



INVESTIGASI GUA BANDUNG DI KAWASAN PEGUNUNGAN KARST SUKOLILO PATI DENGAN MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK

Rizal Suria Hutomo[✉], Khumaedi, Agus Yulianto

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Maret 2016

Disetujui Maret 2016

Dipublikasikan Juli 2016

Keywords:

Karst, Cavity, Resistivity, Wenner-Schlumberger

Abstrak

Daerah karst memiliki banyak keistimewaan, salah satunya adalah gua bawah tanah. Gua bawah tanah yang terdapat di desa Kedungwinong, Sukolilo, Pati dikenal dengan nama Gua Bandung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui alur dari Gua Bandung. Akuisisi data resistivitas telah dilakukan dengan menggunakan geolistrik konfigurasi *Wenner-Schlumberger* di Gua Bandung Pati dengan lima lintasan dan panjang masing-masing lintasan adalah 150 meter serta spasi antar elektroda adalah 10 meter. Hasil dari pengolahan dan pemodelan inversi 2 dimensi menunjukkan bahwa bagian atas gua berlokasi sekitar 7-10 meter di bawah permukaan lintasan pertama. Mulut Gua Bandung menghadap ke arah N 20° W. Nilai resistivitas Gua Bandung sekitar 1000 Ωm . Data alur Gua Bandung dapat terdeteksi pada lintasan kedua dan ketiga dengan nilai resistivitas sekitar 724-1000 Ωm berbelok ke arah tenggara terdeteksi pada kedalaman 19-27 meter. Data lintasan keempat dan kelima tidak dapat menunjukkan alur Gua Bandung dikarenakan keterbatasan kedalaman yang dapat dicapai oleh alat geolistrik tersebut.

Abstract

Karst area has many privileges, one of which is an underground cave. Underground cave located in the Kedungwinong village, Sukolilo, Pati known as the Bandung cave. This study aims to determine the flow of the Bandung cave. Resistivity data acquisition has been done using geoelectric with Wenner-Schlumberger configuration in Bandung cave Pati with five lines and each line length 150 meters with 10 meter spacing between electrodes. Result of 2D inversion processing and modeling shows that the top of the cave is located about 7-10 meters below the surface of the first line. Bandung cave mouth facing N 20° W. Resistivity of Bandung cave about 1000 Ωm . Data show the flow of Bandung cave can be detected in the second and third line with a resistivity value of approximately 724-1000 Ωm turn to the southeast was detected at a depth of 19-27 meters. The fourth and fifth line data can't show the flow of Bandung cave because limited depth that can be achieved by the geoelectric.

[✉] Alamat korespondensi:

Jalan Raya Sekaran Gunungpati 50229 Indonesia

E-mail : rizalsuriahutomo@gmail.com

PENDAHULUAN

Kawasan karst di Indonesia mencakup luas sekitar 15,4 juta hektar dan tersebar hampir di seluruh Indonesia. Perkiraan umur dimulai sejak 470 juta tahun lalu sampai yang terbaru sekitar 700.000 tahun. Keberadaan kawasan ini menunjukkan bahwa pulau-pulau Indonesia banyak yang pernah menjadi dasar laut, namun kemudian terangkat dan mengalami pengerasan. Wilayah karst biasanya berbukit-bukit dengan banyak goa (Sukandarrumidi & Maulana, 2014).

Kawasan Karst menurut Ford dan Williams (1989) adalah kawasan yang memiliki karakteristik relief dan drainase yang khas serta terjadi pada batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik, seperti pada batuan karbonat (biasanya berupa kapur, dolomit atau marmer), walaupun ada juga yang terjadi bukan di batuan karbonat. Kawasan karst memiliki berbagai keistimewaan. Dari segi endokarst (pembagian morfologi bawah permukaan) terbentuknya gua-gua bawah tanah, sungai-sungai dan mata air bawah tanah, hingga sistem drainase bawah tanah yang kompleks (Maulana, 2011), dan secara eksokarst (pembagian morfologi permukaan) diwujudkan daerahnya berupa cekungan-cekungan dalam bentuk bukit-bukit kecil, pematang bukit dan ukiran bebatuan di permukaan karst tersebut, lekuk-lekuk lembah, dan mulut gua yang terbentuk dari pelarutan bebatuan oleh air hujan yang memiliki relief dan drainase yang khas berupa batuan gamping. Batuan gamping memiliki nilai porositas tinggi akibatnya ketika air hujan turun membasahi daerah karst, air hujan akan menerobos melalui celah-celah bebatuan yang menyusun daerah tersebut sehingga daerah karst memiliki banyak keindahan. Sejumlah keistimewaan di atas merupakan hasil dari proses alam yang sangat panjang.

