulkanik, breksi aliran, aglomerat, lava, dan tuf. Breksi pejal dan berlapis tersingkap dengan baik di tebing lembah Kali Oyo. Pada bagian singkapan ini terdapat tuf dengan perlapisan bersusun. Di bagian tengah formasi pada breksi vulkanik ditemukan batugamping koral yang membentuk lensa atau kepingan. Setempat satuan ini disisipi batupasir gunungapi epiklastika dan tuf yang berlapis baik. Dalam akuifer hard-rock, zona retak merupakan daerah eksploitasi air minum yang memadai tetapi juga potensi jalur kontaminasi. Salah satu isu penting dalam penelitian hidrogeologi adalah untuk mengidentifikasi, mengkarakterisasi, dan memantau zona retak tersebut pada skala representatif. Sebuah tes pelacak dipantau dengan permukaan resistivitas listrik tomography (ERT) bisa membantu dengan menggambarkan jalur aliran preferensial tersebut dan memperkirakan sifat dinamis dari akuifer (Robert, T., 2012).

Formasi Sambipitu menindih selaras Formasi Nglanggran, terdiri dari tuf, serpih, batulanau, batupasir, dan konglomerat. Bagian bawah terdiri atas batupasir kasar terutama batupasir sela yang tidak berlapis dan batupasir halus yang setempat diselingi serpih dan batulanau gampingan, setempat dijumpai lensa breksi andesit, klastika lempung dan kepingan karbon.

Formasi Wonosari terdiri atas batugamping terumbu, kalkarenit, dan kalkarenit tufan. Di

bagian selatan batugamping terumbu yang masif dan sebelah utaranya dekat hulu Kali Urang, batugamping berfosil yang keras dan sarang berwarna abu-abu muda dengan struktur bioherm berselang-seling dengan kalkarenit berwarna abu-abu muda yang berstruktur silang siur. Batupasir gampingan dijumpai dalam bentuk melensa dan jarang ditemui. Batugamping klastik yang kasar dan berfosil, berselang-seling dengan kalkarenit tufan yang tidak tahan terhadap pelapukan, dimana sifat tufan pada Formasi ini kelihatan semakin ke utara semakin besar. Umur dari Formasi Wonosari ini diperkirakan terjadi pada Miosen Tengah sampai Pliosen bawah. Bagian bawah menjemari dengan bagian atas Formasi Oyo dan bagian atasnya menjemari dengan bagian bawah Formasi Kepek.

Formasi Kepek terdiri atas napal dan batugamping berlapis. Umumnya berlapis baik dengan kemiringan kurang dari 10° dan kaya akan fosil foram kecil, dimana pada hulu Sungai Rambatan sebelah barat Wonosari membentuk sinklin. Umur dari Formasi Kepek ini berkisar antara Miosen Akhir hingga Pliosen.

Pada Zaman Kuartar-Holosen diendapkan Endapan Gunungapi Merapi Muda yang terdiri dari tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan, serta Endapan Aluvial yang terdiri atas kerakal, pasir, lanau, dan lempung, tersebar disepanjang sungai yang besar dan dataran pantai.

2 Gua/luweng

Beberapa gua/luweng atau sungai bawah permukaan di Kabupaten Gunungkidul yang memiliki sumber air cukup besar dan sudah dimanfaatkan airnya, di antaranya Sumber Baron dan Gua Bribin.

- 1) Sumber Baron, memiliki panjang 150 m mengalirkan air tawar dengan kualitas baik dan debitnya 8.200 lt/det (1984). Saat ini airnya telah dieksploitasi dengan pemasangan pompa selam di sekitar mulut gua, dan sedang dalam konstruksi untuk menambah kapasitas pemanfaatan airnya.
- 2) Gua Bribin, memiliki panjang 3.900 m, debitnya berkisar antara 1.000 lt/det sampai 1450 lt/det (1984). Saat ini air dari gua Bribin telah dimanfaatkan melalui pemompaan dari gua Bribin 1, dan telah dikonstruksi bendungan bawah tanah sebagai lokasi Bribin 2.

Metode geolistrik tahanan jenis adalah metode geolistrik aktif dengan sumber listrik buatan (Kirsch Reinhard, 2006), pengukuran dilakukan dengan memberi energi listrik (Amper) ke bumi melalui titik A dan B (Gambar 1), mengamati beda potensialnya (Volt) pada titik MN dan diperoleh nilai tahanan batuan (Ohm) dari rumus :

$$V = I \cdot R \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

I = besarnya arus yang dikirim (Ampere)

V = perbedaan potensial yang diukur (Volt)

R = tahananbatuan(ohm)

Nilai tahanan jenisnya (ρ_a) dipengaruhi oleh hubungan antara besarnya nilai tahanan batuan (R) dengan kedalaman yang diukur (a) dan geometrisnya. Tahanan jenis material didefinisikan sebagai:

$$\rho = R \cdot A / L \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

ρ , tahanan jenis material atau rho (Ohm-m)

R, tahanan listrik yang diukur (Ohm)

L, panjang (m)

A, luas penampang (m²)

Secara umum pengukuran geolistrik tahanan jenis di permukaan (Hendra Grandis, 2008, Kirsch Reinhard,2006) , dilakukan dengan cara:

- 1) Pendugaan VES (*vertical electric sounding*). Dilakukan untuk Bertujuan untuk mempelajari variasi batuan di bawah permukaan secara vertikal dengan cara mengubah-ubah jarak elektrode. Susunan atau susunan elektrode yang sering digunakan antara lain, *Wenner* dan *Schlumberger*. Interpretasi dilakukan untuk menentukan ketebalan dan jenis batuan berdasarkan nilai tahanan jenisnya. Interpretasi secara tidak langsung dengan memplot data lapangan pada grafik log-log 6,25 mm atau 83,3 mm menjadi lengkung lapangan, antara nilai tahanan jenis (ρ_a) terhadap kedalaman (a) untuk Wenner dan nilai tahanan jenis (ρ_a) terhadap AB/2 (setengah jarak elektrode arus) untuk susunan electrode Schlumberger. Kemudian lengkung lapangan, disesuaikan dengan lengkung baku. Sedangkan untuk interpretasi langsung dengan menggunakan piranti lunak (*software*) antara lain *RESIX*, *RES2DINV* dan *IP2WIN*.
- 2) Pemetaan atau *mapping* secara lateral pada kedalaman tertentu. Dilakukan untuk untuk mempelajari variasi tahanan jenis lapisan bawah permukaan secara horisontal, dimana susunan yang dipergunakan di setiap titik pengukuran harus sama, sehingga dapat dibuat kontur isoresistivitasnya. Susunan elektrode yang digunakan antara lain, *Dipole-dipole*, *Three-Point*, *Mise-A-La Mase*, *Wenner* dan *Schlumberger*.
- 3) *Tomografi* pemetaan secara lateral dan vertikal untuk data 2 dan 3 dimensi.

