

**PEMETAAN ALUR SUNGAI BAWAH PERMUKAAN
DENGAN RESISTIVITAS ELEKTRIK DI DAERAH GUNUNGGKIDUL**

***SUB SURFACE RIVER FLOW MAPPING BY ELECTRICAL RESISTIVITY IN
GUNUNGGKIDUL AREA***

**Adang Sadikin¹⁾, Wawan Herawan²⁾, Heni Rengganis³⁾, Sri Mulat Yuningsih⁴⁾,
Lucky Junursyah⁵⁾**

^{1,2,3,4)} Peneliti Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Balitbang PU

⁵⁾ Peneliti Pusat Survei Geologi, Badan Geologi Dept.ESDM

Jl. Ir.H.Juanda 193, Bandung. Telp.(022) 2501083

asadik52@gmail.com

Diterima: 11 Januari 2012; Disetujui: 20 Maret 2013

ABSTRAK

Secara geologi, sebagian besar wilayah Kabupaten Gunungkidul bagian Selatan merupakan penyebaran Formasi Wonosari, yang disusun oleh batugamping. Permukaan tanah kawasan ini merupakan daerah kering yang mengalami kesulitan sumber air baku, meskipun sebenarnya di daerah ini terdapat cukup banyak sumber air berupa sungai bawah permukaan atau gua atau luweng berair. Tahun 1982 MacDonald telah mendokumentasikan 160 gua dan luweng dari 246 yang telah diketahui masyarakat, beberapa di antaranya telah dimanfaatkan seperti Gua Bribin dan sungai bawah permukaan Baron. Di daerah bagian barat Kabupaten Gunungkidul masih sangat sedikit informasi yang diperoleh, salah satunya dari penuturan masyarakat nelayan pencari udang (lobster) terdapat Gua Bekah yang berair tawar. Gua ini terletak di dasar tebing yang memiliki kedalaman lebih dari 80 m. Eksplorasi tahap awal dilakukan dengan metode resistivitas secara dua dimensi. 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 Bekah dapat dilakukan melalui pemipaan yang dipasang pada tebing sampai masuk ke gua, atau melalui pengeboran. Posisi pengeboran disarankan berdasarkan hasil interpretasi untuk pembuatan sumur bor adalah pada koordinat 110°22'23.6388" BT 8°4'2.874" LS.

Kata kunci: Batugamping, air tawar, sungai bawah permukaan, metode tahanan jenis, pemetaan

ABSTRACT

Geologically, most of the south area of Kabupaten Gunungkidul – Central Java consists of the Wonosari formation distribution composing limestone. Ground surface in the area is very dry and raw water resources difficult to find. However, many water resources are actually found here indicated by the existence of underground rivers or caves having water sources. In 1982, MacDonald had made documentations of 160 caves out of the 246 caves known by the local community, some among them are already exploited such as the Bribin cave, and the Baron sub-surface river. All identified caves are located in the eastern part of Kabupaten Gunungkidul and only little information is collected, however fishermen had discovered the cave Bekah having fresh water source. The cave is situated at bottom of slope 80m depth. Interpretation results of the initial exploration using the two dimensional resistivity method show that the water resources found in caves and underground rivers contain fresh water. Cave depth iso-pach measures ranges between 80 – 200m below ground surface. Water from the Bekah cave can be utilized by application of a piping system from slope to cave enter, or by drilling at the suggested position based on interpretation results, i.e. 110°22'23.6388" EL 8°4'2.874" SL.

Keywords: Limestone, fresh water, sub-surface river, resistivity method, mapping

PENDAHULUAN

Sebagian daerah Gunungkidul merupakan bagian dari Gunung Sewu yang disusun oleh batugamping, 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 menyebabkan masyarakat yang tinggal di daerah ini kesulitan memperoleh air baku, baik air baku untuk air minum atau air baku untuk pertanian. 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. Masalahnya adalah sumber-sumber sungai bawah permukaan ini sulit dimanfaatkan airnya karena hambatan jarak atau elevasi, sehingga dalam pelaksanaannya memerlukan biaya yang sangat besar dalam pembangunan dan pemeliharannya.

Salah satu gua yang terdapat di Kecamatan Purwosari adalah Gua Bekah, terletak di dusun Temon. Keberadaan gua ini didasarkan dari penuturan nelayan udang (*lobster*) dari masyarakat setempat, juga dari dokumentasi ekspedisi pencinta alam *Acintyacunyata Speleological* atau yang dikenal dengan ASC. Gua ini berada pada posisi hampir sejajar dengan muka air laut rata-rata (*Mean Sea Level*) sedangkan puncak tebing yang merupakan permukaan tanah memiliki ketinggian sekitar 80-100 m. Menurut penuturan masyarakat dan ASC, di dalam gua terdapat aliran air tawar. Keberadaan sumber air tawar di daerah yang sangat sulit sumber air tentunya cukup menjanjikan untuk dieksplorasi. Sebagai eksplorasi tahap awal adalah melakukan pengukuran tahanan jenis (*resistivity*) yang bekerja sama dengan Pusat Survey Geologi, Badan Geologi.

Lokasi daerah pengukuran tahanan jenis (*Resistivity*) ini dibatasi di daerah Temon dan sekitarnya, Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul, Propinsi D. I. Jogjakarta.

Untuk mencapai daerah tersebut dapat ditempuh dengan melewati jalan darat melalui jalur Pantai Selatan (Bandung-Tasik-Banjar-

Kebumen-Wates-Jogjakarta-Parang Tritis) selama ± 8 jam, dimana infrastruktur jalan sangatlah baik. Dari lokasi penginapan (BS01) ke lokasi penelitian di Gua Bekah dapat ditempuh melalui jalan darat selama ± 1 jam, dimana infrastruktur jalan telah diaspal, kecuali setelah memasuki daerah Desa Temon infrastruktur jalan belum diaspal hanya berupa urugan dari kerikil batugamping.

Lokasi Gua Bekah relatif jauh dari pemukiman penduduk, tetapi daerah ini cukup potensial untuk dikembangkan menjadi daerah pariwisata. Kondisi ini, mendorong dilakukan pemetaan alur sungai bawah permukaan di sekitar Gua Bekah untuk menentukan lokasi titik pengeboran dan airnya dapat dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai air baku untuk memenuhi berbagai keperluan.