Salah satu kawasan karst yang potensial di Provinsi Jawa Tengah adalah karst yang berada di Desa Kedungwinong RT 7 RW 4 Kecamatan

Sukolilo, Kabupaten Pati, dalam kawasan karst Kendeng Utara. Secara morfologi daerah Desa Kedungwinong RT 7 RW 4 Kecamatan Sukolilo Kabupaten Pati termasuk satuan perbukitan yang terhampar di bagian selatan wilayah kabupaten Pati. Secara geologi lokasi penelitian berada pada formasi bulu, yaitu batu gamping bersisipan batu gamping pasir dan batu gamping lempungan (Suwarti & Wikarno, 1992). Batuan penyusun morfologi tersebut adalah batu gamping, batu gamping pasir, dan batu lempung (Rauf & Utama, 2009). Keseluruhan batuan tersebut mengalami pelipatan serta membentuk gua-gua bawah tanah.

Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika untuk mengetahui perubahan tahanan jenis batuan di bawah permukaan tanah dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Injeksi arus listrik dilakukan dengan menggunakan dua buah elektroda arus A dan B yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu. Semakin panjang jarak elektroda AB akan menyebabkan aliran arus listrik dapat menembus lapisan batuan yang lebih dalam (Broto & Afifah, 2008). Proses deteksi gua bawah tanah tentunya membutuhkan metode penentuan yang telah teruji. Salah satu metode ilmiah yang digunakan adalah metode geolistrik (Huda, 2011).

Pendeteksian gua merupakan masalah eksplorasi paling sulit karena harus menggunakan alat dengan resolusi tinggi agar dapat menembus bawah permukaan dengan kedalaman yang baik (Pagán *et al.*, 2013). Penelitian tentang gua bawah tanah pernah dilakukan oleh Ardi & Iryanti (2009) di daerah gua dago pakar Bandung yang akuisisi datanya dilakukan secara *mapping* untuk mendapatkan profil secara kontinu ke arah lateral dan vertikal. Pada penelitian gua dago pakar tersebut digunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dengan spasi elektroda potensial tetap sebesar 5

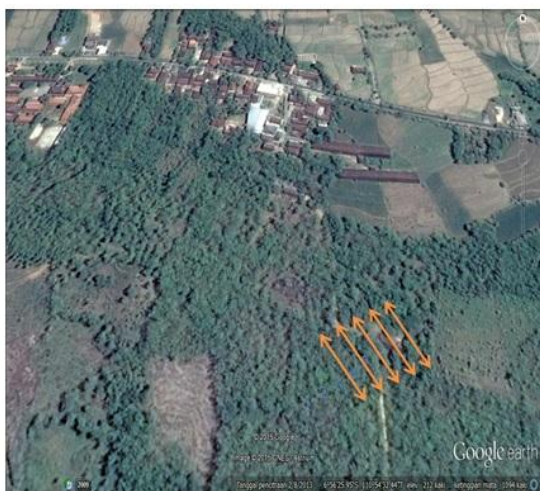
meter dan spasi arus berubah-ubah serta profil lintasan mencapai 135 meter.