Pemetaan jenis batuan secara vertikal dan horisontal yang dilakukan secara bersamaan dengan satu susunan elektrode, yang sering digunakan antara lain susunan elektrode Wenner atau Schlumberger.

Contoh perkiraan beberapa nilai tahanan jenis dari tanah/batuan dan perkiraan nilai tahanan jenis air (Kollert, 1969), dapat diperiksa pada Tabel 1.

Tabel 1 Tahanan Jenis Air

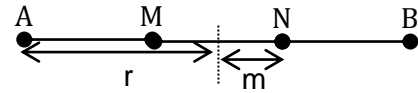
Tipe	Ohm-meter	Keterangan
Air meteorik	30 – 1000	Dari hujan
Air permukaan	30 – 500	Di daerah batuan beku
Air permukaan	10 – 150	Di daerah batuan sedimen
Air tanah	30 – 150	Di daerah batuan beku
Air tanah	> 1	Di daerah batuan sedimen
Air laut	sekitar 0,2	
Air untuk rumah tang	> 1,8	Kandungan garam paling tinggi diijinkan 0,25 %
Air untuk irigasi atau ung-an air	> 0,65	Kandungan garam paling tinggi diijinkan 0,7 %

Sumber : Kollert, 1969

Metode yang digunakan dalam pemetaan geologi bawah permukaan adalah dengan pemetaan geolistrik tahanan jenis atau “Resistivity Mapping” menggunakan 2 (dua) susunan elektrode, ialah susunan elektrode Wenner dan Schlumberger. Permasalahan yang muncul dalam rangka pemanfaatan adalah sumber-sumber sungai bawah permukaan ini sulit dalam memanfaatkan airnya karena hambatan jarak atau elevasi, sehingga dalam pembangunan dan pemeliharannya memerlukan biaya yang sangat besar. Selain itu, dapat menampilkan perbedaan yang menyolok antara air yang mempunyai nilai tahanan jenis rendah dibandingkan batugamping, rongga atau aliran gua yang mempunyai nilai tahanan jenis tinggi. Kelebihan lainnya dari pengukuran menggunakan metode tahanan jenis ini adalah dapat dilakukan di lahan yang bergelombang, serta kemampuannya dalam penetrasi arus mencapai kedalaman 100 m di bawah permukaan bumi.

Pemetaan tahanan jenis (*Resistivity Mapping*) adalah mempelajari variasi tahanan jenis lapisan bawah permukaan secara horisontal, dimana susunan yang dipergunakan di setiap titik pengukuran harus sama, sehingga dapat dibuat kontur iso-resistivitasnya. Rumus perhitungan untuk susunan *Schlumberger* dan Susunan *Wenner* sebagai berikut:

- 1) Konfigurasi elektrode *Schlumberger*, Mengukur beda potensial antara dua elektrodepotensial dengan susunan elektrode seperti berikut (Gambar1),



Gambar 1 Konfigurasi elektroda *Schlumberger*

Nilai tahanan jenis dari cara pengukuran dengan susunan *Schlumberger*, didapat dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho_a = \frac{\pi}{2m} (r^2 - m^2) \cdot \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots (3)$$

dengan

$$K = \frac{\pi}{2m} (r^2 - m^2)$$

m = posisi elektroda potensial 1

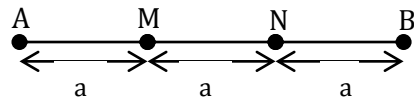
n = posisi elektroda

r = jari2 penetrasi geolistrik

AB/2, jarak elektrode arus 1/2 r

MN/2, jarak elektrode potensial 1/2 m

- 2) Konfigurasi elektrode *Wenner* Mengukur beda potensial antara dua elektrode potensial dengan susunan elektrode sebagai berikut (Gambar 2).



Gambar 2 Konfigurasi elektroda *Wenner*

Nilai tahanan jenis dari cara pengukuran susunan *Wenner* didapat dengan rumus sebagai berikut.

$$\rho_a = 2\pi a \cdot \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots (4)$$

dengan

AM, jarak dari elektroda A ke M

MN, jarak dari elektroda M ke N

BN, jarak dari elektroda B ke N

A, jarak dari AM, MN, NB

METODE PENELITIAN

Pemodelan penampang bawah permukaan secara vertikal dan lateral, berdasarkan nilai inversi *Resistivity* di setiap lintasan pengukuran menggunakan perangkat lunak *RES2DINV*. Jenis alat yang digunakan adalah *SYSCAL Junior Switch IRIS* buatan Perancis (Gambar.3) yang dapat digunakan dalam dua cara pengukuran:

- 1) Pengukuran secara otomatis dengan menggunakan sistem *switch* dan kabel yang disambungkan ke 48 elektrode secara sekaligus, dengan jarak antar elektrode tetap maksimum 10 m.
- 2) Pengukuran secara manual dengan menggunakan 4 kabel, 2 elektrode untuk arus dan 2 elektrode untuk potensial yang disambungkan dengan empat konektor terminal pada alat (A, B, M, dan N). Pada metode ini pengambilan data hanya dapat maksimal 1 kali pembacaan data dalam satu kali pengiriman arusnya, dimana untuk pengambilan data berikutnya dilakukan dengan cara memindahkan jarak antar elektrode sesuai dengan konfigurasi yang digunakan.

dapat melihat gejala geologi, arah aliran sungai bawah tanah, bentuk morfologi gua Seropan dan sekitarnya secara lebih detail.