Lingkup kegiatan yang perlu dilaksanakan meliputi:

- 1) Pengumpulan data yang sudah ada di daerah penelitian, antara lain; hasil penelitian aliran bawah tanah yang ada di bagian timur,
- 2) Studi pustaka yang berupa kajian penyebaran batuan, struktur geologi, dan stratigrafinya
- 3) Pelaksanaan pengukuran geolistrik tahanan jenis di lapangan
- 4) Analisis dan evaluasi data *resistivity* dari hasil pengukuran di lapangan.
- 5) Interpretasi untuk menentukan arah aliran air bawah permukaan, kedalaman akuifer dan lokasi untuk dilakukan pengeboran uji.

Tujuan dari kegiatan ini berdasarkan nilai tahanan jenis (*resistivity*) dari pengukuran lapangan diinterpretasikan untuk:

- 1) Memetakan kondisi bawah permukaan dari keberadaan gua
- 2) Mengetahui sebaran aliran air bawah permukaan
- 3) Menentukan lokasi titik pengeboran uji agar tepat di posisi aliran air bawah permukaan.

Sasarannya adalah memanfaatkan air dari aliran bawah permukaan di Gua Bekah.

KAJIAN PUSTAKA

Geologi

Kondisi geologi mengacu kepada Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1 : 100.000 dan (Rahardjo, W. dkk, 1995). 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 (Tmpek), Endapan Gunungapi Merapi Muda (Qmi), dan Aluvium (Qa).

Formasi Nglanggran merupakan batuan tertua, terdiri dari 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 pelapisan 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.

Formasi Sambipitu menindih selaras Formasi Nglanggran, terdiri dari tuf, serpih, batulanau, batupasir, dan konglomerat. Bagian bawah terdiri dari 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 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 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 dari 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 Kuartir-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.

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, Gua Bribin dan Luweng Seropan.

- 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 1.450 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.
- 3) Luweng Seropan, memiliki panjang 650 m dengan kedalaman 65 m dan debitnya pada aliran utama sekitar 170 lt/det.

METODOLOGI

Metode geolistrik tahanan jenis adalah metode geolistrik aktif dengan sumber listrik buatan (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:

$$V = I \times R \quad 1)$$

Keterangan:

I , besarnya arus yang dikirim (Ampere)

V , perbedaan potensial yang diukur (Volt)

R , tahanan batuan(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:

$$\rho = R \times A/L \quad 2)$$

Keterangan:

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 (Grandis, 2008, dan 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 elektroda 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 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. 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.

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*. Sehingga perpaduan kedua susunan tersebut (*Schlumberger-Wenner Mapping*) dapat melihat gejala geologi yang berupa arah aliran sungai bawah tanah, bentuk morfologi Gua Bekah dan sekitarnya secara lebih detail berdasarkan nilai tahanan jenisnya. Selain itu dapat menampilkan kontras perbedaan antara air yang mempunyai nilai tahanan jenis rendah dan batugamping 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 melebihi 100 m di bawah permukaan bumi.

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 tangga	> 1,8	Kandungan garam paling tinggi diijinkan 0,25 %
Air untuk irigasi atau Penampungan air	> 0,65	Kandungan garam paling tinggi diijinkan 0,7 %

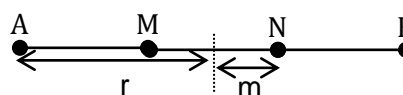
Sumber : Kollert, 1969

Sebelum memetakan arah kelurusan dan bentuk morfologi dari lintasan pengukuran tahanan jenis, terlebih dahulu dilakukan pengukuran topografi, posisi dan titik datum yang diambil adalah dengan mengikatkan titik terdekat garis pantai dan diukur dengan secara vertikal perbedaan ketinggiannya antara batas air dengan garis pantai tersebut.

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) Susunan elektrode *Schlumberger*,

Mengukur beda potensial antara dua elektrodepotensial dengan susunan elektrode seperti berikut (Gambar1),



Gambar 1 Susunan *Schlumberger*

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

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

dengan

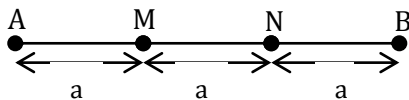
$$K = \frac{\pi}{2m} (r^2 - m^2)$$

AB/2, jarak elektrode arus 1/2 r

MN/2, jarak elektrode potensial 1/2 m

2) Susunan elektrode *Wenner*

Mengukur beda potensial antara dua elektroda potensial dengan susunan elektroda sebagai berikut (Gambar 2).



Gambar 2 Susunan *Wenner*

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

$$\rho_a = 2\pi a \times \frac{\Delta V}{I} \quad 4)$$

dengan

AM, MN, BN, a

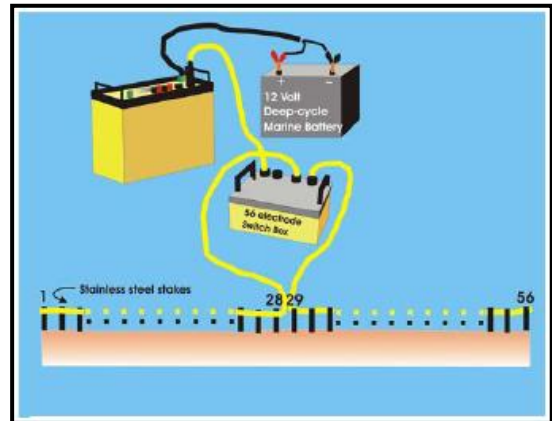
K, $2\pi a$

Pemodelan penampang bawah permukaan secara vertikal dan lateral, berdasarkan nilai inversi *Resistivity* di setiap lintasan pengukuran menggunakan perangkat lunak *EarthImager 2Dinv*.

Jenis alat yang digunakan adalah *SuperSting R8/IP* buatan United State of Amerika (USA) yang dapat digunakan dalam dua cara pengukuran:

- 1) Pengukuran secara otomatis dengan menggunakan sistem *switch box* dan kabel pasif yang dikoneksikan ke 56 elektrode secara sekaligus, dengan jarak antar elektrode tetap (Gambar 3). Pengambilan data dapat dilakukan secara otomatis dengan maksimal 8 kali pembacaan data dalam satu kali pengiriman arusnya, dimana pengaturan konfigurasi pengukuran dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanpa harus memindahkan ataupun merubah jarak antar elektrodenya.
- 2) Pengukuran secara manual dengan menggunakan 4 kabel dan elektrode *stainless steel* (arus) atau *porous pot* (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.