Beberapa penelitian lain tentang gua bawah tanah juga pernah dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik, antara lain (Martínez *et al.*, 2013) tentang gua Algaidilla di Spanyol yang menghasilkan nilai resistivitas diatas 1000 Ωm , (Qady *et al.*, 2005) dengan menggunakan metode *dipole-dipole* dan *Ground Penetrating Radar (GPR)* di Mesir, Paulus (2012) yang menggunakan metode *resistivity* konfigurasi *dipole-dipole* menghasilkan resistivitas yang

tinggi dengan nilai sekitar 127 Ωm – 160 Ωm , dan Andrej & Uroš (2012) tentang gua Divaška Jama, Slovenia yang menghasilkan nilai resistivitas lebih dari 1000 Ωm . Bahkan Pánek *et al.*(2010) melakukan penelitian tentang gua dengan nilai resistivitas yang didapat sekitar 2000-3000 Ωm . Dengan adanya beberapa penelitian tersebut maka dapat dilakukan penelitian yang sama untuk gua bawah tanah daerah Sukolilo Pati dengan menggunakan metode geolistrik.

METODE PENELITIAN

Pengambilan data dilakukan di sekitar wilayah gua Bandung di desa Kedungwinong RT 7 RW 4 Kecamatan Sukolilo Kabupaten Pati pada bulan April 2016. Desain survey tempat pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain survey tempat pengukuran

Pengambilan data dilakukan dengan geolistrik konfigurasi *Wenner-Schlumberger* sebanyak lima lintasan. Peralatan yang diperlukan dalam pengambilan data adalah *Resistivitymeter Multi Channel* merk *S-Field*, elektroda sejumlah 16 buah, dua buah aki (elemen kering) masing-masing 12 volt, meteran, palu, dua buah kabel gulung masing-masing 150 meter, laptop, dan GPS (*Global Positioning System*).

Pengambilan data dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memasang elektroda sebanyak 16 elektroda pada lintasan sepanjang 150 meter dengan spasi antar elektroda sebesar 10 meter pada lapangan lokasi penelitian.
2. Memasang kabel penghubung dengan sumber arus dan kabel penghubung alat *resistivity* dengan USB agar terkoneksi dengan laptop.
3. Membuka *software GeoRes* pada laptop. Memilih *setting* mengubah metode menjadi *Wenner-Schlumberger*.
4. Memilih *resistivity* kemudian memilih direktori untuk menyimpan data yang dihasilkan dari pengukuran kemudian mengklik *start*. Dengan *software* tersebut pengambilan data bawah permukaan dapat otomatis terbaca.
5. Data hasil pengukuran disimpan pada direktori yang sudah dipilih sebelum memulai pengukuran.
6. Mengulangi langkah 1 sampai 5 untuk lintasan berikutnya.

Pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel* untuk mendapatkan nilai resistivitas semu, kemudian melakukan proses inversi menggunakan *Res2dinv* untuk mendapatkan model penampang 2D resistivitas bawah permukaan daerah penelitian. Selanjutnya,

menampilkan hasil pola 3D menggunakan *Surfer* 11.

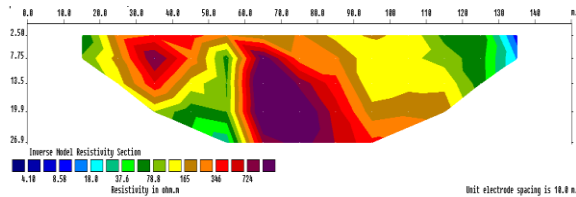
Dilakukan juga interpretasi data. Pada tahapan ini hasil output yang dihasilkan oleh *software Res2Dinv* akan menampilkan gambar penampang 2D. Hasil olahan data 2D

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Akuisisi Data Lapangan

Lintasan pertama

Pada lintasan pertama dilakukan dengan panjang lintasan 150 meter dan jarak spasi antar elektroda sebesar 10 meter. Titik awal pengukuran berada pada UTM X 490155 dan UTM Y 9232509 dengan elevasi 109 mdpl, titik akhir berada pada UTM X 490010 dan UTM Y 9232352 dengan elevasi 126 mdpl di daerah sekitar kebun jagung. Hasil pengolahan data *resistivity* pada lintasan pertama menggunakan *software Res2Dinv* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Penampang resistivitas 2 Dimensi pada lintasan pertama