Gambar 3 Syscal Junior Switch IRIS

PELAKSANAAN PENGUKURAN

Pengukuran geolistrik dilapangan dilakukan setelah dilakukan pemetaan dan pemeriksaan kondisi geologi permukaan yang berupa penyebaran jenis batuan disekitar lokasi pengukuran, dan juga berdasarkan peta geologi regional yang ada. Menentukan arah bentangan dan lintasan pengukuran serta menentukan arah jurus kemiringan perlapisan dari singkapan batuan menggunakan Kompas Geologi, sedangkan pengambilan contoh batuan dipakai Palu Geologi. Untuk mengukur ketinggian topografi lokasi titik pengukuran dan elektrode digunakan alat ukur beda tinggi (*Water Pass*) dan bantuan pengukuran langsung dengan GPS.

Pengukuran geolistrik metode tahanan jenis ini dilakukan secara otomatis bertahap untuk pemetaan geologi bawah permukaan dengan menggunakan peralatan SYSCAL Junior Switch IRIS (Gambar.3), susunan elektrode yang digunakan adalah *Schlumberger* dan *Wenner*, jumlah elektrode 48 buah dengan jarak antar elektrode 9 m dan total panjang lintasan 432 m. Pemilihan susunan *Schlumberger Mapping* dilakukan untuk dapat mengukur perbedaan potensial antara dua elektrode pengukur potensial, sehingga dapat melihat variasi nilai tahanan jenis batuan di bawah permukaan secara vertikal dan lateral. Susunan ini lebih sensitif terhadap perbedaan lapisan batuan yang tidak memiliki kemiringan di atas 30° dan gejala struktur geologi yang terjadi berupa sesar, bukit (*antiklin*), dan lembah (*sinklin*).

Pemilihan susunan *Wenner Mapping* dilakukan untuk melihat lebih sensitif terhadap anomali-anomali ketidak-selarasan (*unconformity*) yang berupa nodul-nodul dan sisipan dalam lapisan, gua-gua, sesar, dan lain-lain yang terjadi di bawah permukaan bumi, sehingga perpaduan kedua susunan antara *Schlumberger-Wenner Mapping*

Jumlah pengukuran tomografi sebanyak 3 lintasan yang terdiri dari 7 pengukuran. Lintasan 1 dengan jarak electrode 9 m, panjang lintasan adalah 432 m. Lintasan 2 adalah 2 kali pengukuran, panjang pengukuran 432 m. Pada lintasan 2 dilakukan pengukuran tumpang-tindih (*overlay*) sepanjang 216 m, sehingga total panjang lintasan 2 adalah 648m. Lintasan 3 dilakukan pengukuran sama dengan lintasan 2, pengukuran tumpang tindih sepanjang 216 m dan panjang lintasan 3 menjadi 648 m. Pelaksanaan pengukuran untuk lintasan 3 dapat diperiksa pada Gambar 4. Secara lengkap lokasi pengukuran, dapat diperiksa pada Gambar 5.

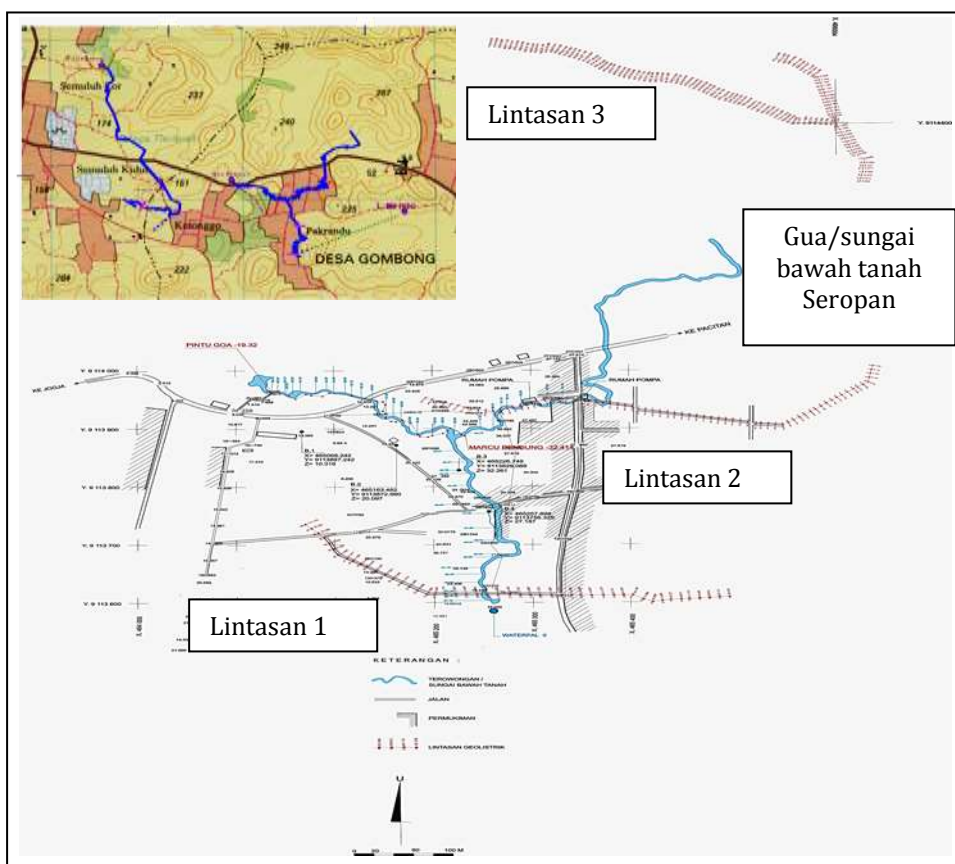
Pengolahan data hasil pengukuran dilakukan dengan piranti lunak (*software*) *RES2DINV*, dilakukan penggambaran penampang dua dimensi (2D) berdasarkan nilai tahanan jenisnya dengan 3 tahapan:

- 1) Penampang dua dimensi dari hasil pengukuran secara langsung.
- 2) Penampang dua dimensi dari hasil perhitungan tahanan jenis semu (*apparent resistivity*).
- 3) Penampang dua dimensi dari hasil model kebalikan tahanan jenis (*inverse model resistivity*).