Gambar 3 Pengukuran *Resistivity* dengan peralatan *supersting R8/IP* secara otomatis

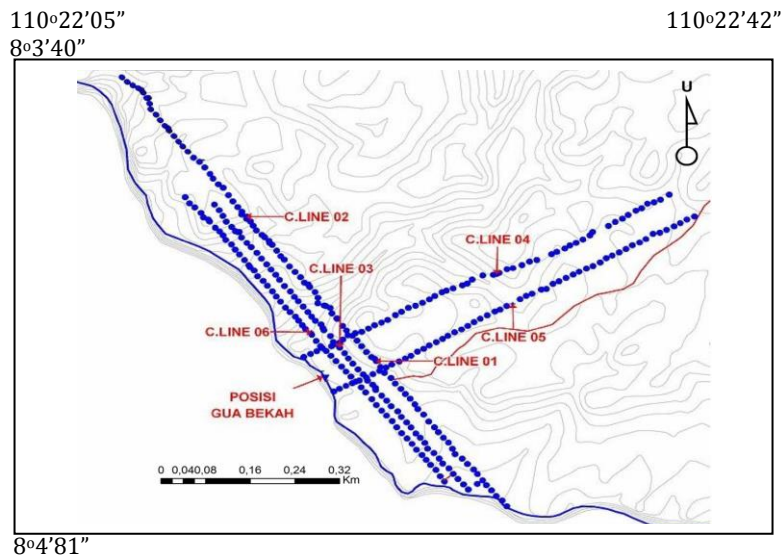
PELAKSANAAN PENGUKURAN

Pengukuran geolistrik metode tahanan jenis ini dilakukan secara otomatis bertahap untuk pemetaan geologi bawah permukaan dengan menggunakan peralatan *SuperSting R8/IP*, susunan elektrode yang digunakan adalah *Schlumberger* dan *Wenner*, jumlah elektrode 56 buah dengan jarak antar elektrode 20 m dan total panjang lintasan 1.120 m.

Pemilihan susunan *Schlumberger Mapping* dilakukan untuk dapat mengukur perbedaan potensial antara dua elektroda pengukur potensial, sehingga dapat melihat variasi nilai tahanan jenis batuan di bawah permukaan secara vertikal 187m dan lateral 1.120 m. 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 dapat mengukur perbedaan potensial antara dua elektrode pengukur potensial, sehingga dapat melihat variasi nilai tahanan jenis batuan di bawah permukaan secara vertikal 114 m dan lateral 1.120 m. Susunan ini lebih sensitif terhadap anomali-anomali ketidakselarasan (*unconformity*) yang berupa nodul-nodul dan sisipan dalam lapisan, gua-gua, sesar, dan lain-lain yang terjadi di bawah permukaan bumi.

Berdasarkan perpaduan kedua susunan antara *Schlumberger-Wenner Mapping* dapat dilihat gejala geologi, arah aliran sungai bawah tanah, bentuk morfologi gua bekah dan sekitarnya secara lebih detail.



Gambar 4 Lintasan Pengukuran Geolistrik

Pengambilan data dilakukan dengan membentangkan kabel *pasive multichannel* sepanjang ± 1.100 m dengan arah relatif Tenggara - Barat Daya pada lintasan LN01, LN02, LN03, dan LN06, kemudian LN04 dan LN05 dengan arah relatif Barat Laut - Tenggara (Gambar 4). *Overlapping* lintasan LN01 dan LN02 dilakukan untuk melihat secara umum gejala geologi yang terjadi dan bentuk dari morfologi Gua Bekah, sehingga dapat digunakan untuk referensi pada lintasan berikutnya. Total lintasan pengukuran adalah 6 lintasan dengan total panjang $\pm 6,6$ km dan penetrasi kedalaman maksimal ± 187 m.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lintasan LN01 arahnya relatif Tenggara - Barat Laut dengan panjang lintasan ± 1.100 m. Dari korelasi dua susunan pengukuran (*Schlumberger* dan *Wenner*), dapat diinterpretasikan gejala geologi yang terjadi di bawah permukaannya. Lapisan paling atas dengan ketebalan mencapai 28,6 merupakan lapisan penutup memiliki nilai tahanan jenis (*resistivity*) berkisar antara 11 - 750 Ωm . Berdasarkan peta geologi regional, satuan lapisan ini disejajarkan dengan batuan dari Formasi Wonosari (Tmwl), berupa lapukan batugamping secara insitu dan lapukan batugamping yang telah mengalami transportasi, sehingga menjadi tanah *terrарosa* yang menempati lembah-lembah. Lapisan paling bawah yang masih terdeteksi memiliki nilai *resistivity* 1.000 - 13.182 Ωm , diinterpretasikan memiliki besar butir kasar, sangat kompak termasuk batuan dari Formasi Wonosari (Tmwl) yang berupa batugamping terumbu dan memiliki perlapisan semu. Pada lapisan paling bawah terdapat indikasi gua bawah tanah yang penyebarannya mengarah ke arah

Barat Laut dari posisi (*center*) di tengah-tengah lintasan pengukuran, nilai *resistivity* berkisar dari 11 - 250 Ωm . Kedalaman gua bawah tanah ini berkisar antara 95,8 - 208,7 m di bawah permukaan, di bagian tengahnya terdapat indikasi terisi oleh air tawar yang ditandai dengan nilai *resistivity* < 144 Ωm . Secara lengkap penampang bawah permukaan berdasarkan nilai tahanan jenis (*resistivity*) dari lintasan LN01, dapat diperiksa pada Gambar 5.

Lintasan LN02 tumpang tindih (*overlap*) pada bagian Tenggara dengan Lintasan LN01. Interpretasi dari gabungan 2 susunan (*Schlumberger* dan *Wenner*), menunjukkan 2 perlapisan batuan dari yang muda ke tua. Lapisan 1 dengan kedalaman berkisar antara 5,5 - 27,9 m adalah lapisan penutup paling atas dengan nilai *Resistivity* berkisar antara 88 - 750 Ωm . Berdasarkan singkapan batuan di lapangan dan peta geologi regional, lapisan ini dapat disejajarkan dengan batuan dari Formasi Wonosari (Tmwl). Berupa lapukan batugamping secara insitu dan lapukan batugamping yang telah mengalami transportasi menjadi tanah *terrарosa*.