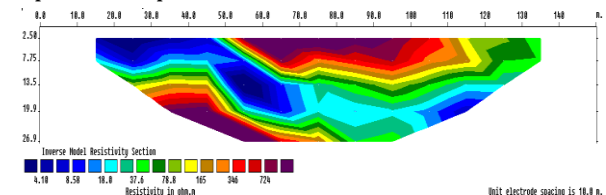
Berdasarkan hasil olah data dengan *Res2Dinv*, nilai resistivitas suatu batuan diwakilkan oleh pencitraan warna. Pada Gambar 2 citra warna ungu memiliki resistivitas yang tinggi yaitu lebih dari 1000 Ω m. Udara memiliki resistivitas yang tinggi sampai tak terhingga (*Telford et al., 1982*). Karena gua berisikan udara, maka untuk pendugaan alur gua perlu diperhatikan bagian dari penampang tahanan jenis yang bernilai $\rho > 1000 \Omega$ m. Dari Gambar 2 diperoleh interpretasi bahwa zona resistivitas tinggi merupakan udara yang ditafsirkan sebagai alur dari gua Bandung, karena pada pengukuran lintasan pertama berada tepat diatas mulut gua. Bagian atas gua Bandung pada daerah pengukuran dapat terdeteksi pada kedalaman 7-

mengandung informasi nilai resistivitas batuan bawah permukaan dengan pencitraan warna. Pencitraan warna tersebut kemudian diinterpretasikan nilai resistivitas suatu batuan/material sesuai dengan geologi daerah penelitian.

10 meter di bawah permukaan. Lebar mulut gua pada saat dilakukan pengukuran secara manual dengan menggunakan meteran sekitar 12-15 meter, hal ini sesuai dengan resistivitas yang ditunjukkan oleh Gambar 2 dengan citra warna ungu dengan bentangan 63-76 meter. Pada daerah di sekitarnya, dengan nilai resistivitas 78-400 Ω m diinterpretasikan sebagai pasir yang mewakili nilai resistivitasnya dengan warna kuning-merah. Zona resistivitas rendah sebesar 4-40 Ω m yang mewakili nilai resistivitasnya adalah warna biru tua-biru muda sebagai lapisan alluvium.

Lintasan kedua

Pada lintasan kedua dilakukan dengan panjang lintasan 150 meter dan jarak spasi antar elektroda sebesar 10 meter. Titik awal pengukuran berada pada UTM X 490173 dan UTM Y 9232573 dengan elevasi 96 mdpl, titik akhir berada pada UTM X 490022 dan UTM Y 9232567 dengan elevasi 119 mdpl di daerah sekitar kebun jagung. Hasil pengolahan data *resistivity* pada lintasan kedua menggunakan *software Res2Dinv* dapat dilihat pada Gambar 3.



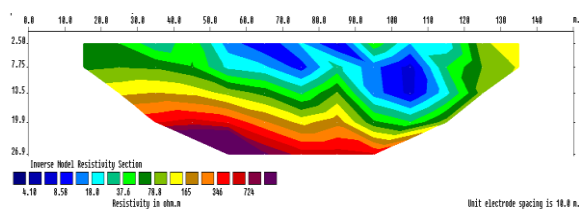
Gambar 3. Penampang resistivitas 2 Dimensi pada lintasan kedua

Berdasarkan geologi daerah penelitian, pada Gambar 3 citra warna ungu dengan resistivitas $\rho > 724 \Omega$ m seperti pada lintasan pertama

diinterpretasikan sebagai alur gua Bandung yang berada pada bentangan 35-60 meter di kedalaman 19-27 meter dari permukaan. Untuk citra warna ungu yang berada pada bentangan 60-100 meter bukan merupakan alur dari gua Bandung dikarenakan berada di permukaan. Citra warna ungu tersebut merupakan hasil olah data dari program *Res2Dinv* setelah disamakan nilai resistivitasnya. Namun sebenarnya pada bentangan 60-100 meter memiliki citra warna merah-jingga yang bukan nilai resistivitas dari alur gua. Nilai resistivitas yang tinggi hingga mencapai $\rho > 5000 \Omega m$ sebelum disamakan nilai resistivitasnya menyebabkan pada bentangan 60-100 meter tersebut berwarna ungu pada saat disamakan nilai resistivitasnya. Citra warna hijau pada bentangan 120-135 meter di kedalaman 2,5-19,9 meter diinterpretasikan sebagai lempung, dan untuk citra warna biru muda dan biru tua pada bentangan 15-50 meter diinterpretasikan sebagai lapisan alluvium dan sebagian lempung.