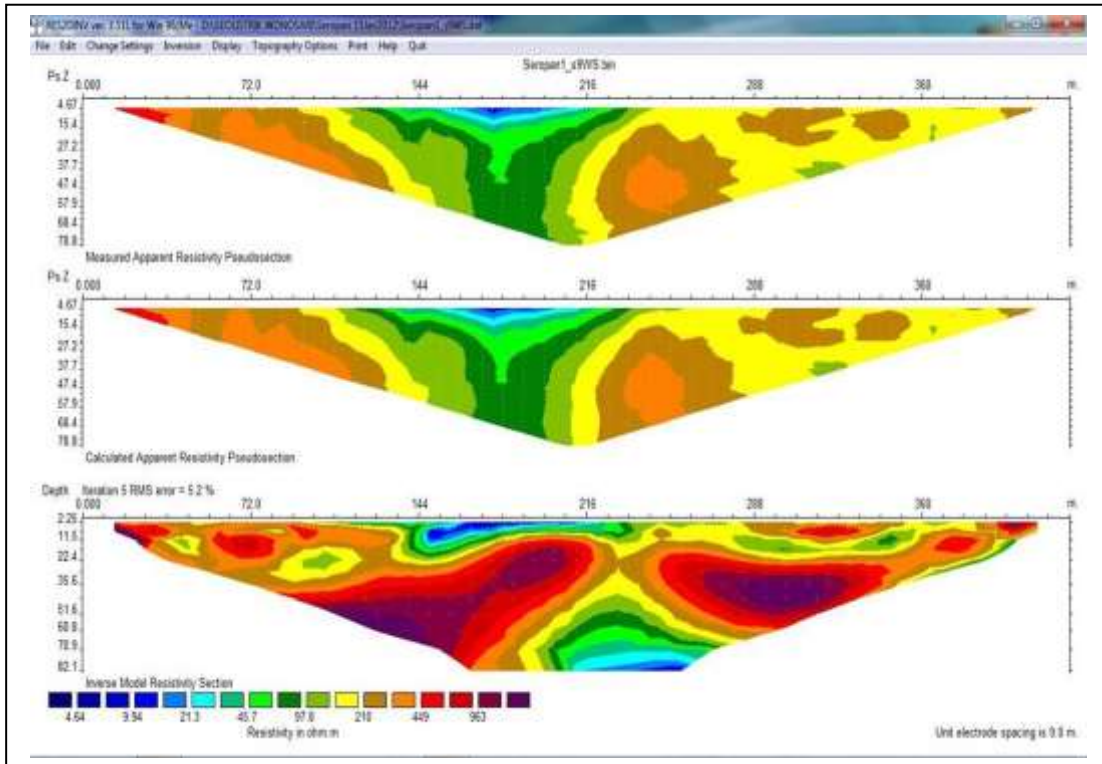
Hasil pengukuran memiliki kisaran kesalahan data (*error*) dalam proses kebalikan tahanan jenis, dilakukan sekecil mungkin dan bervariasi antara 2,2 % sampai maksimum 6 %. Dengan adanya kesalahan (*error*) lebih dari 10 %, maka pemodelan tidak cukup valid karena penyimpangan yang terjadi terlalu besar. Penyimpangan tersebut bisa dikarenakan ketidak-tepatan penggunaan alat ataupun memang kondisi alam yang sangat ekstrim. Ketiga tahapan dalam proses penggambaran penampang dua dimensi tersebut, dapat diperiksa pada Gambar 6.



Gambar 4 Pengukuran Di Lintasan 3



Gambar 5 Lintasan Pengukuran Geolistrik



Gambar 6 Proses Tahapan Penggambaran Penampang 2D dari software RES2DINV respon menunjukkan besaran resistivitas batuan dan void yang ditandai resistivitas tinggi (berwarna merah)

HASIL DAN PEMBAHASAN

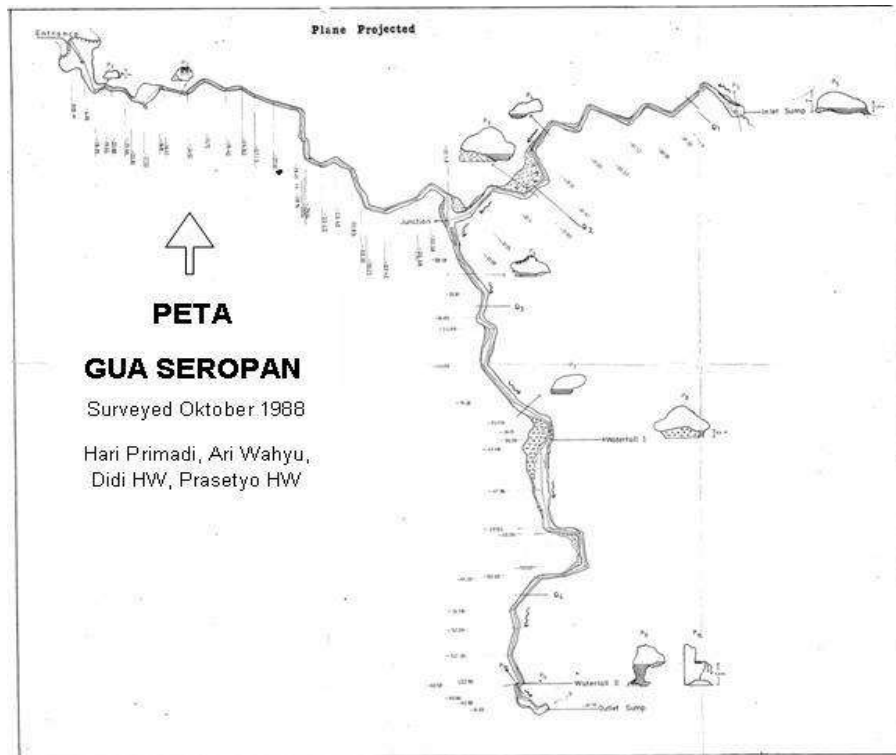
Lorong awal dengan atap rendah sampai pada sebuah ruangan yang lebih besar, lorong berikutnya dapat dilewati dengan berjalan kaki. Panjang lorong dari mulut gua sampai ke badan sungai bawah tanah sekitar 211 meter. Dari hasil pengukuran debit sesaat, aliran sungai bawah tanah di dalam gua memiliki debit air cukup besar 600 liter/detik. Kondisi tersebut relatif stabil pada saat aliran sungai normal baik di musim kemarau maupun musim hujan. Pada saat banjir tidak memungkinkan dilakukan pengukuran kecepatan aliran karena

Menuju ke arah hulu hampir seluruhnya lorong terendam air dengan ketinggian 1 - 1,5 m, akibat dibangunnya bendungan di percabangan. Pada bagian sisi dalam belokan sungai, biasanya air lebih dalam. Akhirnya pada sebuah lorong gua yang seluruhnya tertutup air dari dasar sampai atap (*sump*).