Pada bagian Barat Laut, di tengah-tengah lintasan (*center*), dan Tenggara, terdapat indikasi saluran purba (*paleochannel*) di kedalaman antara 9,9 - 43,2 m dari permukaan tanah. Lapisan 2 merupakan lapisan terbawah yang masih terdeteksi, memiliki nilai *resistivity* 1.000 - 5.200 Ωm . Lapisan ini dapat disejajarkan dengan komponen batuan dari Formasi Wonosari (Tmwl), berupa batugamping terumbu yang memiliki perlapisan semu. Penampakan gua bawah tanah terdapat di lapisan 2, kedalaman gua bawah tanah pada bagian Tenggara berkisar antara 96,2 - 165,4 m dan pada bagian Barat Laut berkisar antara

205 - 225,6 m di bawah permukaan. Secara lengkap, dapat diperiksa pada Gambar 6.

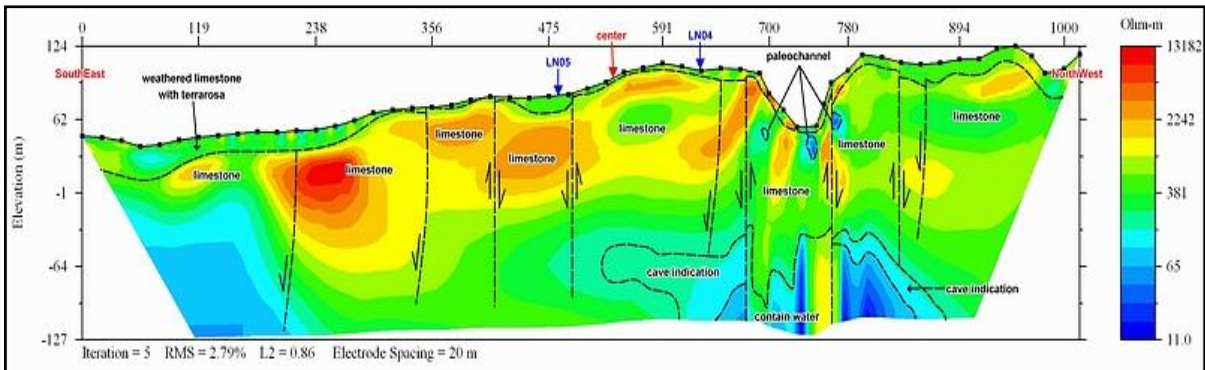
Lintasan LN03 yang arahnya relatif Tenggara - Barat Daya dengan panjang lintasan 1.100 m. Pengukuran dari gabungan susunan elektrode *Schlumberger* dan *Wenner*, diinterpretasikan kondisi geologi bawah permukaannya adalah sebagai berikut: Lapisan yang paling atas dengan ketebalannya bervariasi dari 6,9 - 41,1 m memiliki nilai *resistivity* berkisar antara 61 - 750 Ω m. Berdasarkan singkapan batuan di lapangan dan peta geologi regional, lapisan ini dapat disejajarkan dengan batuan dari Formasi Wonosari (Tmwl), berupa lapukan batugamping secara *insitu* dan lapukan batugamping yang telah mengalami transportasi menjadi tanah terrarosa. Lapisan paling bawah yang masih terdeteksi memiliki nilai *resistivity* 1.000 - 12.466 Ω m. Lapisan ini dapat disejajarkan dengan komponen batuan dari Formasi Wonosari (Tmwl), berupa batugamping terumbu yang memiliki perlapisan semu dengan mineralisasi dominan kalsitan ($CaCO_3$). Pada lapisan 2 ini dapat diindikasikan terdapat gua bawah tanah yang penyebarannya di sekitar posisi *center*, dengan nilai *resistivity* berkisar dari 106,8 - 250 Ω m. Kedalaman gua bawah tanah berkisar antara 77,2 - 186,6 m di bawah permukaan, di bagian tengahnya terdapat indikasi terisi oleh air tawar. Secara lengkap, dapat diperiksa pada Gambar 7.

Lintasan LN04 arahnya relatif Barat Daya - Timur Laut dengan panjang lintasan 1.100 m, diinterpretasikan memiliki 2 perlapisan batuan dari yang berumur muda ke tua. Lapisan 1 dengan ketebalan bervariasi antara 4 - 41,6 m sebagai lapisan penutup yang paling atas memiliki nilai *resistivity* antara 16,2 - 750 Ω m. Berdasarkan singkapan batuan di lapangan, lapisan ini disejajarkan dengan batuan dari Formasi Wonosari (Tmwl), berupa lapukan batugamping secara *insitu* dan lapukan batugamping yang telah mengalami transportasi menjadi tanah terrarosa. Lapisan 2 merupakan lapisan terbawah yang masih terdeteksi, memiliki nilai *resistivity* 1.000 - 26.079 Ω m. Lapisan 2 disejajarkan dengan batuan dari Formasi Wonosari (Tmwl), berupa batugamping terumbu yang memiliki perlapisan semu. Penampakan gua bawah tanah pada lintasan ini tidak terlalu terdeteksi tetapi masih dapat terlihat, yaitu pada bagian Barat Daya dan di sekitar posisi tengah lintasan (*center*). Kemungkinan kondisi ini, diakibatkan oleh penetrasi arus mengalami gejala polarisasi atau tidak dapat tembus lebih dalam lagi. Gambaran geologi bawah permukaan secara lengkap, dapat diperiksa pada Gambar 8.

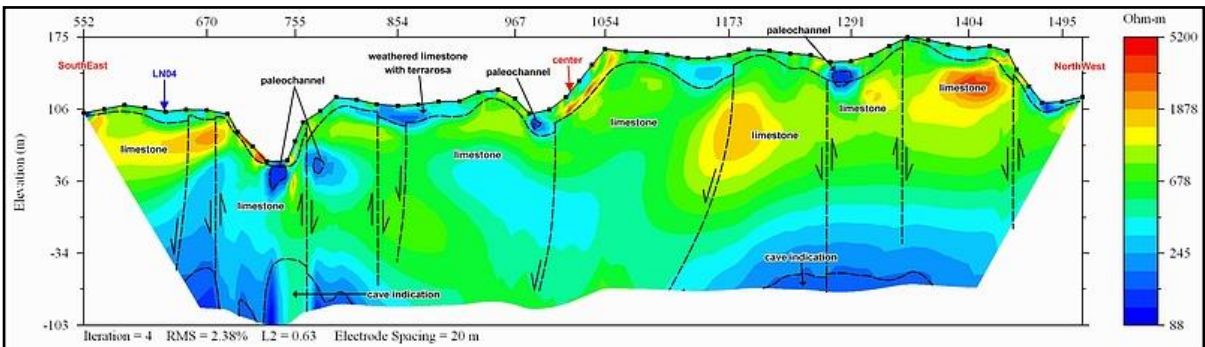
Lintasan LN05 seperti pada Lintasan LN04, diinterpretasikan bahwa lapisan yang paling atas