Lintasan ketiga

Pada lintasan ketiga dilakukan dengan panjang lintasan 150 meter dan jarak spasi antar elektroda sebesar 10 meter. Titik awal pengukuran berada pada UTM X 490202 dan UTM Y 9232548 dengan elevasi 103 mdpl, titik akhir berada pada UTM X 490054 dan UTM Y 9232589 dengan elevasi 113 mdpl di daerah sekitar kebun jagung. Hasil pengolahan data *resistivity* pada lintasan ketiga menggunakan *software Res2Dinv* dapat dilihat pada Gambar 4.



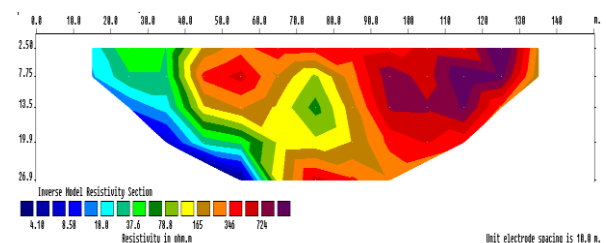
Gambar 4. Penampang resistivitas 2 Dimensi pada lintasan ketiga

Berdasarkan geologi daerah penelitian, pada Gambar 4 citra warna ungu dengan resistivitas

$\rho > 724 \Omega m$ diinterpretasikan sebagai alur gua Bandung yang berada pada bentangan 40-64 meter di kedalaman 20-27 meter dari permukaan. Warna merah-kuning diinterpretasikan sebagai batu gamping sebagian batu gamping pasiran pada bentangan 20-100 meter dengan kedalaman 12,5-26,9 meter. Warna hijau pada bentangan 15-133 meter di kedalaman bervariasi dari 2,5-22 meter diinterpretasikan sebagai lapisan lempung, sedangkan citra warna biru tua-biru muda pada bentangan 50-117 meter diinterpretasikan sebagai lapisan alluvium.

Lintasan keempat

Pada lintasan keempat dilakukan dengan panjang lintasan 150 meter dan jarak spasi antar elektroda sebesar 10 meter. Titik awal pengukuran berada pada UTM X 490207 dan UTM Y 9232524 dengan elevasi 94 mdpl, titik akhir berada pada UTM X 490063 dan UTM Y 9232564 dengan elevasi 103 mdpl di daerah sekitar kebun jagung. Hasil pengolahan data *resistivity* pada lintasan keempat menggunakan *software Res2Dinv* dapat dilihat pada Gambar 5.



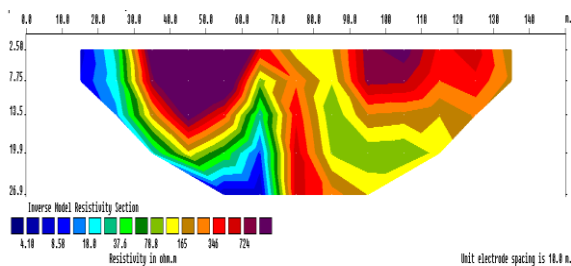
Gambar 5. Penampang resistivitas 2 Dimensi pada lintasan keempat

Berdasarkan geologi daerah penelitian, pada Gambar 5 lintasan alur gua bandung mulai tidak terlihat. Citra warna ungu yang ada pada gambar 5 merupakan singkapan batuan berupa batu gamping yang ada di lokasi pengukuran pada bentangan 120-130 meter. Alur gua bandung tidak terlihat dikarenakan keterbatasan alat penelitian dalam menjangkau kedalaman di bawah permukaan. Citra warna merah pada bentangan 50-118 meter merupakan batu

gamping sebagian batu gamping pasiran. Warna kuning di kedalaman 2,5-26,9 meter pada bentangan 40-84 meter termasuk lapisan pasir. Warna hijau pada bentangan 20-40 meter termasuk lapisan lempung, dan citra warna biru tua dan biru muda merupakan lapisan alluvium.