Ke arah hilir air relatif lebih dangkal, beberapa tempat kedalaman air mencapai dada. Banyak dijumpai tonjolan batugamping akibat pelarutan yang disebut stalaktit. Lorong ini berakhir pada sebuah ruangan (*chamber*) yang terdapat air terjun pertama dengan ketinggian sekitar 7 m. Setelah air

terjun pertama ini lorong masih menerus sekitar 200 m dan berakhir pada air terjun kedua setinggi 9 m, kemudian aliran air berakhir pada sebuah lorong gua yang seluruhnya tertutup air (*Sump*). Peta Gua Seropan dapat diperiksa pada Gambar 7. Pada saat ini aliran sungai bawah tanah Gua Seropan dimanfaatkan dalam rangka memenuhi kebutuhan air minum, dengan melakukan pemompaan air untuk penduduk di Kecamatan Semanu, Ponjong, Wonosari, Playen dan Rongkop. Kapasitas pemompaan rata-rata sebesar 20 liter/detik dan sudah berlangsung

Pemanfaatan air dilakukan dengan cara pemompaan atau dapat juga dengan pengeboran. Sumber airnya cukup dengan kualitas yang relatif baik. Pemanfaatan air dengan pengeboran diperlukan lubang bor dan pompa selam. Penentuan lokasi dan kedalaman pengeboran diatas aliran dapat dilakukan berdasarkan hasil dari interpretasi pengukuran geolistrik. Hasil Sumber airnya cukup dengan kualitas airnya baik untuk bahan sistem sumber air baku, kedalaman lorong gua sekitar 100 m dibawah permukaan dan oleh karena itu untuk pengembangan airnya membutuhkan lubang bor dan pompa selam.



Gambar 7 Peta bawah tanah Gua Seropan, Kecamatan Ponjong

Berdasarkan peta geologi, geologi bawah permukaan di lapangan daerah penelitian disusun oleh batuan Formasi Wonosari. Formasi Wonosari terdiri dari batugamping terumbu, kalkarenit, dan kalkarenit tufan. Di bagian selatan batugamping terumbu yang masif dan sebelah utaranya dekat hulu Kali Urang, batugamping berfosil yang keras dan sarang berwarna abu-abu muda dengan struktur bioherm berselang-seling dengan kalkarenit berwarna abu-abu muda yang berstruktur silang siur. Batupasir gampingan dalam bentuk melensa dan batugamping klastik yang kasar dan berfosil. Umur dari Formasi Wonosari ini diperkirakan terjadi pada Miosen Tengah sampai Pliosen bawah. Pada bagian atasnya endapan Aluvium adalah hasil rombakan dan pelapukan dari semua batuan yang telah ada, berupa bongkah batu, kerakal, kerikil, pasir dan lempung.

Kondisi geologi bawah permukaan, dilakukan berdasarkan interpretasi dari hasil pengukuran tomografi tahanan jenis menggunakan perangkat lunak *RES2DINV*. Pendugaan air di aliran sungai bawah permukaan dan lorong/rongga gua, dilakukan dengan mengelompokkan nilai tahanan jenis dari hasil pengukuran geolistrik di lapangan. Hasil konfirmasi data resistivitas dengan teori yang ada, didapatkan pengelompokan nilai resistivitas di lapangan ditampilkan sebagai berikut Tabel 2.

Tabel 2 Pengelompokan Tahanan Jenis

Tahanan Jenis (Ohm-m)	Materi
1,6 – 15,1	Air
>15,1 - 963,0	Batugamping
>963,0	Gua/Lorong

Lintasan 1 di Dukuh Gombong dengan spasi jarak elektrode 9 m dan panjang lintasan 432 m, mempunyai arah lintasan Barat - Timur disepanjang jalan kampung yang relatif datar. Berdasarkan nilai tahanan jenis di lintasan 1 berkisar antara 4,6 – 963 Ωm, sehingga dapat diinterpretasikan gejala geologi yang terjadi di bawah permukaannya.

Air memiliki nilai tahanan jenis berkisar antara 4,6 – 9,9 Ωm, ketebalan dibagian atas adalah 13,2 m yang berada dikedalaman antara 2,2 – 15,4 m. Air bagian atas yang lokasinya berada dibawah elektrode 17 – 25 atau jarak dari elektrode 1 antara 144 – 216 m. Air dibagian bawahnya mulai kedalaman 83,6 m yang lokasinya dibawah elektrode 23 – 29, mempunyai jarak dari elektrode 1 antara 207 – 261 m dan tidak diketahui ketebalannya. Air dibagian bawah ini diduga adalah aliran sungai bawah permukaan

dari Gua Seropan. Perubahan nilai tahanan jenis secara bertahap sampai 21,3 Ω m, menunjukkan pengaruh air terhadap lapisan batuan disekitar lokasi air.

Gua/lorong yang tidak terisi air atau kosong, mempunyai nilai tahanan jenis lebih besar dari 963 Ω m. Dibawah elektrode 31 - 37 atau jarak dari elektrode 1 antara 270 - 324 m, gua/lorong dengan ketebalan 22 m dari kedalaman bagian atasnya 26,4 m dan bagian bawahnya 48,4 m, Kemudian dibawah elektrode 11 - 24 atau jarak dari elektrode 1 antara 90 - 207 m, ketebalan 55 m dari kedalaman bagian atasnya 17,6 m dan bagian bawahnya 72,6 m yang diduga bagian bawahnya lebih dalam. Secara lengkap dapat diperiksa pada penampang geologi bawah permukaan berdasarkan nilai tahanan jenis pada Gambar 8.