ketebalan berkisar antara 10 - 20 m. Berdasarkan singkapan batuannya di lapangan dan peta geologi regional, lapisan ini dapat disejajarkan dengan batuan dari Formasi Wonosari (Tmwl), berupa lapukan batugamping secara *insitu* dan lapukan batugamping yang telah mengalami transportasi menjadi tanah terrarosa. Lapisan di bawahnya yang masih terdeteksi memiliki nilai *resistivity* 1.000 - 6.722 Ω m. Berdasarkan singkapan batuannya di lapangan dan peta geologi regional, lapisan ini dapat disejajarkan dengan batuan dari Formasi Wonosari (Tmwl), berupa batugamping terumbu yang memiliki perlapisan semu. Pada bagian Timur Laut dari posisi *center*, terdapat indikasi *paleochannel* yang terdapat pada lapukan batugamping dan tanah terrarosa yang diinterpretasikan penyebarannya mengikuti pembentukan lembah/sungai pada saat ini. Kedalaman *paleochannel* tersebut berkisar antara 10 - 20 m dari permukaan tanah, diindikasikan masih terdapat aliran air permukaan yang masih aktif. Penampakan gua bawah tanah pada lintasan ini tidak terlalu terdeteksi tapi masih dapat terlihat, yaitu pada bagian Barat Daya dan di sekitar posisi *center*. Kemungkinan kondisi tersebut, diakibatkan oleh penetrasi arus yang mengalami gejala polarisasi atau tidak dapat tembus lebih dalam lagi. Secara lengkap penampang bawah permukaan berdasarkan nilai tahanan jenis (*resistivity*) dari lintasan LN01, dapat diperiksa pada Gambar 9.

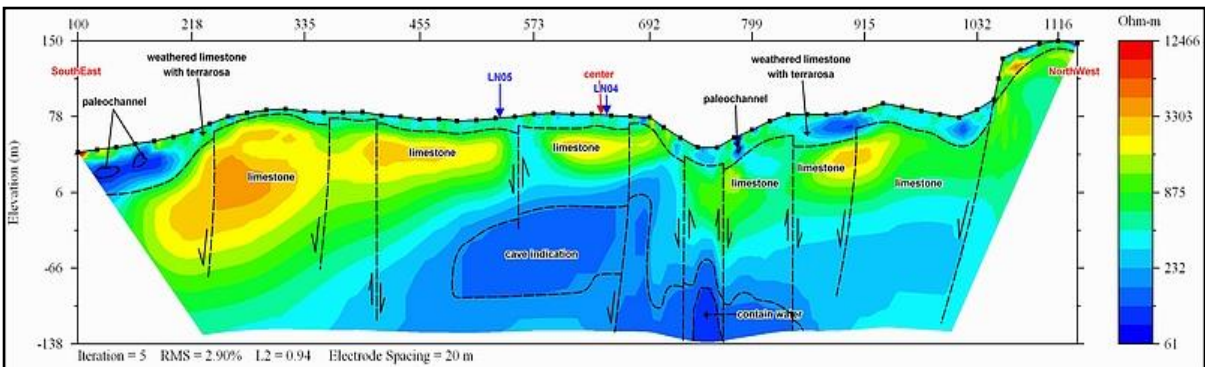
Lintasan LN06 yang berarah relatif Tenggara - Barat Laut dengan panjang lintasan 1.100 m. Dari gabungan susunan *Schlumberger* dan *Wenner*, diinterpretasikan terdapat 2 lapisan. Lapisan 1 dengan kedalaman antara 5 - 29,7 m dari permukaan adalah lapisan penutup bagian atas. Berdasarkan singkapan batuan di lapangan dan peta geologi regional, lapisan ini dapat disejajarkan dengan batuan dari Formasi Wonosari (Tmwl), berupa lapukan batugamping secara *insitu* dan lapukan batugamping yang telah mengalami transportasi menjadi tanah terrarosa. Di bawahnya lapisan 2 memiliki nilai *resistivity* 1.000 - 14.439 Ω m. Lapisan 2 disejajarkan dengan batuan dari Formasi Wonosari (Tmwl) berupa batugamping terumbu yang memiliki perlapisan semu. Pada lapisan 2 ini diindikasikan terdapat gua bawah tanah yang berlokasi di bawah posisi tengah-tengah lintasan (*center*) ke arah Tenggara, sekitar 230 m dari bawah posisi *center* ke arah Barat Laut yang mempunyai nilai *resistivity* berkisar dari 11 - 250 Ω m. Kedalaman gua bawah tanah antara 92 - 208,8 m di bawah permukaan, di bagian tengahnya terdapat indikasi terisi oleh air tawar yang ditandai dengan nilai *resistivity* < 37,25 Ω m. Secara lengkap pada Gambar 10.



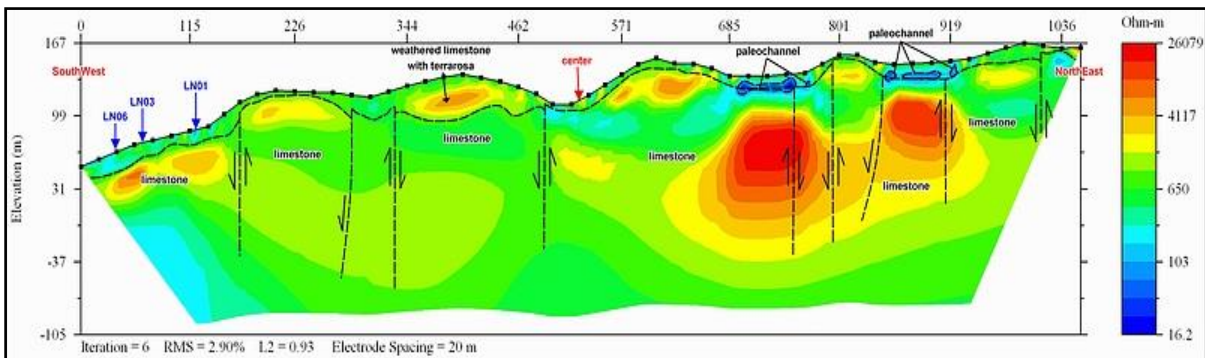
Gambar 5 Penampang Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis di Lintasan LN01