Lintasan kelima

Pada lintasan kelima dilakukan dengan panjang lintasan 150 meter dan jarak spasi antar elektroda sebesar 10 meter. Titik awal pengukuran berada pada UTM X 490225 dan UTM Y 9232545 dengan elevasi 101 mdpl, titik akhir berada pada UTM X 490074 dan UTM Y 9232590 dengan elevasi 108 mdpl di daerah sekitar kebun jagung. Hasil pengolahan data *resistivity* pada lintasan kelima menggunakan *software Res2Dinv* dapat dilihat pada Gambar 6.



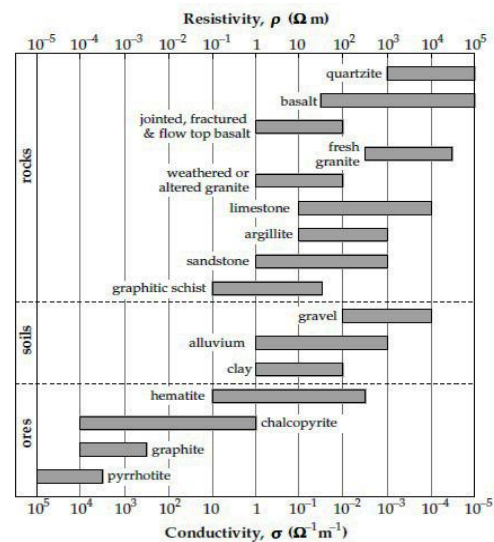
Gambar 6. Penampang resistivitas 2 Dimensi pada lintasan kelima

Berdasarkan geologi daerah penelitian, pada Gambar 6 alur gua bandung juga tidak terlihat. Untuk citra warna ungu yang berada pada bentangan 33-60 meter dan 95-110 meter bukan merupakan alur dari gua bandung dikarenakan berada di permukaan. Citra warna ungu tersebut merupakan hasil olah data dari program *Res2Dinv* setelah disamakan nilai resistivitasnya. Namun sebenarnya pada bentangan 33-60 meter dan 95-110 meter memiliki citra warna merah-jingga dan kuning yang merupakan bukan nilai resistivitas dari alur gua. Nilai resistivitas yang tinggi hingga mencapai $\rho > 6000 \Omega m$ sebelum disamakan nilai resistivitasnya menyebabkan pada bentangan 33-60 meter dan 95-110 meter tersebut berwarna ungu pada saat disamakan nilai resistivitasnya.

Alur gua bandung tidak terlihat dikarenakan keterbatasan alat penelitian dalam menjangkau kedalaman di bawah permukaan.

Pembahasan

Berdasarkan pengolahan data menggunakan *Res2Dinv* untuk konfigurasi *Wenner-Schlumberger*, diperoleh model 2 dimensi penampang resistivitas bawah permukaan berupa citra warna seperti terlihat pada gambar 2 sampai dengan gambar 6. Setiap citra warna memiliki warna tertentu seperti biru, kuning, hijau, merah hingga ungu. Nilai resistivitas pada citra warna tersebut memiliki jenis batuan yang berbeda-beda, untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar 7 berikut.

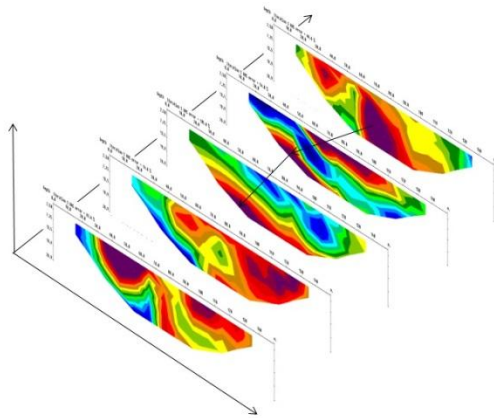


Gambar 7. Rentang nilai resistivitas beberapa jenis batuan (Lowrie, 2007)

Interpretasi dilakukan dengan dengan pemodelan lapisan resistivitas batuan dari masing-masing titik pengukuran. Hasil analisa tersebut kemudian diinterpretasikan berdasarkan data geologi yang ada. Terdapatnya gua di bawah permukaan dapat menyebabkan anomali *resistivity* yaitu bisa anomali *resistivity* tinggi atau anomali *resistivity* rendah bergantung pada material/batuan yang mengisi gua tersebut.