Lintasan 2 di Dukuh Gombong dengan spasi jarak elektrode 9 m dan dilakukan 2 kali pengukuran yang saling tumpang-tindih (*overlay*) sepanjang 216 m, sehingga panjang lintasan 2 adalah 648 m. Arah lintasan Barat - Timur dan berdasarkan nilai tahanan jenis di lintasan 2 berkisar antara 1,6 - 1.379 Ω m, sehingga dapat diinterpretasikan gejala geologi yang terjadi di bawah permukaannya.

Air memiliki nilai tahanan jenis berkisar antara 1,6 - 4,2 Ω m, ketebalan air dibagian atas adalah 6,6 m yang berada dikedalaman antara 2,2 - 8,8 m. Air bagian atas yang lokasinya berada dibawah elektrode 19 - 24 atau jarak dari elektrode 1 antara 162 - 207 m termasuk aliran gua Seropan. Air dibagian bawahnya kedalaman antara 13,2 - 44 m yang lokasinya dibawah elektrode 31 - 37 atau jarak dari elektrode 1 antara 270 - 324 m dengan ketebalannya adalah 30,8 m. Air dibagian bawah ini diduga adalah aliran sungai bawah permukaan dari Gua Seropan. Perubahan nilai tahanan jenis secara bertahap sampai 11,2 Ω m, menunjukkan pengaruh air terhadap lapisan batuan disekitar lokasi air. Lintasan 2 untuk titik elektrode 19 sampai 29 atau jarak dari elektrode 1 antara 162 - 252 m, lokasinya berada diatas Gua Seropan.

Gua/lorong yang tidak terisi air atau kosong, mempunyai nilai tahanan jenis lebih besar dari 1.379 Ω m. Gua/lorong dibagian atas dengan ketebalan 4,4 m dari kedalaman 4,4 - 8,8 m, berada dibawah elektrode 14 - 16 atau jarak dari elektrode 1 antara 117 - 134 m dan dibawah elektrode 46 - 48 atau jarak dari elektrode 1 antara 405 - 423 m. Kemudian gua/lorong dibawah elektrode 37 - 41 atau jarak dari elektrode 1 antara 324 - 360 m, ketebalan 30,8 m. Dibawah elektrode 50 - 52 atau jarak dari elektrode 1 antara 441 - 459 m, ketebalan 6,6 m. Gua/lorong dibawah elektrode 19 - 23 atau jarak

dari elektrode 1 antara 162 - 198 m, kedalaman mulai dari 22 m bagian atasnya 17,6 m dan bagian bawahnya yang diduga bagian bawahnya lebih dalam. Secara lengkap dapat diperiksa pada penampang geologi bawah permukaan berdasarkan nilai tahanan jenis pada Gambar 9.

Lintasan 3 di Dukuh Gombong dengan spasi jarak elektrode 9 m dan dilakukan 2 kali pengukuran yang saling tumpang-tindih (*overlay*) sepanjang 216 m, sehingga panjang lintasan 2 adalah 648 m. Arah lintasan Barat - Timur disepanjang jalan setapak dan berdasarkan nilai tahanan jenis di lintasan 2 berkisar antara 7,2 - 1.504 Ω m, sehingga dapat diinterpretasikan gejala geologi yang terjadi di bawah permukaannya.

Air memiliki nilai tahanan jenis berkisar antara 7,0 - 15,1 Ω m, ketebalan air dibagian atas adalah 4,4 m yang berada dikedalaman antara 2,2 - 6,6 m dan lokasinya dibawah elektrode 2 - 4 atau jarak dari elektrode 1 antara 9 - 27 m. Kemudian air yang berada dikedalaman antara 2,2 - 8,8 m dan lokasinya dibawah elektrode 63 - 70 atau jarak dari elektrode 1 antara 558 - 621 m, mempunyai ketebalan 8,8 m. Air dibagian bawahnya mulai kedalaman 72,6 m yang lokasinya dibawah elektrode 18 - 22 atau jarak dari elektrode 1 antara 153 - 189 m dan tidak diketahui ketebalannya. Perubahan nilai tahanan jenis secara bertahap sampai 32,5 Ω m, menunjukkan pengaruh air terhadap lapisan batuan disekitar lokasi air.

Gua/lorong yang tidak terisi air atau kosong, mempunyai nilai tahanan jenis lebih besar dari 1.504 Ω m. Diduga gua/lorong dengan ketebalan 37,4 m dari kedalaman 28,6 - 66 m, berada dibawah elektrode 57 - 68 atau jarak dari elektrode 1 antara 504 - 603 m. Kemudian gua/lorong dibawah elektrode 29 - 34 atau jarak dari elektrode 1 antara 252 - 297 m, kedalaman mulai dari 59,4 m bagian atasnya dan bagian bawahnya diduga lebih dalam. Secara lengkap dapat diperiksa pada penampang geologi bawah permukaan berdasarkan nilai tahanan jenis pada Gambar 10.

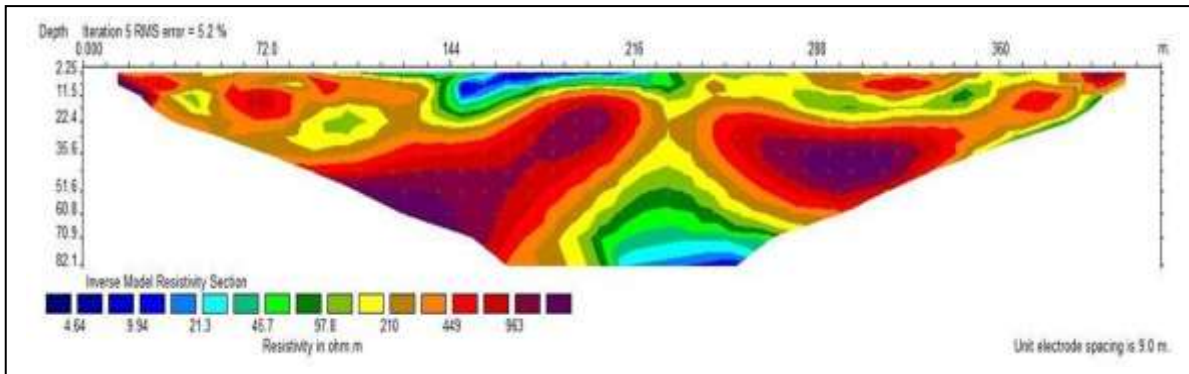
Secara lengkap pembahasan untuk setiap lintasan pengukuran dari hasil penampang geologi bawah permukaan, dapat diperiksa pada Tabel 3 dan 4.