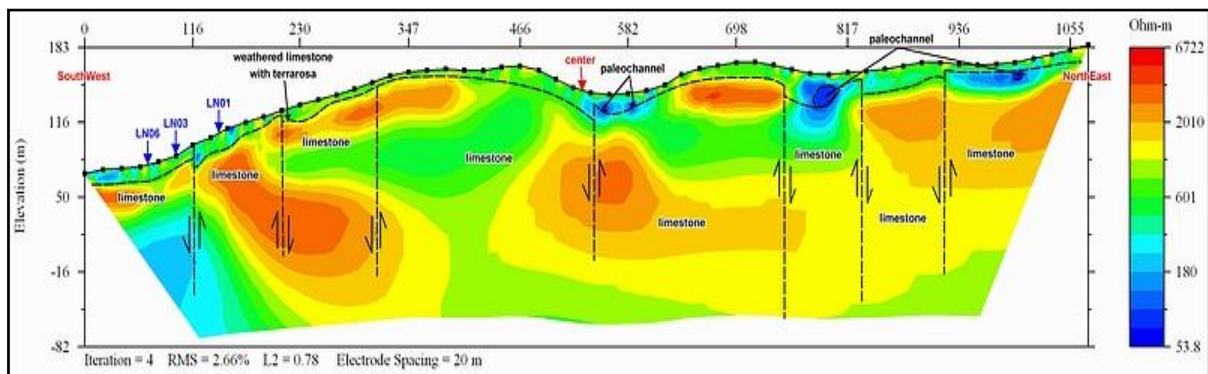
Gambar 6 Penampang Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis di Lintasan LN02



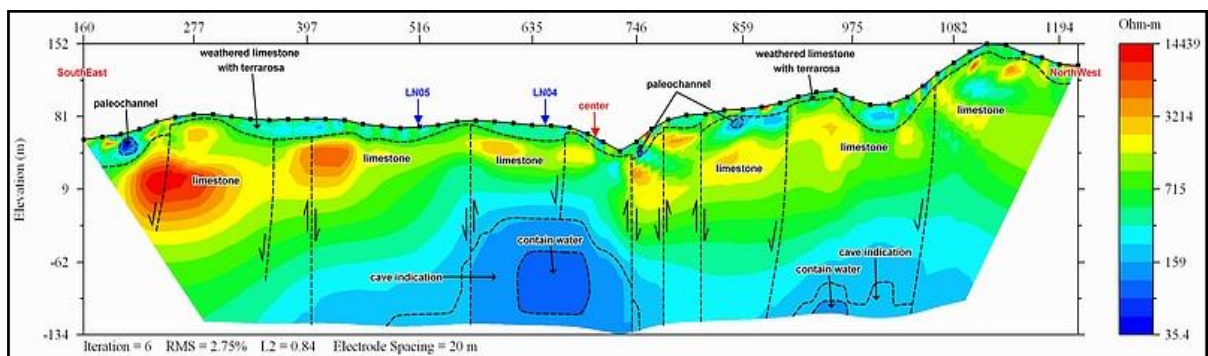
Gambar 7 Penampang Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis di Lintasan LN03



Gambar 8 Penampang Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis di Lintasan LN04



Gambar 9 Penampang Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis di Lintasan LN05



Gambar 10 PenampangBawah Permukaan Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis di Lintasan LN06

Interpretasi Bawah Permukaan

Interpretasi perlapisan di bawah permukaan dari 6 lintasan pengukuran tahanan jenis (*resistivity*), dan dikorelasikan dengan data dari peta geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1:100.000 (Rahardjo, dkk, 1995), yaitu:

- 1) Lapisan paling atas yang merupakan lapisan penutup memiliki nilai *resistivity* berkisar antara 11 - 750 Ω m. Diinterpretasikan satuan lapisan batuan memiliki besar butir dari halus sampai kasar disejajarkan dengan batuan dari Formasi Wonosari (Tmw1), berupa lapukan batugamping secara insitu dan lapukan batugamping yang telah mengalami transportasi menjadi tanah terrarosa dan menempati lembah-lembah. Penyebaran lapukan batuan ini, umumnya menebal ke arah lembah-lembah yang terbentuk akibat patahan atau erosi yang masih terjadi sampai saat ini dengan ketebalan mencapai 41,6 m.
- 2) Lapisan paling bawah yang masih terdeteksi memiliki nilai *resistivity* berkisar 1.000 - 26.079 Ω m. Diinterpretasikan satuan lapisan batuan memiliki besar butir kasar dan sangat kompak disejajarkan dengan batuan dari Formasi Wonosari (Tmw1), berupa batugamping terumbu yang memiliki perlapisan semu.

Indikasi adanya *Paleochannel* atau saluran/sungai purba merupakan sisa dari alur sungai yang terbentuk dan menoreh batugamping pada masa lampau, diisi oleh endapan sedimen muda berupa tanah terrarosa yang menutupi batugamping tersebut. Beberapa tempat di lintasan LN01, LN02, dan LN06, masih terlihat indikasi gejala pelarutan yang masih bekerja membentuk alur sungai purba pada batugamping Formasi Wonosari, sehingga aliran air di dalamnya diinterpretasikan masih dalam keadaan aktif dan diprediksi akan selalu berair. Aliran alur sungai purba ini, diinterpretasikan menuju ke selatan dengan arah umumnya relatif Timur Laut - Barat Daya mengikuti lembah-lembah yang terbentuk akibat struktur dan pelarutan di Formasi Wonosari tersebut.

Interpretasi morfologi dan arah aliran air dalam gua Bekah dari 6 lintasan pengukuran *resistivity*, disajikan dalam bentuk Peta *Iso-pach* pada Gambar 10 diduga kedalaman gua dari permukaan tanah antara 80 - 200 m. Berdasarkan nilai tahanan jenis batuan yang menyusun di daerah penelitian umumnya batugamping, memiliki nilai *resistivity* > 1.000 Ω m. Oleh sebab itu interpretasi terhadap batas morfologi Gua Bekah tersebut didasarkan atas nilai *resistivity* < 250 Ω m. Penurunan nilai *resistivity* tersebut, diakibatkan oleh adanya zona lemah di sekitar gua yang berupa

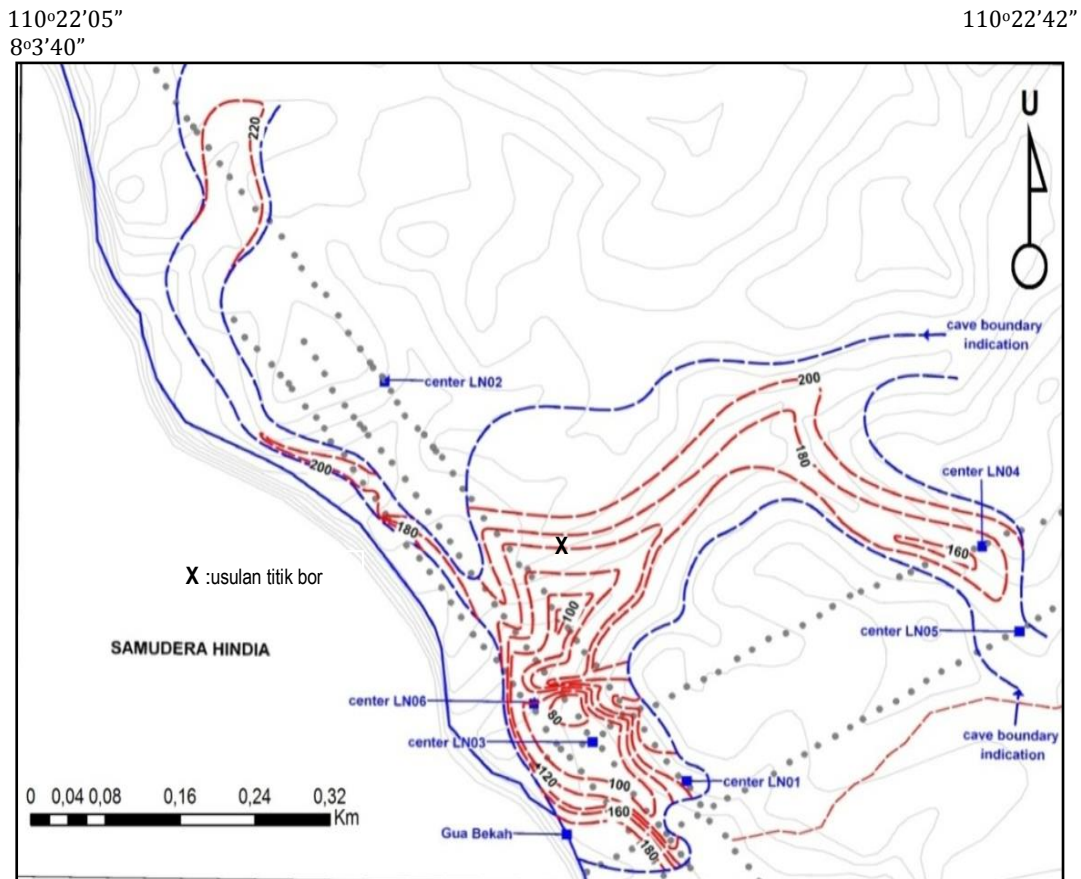
sesar, pelarutan, dan pelapukan dan menyebabkan infiltrasi air permukaan ke dalam Gua Bekah.

Gua Bekah diinterpretasikan membentuk lorong-lorong sungai bawah tanah dan membentuk cabang-cabang yang saling berhubungan. Cabang dari sungai bawah tanah tersebut dominan mengarah dan mengumpul ke posisi Gua Bekah, dengan arah relatif Barat Laut – Tenggara dan Timur Laut – Barat Daya. Ketebalan sedimen penutup di sekitar alur gua dari permukaan tanah, mencapai > 220 m dan paling tipis < 80 m.

Cabang sungai yang berarah relatif Barat Laut – Tenggara, sedimen penutupnya menebal ke arah Barat Laut hingga > 220 m, sehingga dapat diinterpretasikan arah aliran sungainya berasal dari Barat Laut menuju mulut gua dan hampir sejajar dengan batas pantai. Cabang sungai yang

berarah Timur Laut – Barat Daya memiliki ketebalan sedimen penutup yang menebal ke arah Timur Laut hingga > 200 m, sehingga dapat diinterpretasikan arah aliran sungainya berasal dari Timur Laut menuju ke mulut gua. Cabang-cabang sungai bawah tanah tersebut berhubungan dan mengumpul dari mulai mulut Gua Bekah dan membesar ke arah relatif Timur Laut.

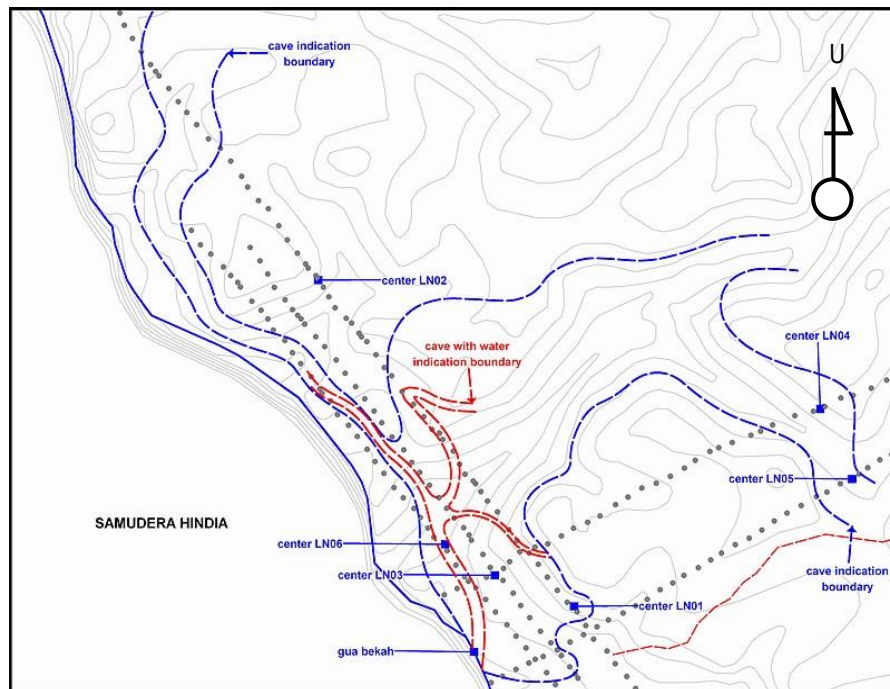
Berdasarkan nilai *resistivity* diduga batuan yang mengandung air tawar yang sangat banyak memiliki nilai *resistivity* berkisar antara 4 – 100 Ω m. Interpretasi terhadap arah sungai bawah tanah yang terisi air tawar dapat ditelusuri dengan menghubungkan nilai dari 6 penampang *resistivity* yang memiliki nilai *resistivity* < 100 Ω m. Secara lengkap dapat diperiksa Gambar 11 sedangkan posisi mulut Gua Bekah pada Gambar 12 dan 13.