Kondisi geologi bawah permukaan dari 3 lintasan pengukuran tahanan jenis (*resistivity*), dan dikorelasikan dengan data dari peta geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1:100.000 (Rahardjo, W. dkk, 1995) dikelompokkan yaitu:

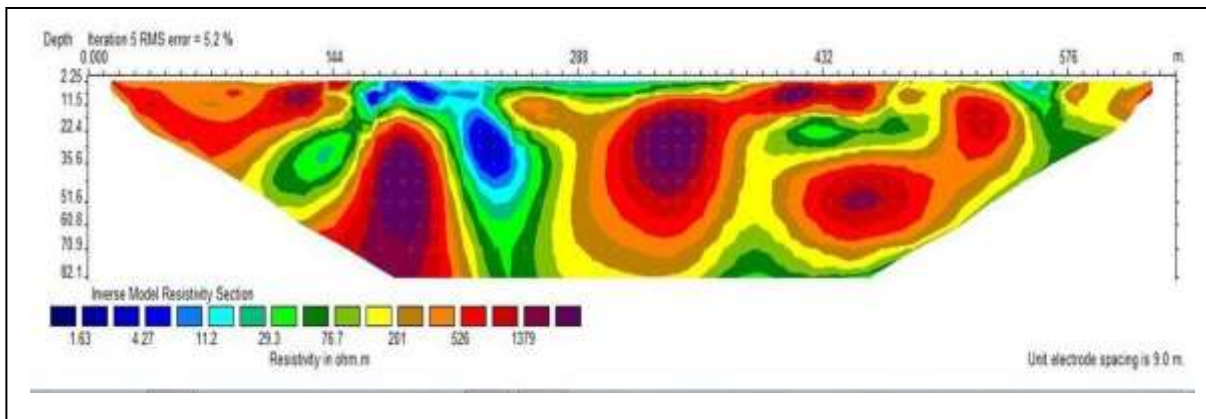
- 1) Satuan lapisan batuan bawah permukaan dari penampang dua dimensi (2D), mempunyai nilai tahanan jenis yang bervariasi dan

maksimum sampai 963 Ωm adalah batugamping. Satuan lapisan batuan ini, mempunyai warna antara hijau sampai merah. Singkapan batugamping disekitar Gua Seropan, dikorelasikan dengan batuan yang termasuk Formasi Wonosari. Batugamping telah terjadi pelapukan secara insitu dan lapukannya yang telah mengalami transportasi menjadi tanah dan menempati lembah-lembah.

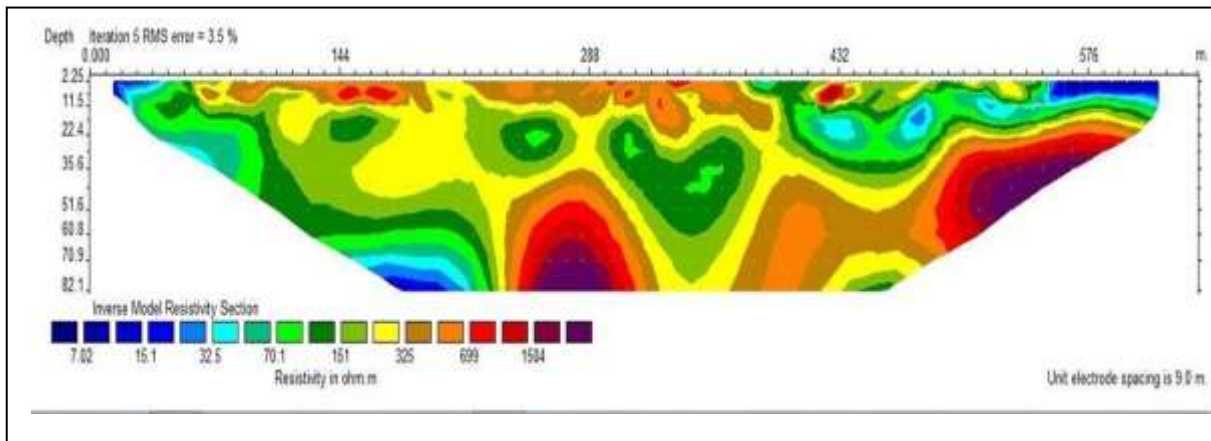
2) Secara umum air yang ada di satuan batugamping bawah permukaan adalah mengikuti gua, lorong, rongga, rekahan dan retakan (*conduit*), sehingga air yang ada berupa aliran dan tidak berupa akuifer atau air tanah yang mengisi antar butir. Diduga tahanan jenis air bervariasi antara 1,6 – 15,1 Ωm berwarna biru, sedangkan batuan yang dipengaruhi oleh air antara 11,2 – 32,5 Ωm mempunyai warna biru muda.



Gambar 8 Penampang Geologi Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis di Lintasan 1



Gambar 9 Penampang Geologi Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis di Lintasan 2



Gambar 10 Penampang Geologi Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis di Lintasan 3

Tabel 3 Kedalaman Air Dari Hasil Pengolahan *RES2DINV*

Lintasan	Lokasi	Dibawah Elektrode	Kedalaman Air (m)	Ketebalan Air (m)	Keterangan
1	Gombang	17 - 25	2,2 – 15,4	13,2	
		23 - 29	Mulai 83,6	(tidak diketahui)	Gua/Lorong terisi air
2	Gombang	19 - 24	2,2 – 8,8	6,6	
		25- 29	13,2 – 44,0	30,8	Gua/Lorong terisi air
3	Gombang	2 - 4	2,2 – 6,6	4,4	
		18 - 22	Mulai 72,6	(tidak diketahui)	Gua/Lorong terisi air
		63 - 70	2,2 – 8,8	6,6	