Gambar 11 Peta Iso-pach Gua Bekah di sekitar Gua Bekah

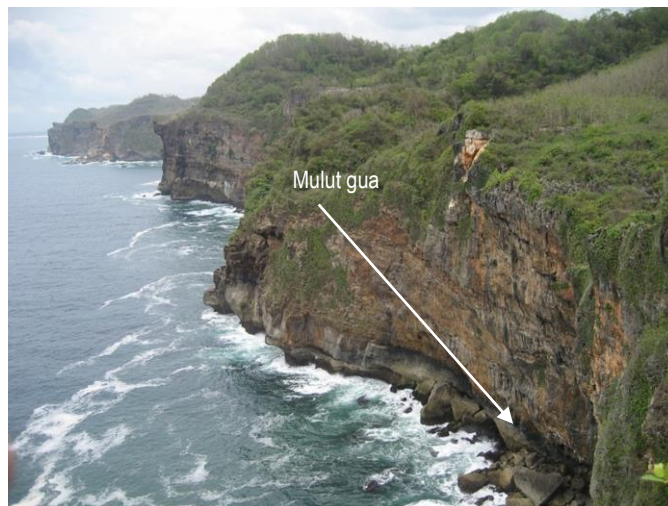
110°22'05"
8°3'40"

110°22'42"



8°4'81"

Gambar 12 Peta Arah Aliran Sungai Bawah Permukaan Disekitar Gua Bekah



Gambar 13 Posisi Mulut Gua Bekah di Dasar Tebing

Pemanfaatan Air Gua Bekah

Hasil dari interpretasi pendugaan geolistrik, penampakan di lapangan dan penuturan masyarakat, dapat dikatakan bahwa Gua Bekah merupakan muara dari suatu sungai bawah tanah. Mulut Gua Bekah terdapat di dasar tebing yang langsung berhubungan dengan laut. Tebing itu sendiri memiliki ketinggian lebih dari 80 m. Pada

salah satu lereng tebing telah terdapat jalan rintisan yang langsung berhubungan dengan mulut gua. Jalan rintisan ini sudah biasa digunakan para nelayan penangkap lobster untuk turun ke laut. Penampakan lapangan dari mulut Gua Bekah terletak pada dasar tebing yang memiliki ketinggian lebih dari 80 m seperti yang disajikan pada Gambar 13. Pemanfaatan air dari aliran bawah tanah yang bermuara di Gua Bekah di

daerah Temon dapat dilakukan dengan 2 (dua) cara, ialah:

- 1) Pengambilan dari muara aliran di Gua Bekah dengan pemompaan dan pemasangan pipa dari mulut gua sekitar 100 m melalui tebing di pantai, kelemahannya adalah banyaknya tekukan pada pemasangan pipa dan bila terjadi pasang akan terpengaruh oleh air laut.
- 2) Pengeboran uji secara tegak dengan memotong air di jalur aliran bawah tanah pada koordinat 110°22'23.6388" BT 8°4'2.8742" LS (X.) kedalaman antara 80 - 100 m (Gambar 11), sesuai dengan hasil interpretasi geolistrik dan kelemahannya adalah dari segi biaya relatif mahal.

KESIMPULAN

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

Metode geolistrik tahanan jenis dapat digunakan untuk pemetaan geologi bawah permukaan di sekitar Gua Bekah, berdasarkan nilai tahanan jenisnya diinterpretasikan keadaan arah aliran sungai bawah tanah, bentuk morfologi gua dan sekitarnya secara lebih detail.

Aliran sungai bawah tanah yang keluar dari mulut Gua Bekah adalah akibat adanya zona lemah di sekitar gua yang berupa sesar, pelarutan, pelapukan dan menyebabkan infiltrasi air permukaan ke dalam gua. Arah aliran relatif Barat Laut - Tenggara dan Timur Laut - Barat Daya dengan kedalaman antara 80 - 200 m dari permukaan tanah. Interpretasi tersebut didasarkan atas penurunan nilai *resistivity* < 250 Ω m.

Batuan yang mengandung air tawar, diduga memiliki nilai *resistivity* berkisar antara 4 - 100 Ω m. Interpretasi terhadap arah sungai bawah tanah yang terisi air tawar dapat ditelusuri dengan menghubungkan nilai dari 6 penampang *resistivity* yang memiliki nilai *resistivity* < 100 Ω m.

Sebelum dilakukan pengeboran uji untuk memastikan lebih tepat, perlu penelusuran dan pemetaan Gua Bekah. Melakukan pengukuran debit aliran di Gua Bekah yang berfungsi sebagai muara aliran bawah permukaan, analisa kualitas air di laboratorium dengan mengambil contoh air dari Gua Bekah.

DAFTAR PUSTAKA

- Assad Fakhry A. 2004. *Field Methodes for Geologist and Hydrogeologists*, Springer - Verlag Berlin Heidelberg 2004, Printed in Germany Pp 69-72 .
- Hendra Grandis DR. 2008. "Metode Geolistrik", Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung. Pp 1-42.
- 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., Sukandarrumidi, dan Rosidi, H.M.D. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Soewaeli Adang S. 2012. *Interpretasi Kualitas Air Tanah Dari Hasil Pengukuran Geolistrik Di Pantai Balonrejo, Jawa Tengah*, Jurnal Teknik Hidraulik Vol.3 No.1, ISSN 2087-3611, Puslitbang Sumber Daya Air.
- Santamarina Carlos J. 2012. *Electromagnetic Waves and Particulate Materials*, Georgia Institute of Technology, <http://alertgeomaterials.eu/wp-content/uploads/2012/10/Presentation-Electromagnetic-Waves.pdf>