Tabel 4 Kedalaman Gua/Lorong Dari Hasil Pengolahan *RES2DINV*

Lintasan	Lokasi	Dibawah Elektrode	Kedalaman Gua (m)	Ketebalan Gua (m)	Keterangan
1	Gombang	11 - 24	17,6 – 72,6	55,0	Gua/lorong sebagian terisi air
		31 - 37	26,4 – 48,4	22,0	
2	Gombang	14 - 16	4,4 – 8,8	4,4	
		19 - 23	Mulai 22,0	?	
		37 - 41	13,2 – 44,0	30,8	Gua/lorong sebagian terisi air
		46 - 48	4,4 – 8,8	4,4	
		50 - 52	41,8 – 48,4	6,6	
3	Gombang	29 - 34	Mulai 59,4	?	
		57 - 68	28,6 – 66,0	37,4	Gua/lorong sebagian terisi air

3) Gua, lorong, rongga, rekahan dan retakan yang ada dibawah permukaan mempunyai nilai tahanan jenis lebih besar dari 963 Ω m. Warna satuan ini adalah coklat sampai coklat tua.

Arah gua, lorong, rongga dan retakan terbentuk, akibat proses geologi yang berupa struktur primer atau pada saat pembentukan batuan tersebut, sedangkan struktur sekundernya terjadi setelah batuan ada dan dipengaruhi oleh tektonik maupun cuaca dan yang berpengaruh banyak adalah air hujan. Aliran sungai bawah permukaan umumnya mengikuti zona yang lemah,

akibat terjadinya struktur geologi primer maupun sekunder dan terutama proses pelarutan oleh air.

Umumnya pemanfaatan aliran sungai bawah dengan pemompaan melalui mulut gua, pengeboran uji (*exploration well*) dilakukan untuk mendapatkan aliran air secara tegak dan lokasinya dapat langsung dekat penduduk yang membutuhkan.

Interpretasi dari hasil pengukuran tahanan jenis yang berupa penampang geologi bawah permukaan, lokasi pengeboran uji untuk setiap lintasan adalah:

- 1) Lintasan 1 untuk lokasi pengeborannya, di elektrode 26 atau jarak dari elektrode 1 adalah 225 m, memanfaatkan air mulai dari kedalaman 83,6 m. Karena air yang paling dalamnya tidak diketahui, maka pengeboran sampai 200 m.
- 2) Lokasi pengeboran di lintasan 2 adalah berada di elektrode 27 atau jarak dari elektrode 1 adalah 234 m, memanfaatkan air di kedalaman antara 26,4 - 48,4 m dan disarankan pengeboran sampai 100 m.
- 3) Lintasan 3 lokasi pengeborannya di elektrode 20 atau jarak dari elektrode 1 adalah 171 m, memanfaatkan air mulai dari kedalaman 83,6 m. Karena air yang paling dalamnya tidak diketahui, maka pengeboran sampai 200 m.

Ketiga lokasi pengeboran diperkirakan pada kedalaman yang berbeda karena elevasi atau topografi pada daerah yang berpotensi juga memiliki beda tinggi.

KESIMPULAN

Dari uraian hasil analisis dan pembahasan tersebut di atas, maka dapat disimpulkan antara lain:

Metode tahanan jenis dapat digunakan untuk pemetaan geologi bawah permukaan di sekitar gua. Berdasarkan nilai tahanan jenisnya dapat diinterpretasikan kedalaman aliran sungai bawah tanah, bentuk morfologi lorong/gua dan ketebalan lapisan batuan secara lebih detail. Aliran air sungai bawah permukaan, diduga memiliki nilai tahanan jenis berkisar antara 4,6 - 9,9 Ω m. Satuan batuan batugamping berkisar antara >15,1 - 963 Ω m, sedangkan lorong atau gua mempunyai nilai tahanan jenis >963 Ω m.

Lokasi pengeboran uji di lintasan 1 untuk pemanfaatan air, di titik elektrode 26 mulai kedalaman aliran air adalah 83,6 m. Lintasan 2 di titik elektrode 27, kedalaman aliran air adalah 26,4 - 48,4 m dan Lintasan 3 di titik elektrode 20 mulai kedalaman aliran air 83,6 m. Penampang geologi bawah permukaan 2D berdasarkan nilai tahanan jenis, dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan penelusuran dan pemetaan gua. Terutama untuk menduga kedalaman lorong/gua dan morfologinya serta kedalaman lokasi aliran airnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Assad Fakhry A. 2004. *Field Methodes for Geologist and Hydrogeologists*, Springer - Verlag Berlin Heidelberg 2004, Printed in Germany Pp 69-72.
- Dahlin T. 1993. *On the Automation of 2D resistivity survaying for engineering and environmental applications*. (Ph.D. Thesis). Lund University.
- Freeze, R.A, and Cherry,J.A. 1979. *Groundwater*. 604 pp. New Jersey. Prentice Hall. Inc.
- Hendra Grandis DR. 2008. *Metode Geolistrik*, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung. Pp 1-42.
- Ikard, J. Scott. 2013. *Geoelectrical Monitoring of Seepage in Porous Media with Engineering Applications to Earthen Dams*. (Thesis). Collorado School of Mines.
- Kirsch Reinhard. 2006. *Groundwater Geophysics, A Tool For Hydrogeology*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, Printed in Germany. Pp 85-116, 402-436.
- Kollert. 1969. *Groundwater Exploration By The Electrical Resistivity Method*, Geophysical Memorandum 3/69, Geophysics & Electronics, Atlas Copco ABEM, Sweden. Pp 1 - 9
- MacDonald & Partners. 1984. *Greater Yogyakarta Groundwater Resources Study, Volume 3 Groundwater, Volume 3C Cave Survey*, Ministry of Public Works
- Rahardjo, W ,dkk. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Robert, T., D. Caterina, J. Deceuster, O. Kaufmann, and F. Nguyen. 2012. *A salt tracer test monitored with surface ERT to detect preferential flow and transport paths in fractured/karstified limestone*. *Geophysics* 77, no. 2: B55-B67.
- Soewaeli, Adang. 2012. Interpretasi Kualitas Air Tanah Dari Hasil Pengukuran Geolistrik Di Pantai Balonrejo, Jawa Tengah, *Jurnal Teknik Hidraulik, Volume 3 nomer 1*, Kementerian Pekerjaan Umum.