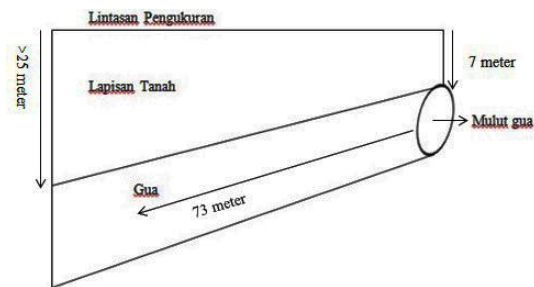
Secara keseluruhan lintasan pertama, kedua, dan ketiga dapat dilihat alur gua bandung

(Gambar 8). Pada lintasan pertama bagian atas dari mulut gua bandung dapat dideteksi pada kedalaman 7-10 meter dari permukaan pada bentangan 63-76 meter, pada lintasan kedua alur gua bandung dapat dideteksi di kedalaman 19-27 meter pada bentangan 35-60 meter, dan untuk lintasan ketiga alur gua bandung berada pada bentangan 40-60 meter di kedalaman 20-27 meter. Dari data diatas dapat dilihat bahwa alur gua bandung semakin ke bawah permukaan (Gambar 9), hal ini dapat dilihat dari nilai resistivitas dan kedalaman yang dicapai oleh alat geolistrik.



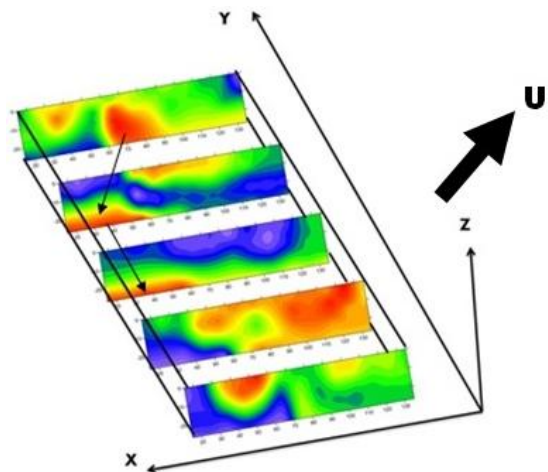
Gambar 8. Interpolasi seluruh lintasan pengukuran

Dilakukan juga pengukuran manual dengan menggunakan meteran mengikuti alur gua, pengukuran dilakukan sepanjang 73 meter dari mulut gua menuju ke dalam gua, dari pengukuran tersebut alur gua semakin ke bawah permukaan dan lebar gua semakin dalam semakin melebar dibandingkan dengan mulut gua. Lebar di dalam gua sekitar 25-30 meter dibandingkan lebar mulut gua yang hanya sekitar 12-15 meter, hal ini sesuai dengan pengukuran dengan menggunakan alat geolistrik yang dapat mendeteksi alur gua pada lintasan sejauh 50 meter. Oleh karena itu pada lintasan keempat dan lintasan kelima alur gua bandung tidak dapat dicapai karena keterbatasan alat geolistrik.



Gambar 9. Pengukuran dimensi gua tampak samping

Pengolahan data dengan menggunakan *Surfer 11* dapat digunakan untuk menampilkan penampang secara vertikal. Hasil pengolahan untuk sayatan vertikal dengan menggunakan *software Surfer 11* ditunjukkan seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Sayatan vertikal 3 dimensi

Berdasarkan hasil pengukuran yang disajikan dalam model sayatan vertikal dapat diprediksi penentuan lokasi alur gua bandung yang ditunjukkan oleh panah, mulut gua bandung menghadap ke arah barat atau N 20° W dan alur gua bandung berbelok ke arah tenggara dan semakin ke bawah dari permukaan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis data hasil penelitian dan pembahasan didapatkan bahwa alur gua bandung memiliki mulut gua yang menghadap ke arah N 20° W dan dapat terdeteksi pada kedalaman 7-10 meter dari permukaan. Resistivitas untuk gua bandung sekitar 1000 Ω m. Untuk alur gua bandung berbelok ke arah

tenggara dan dapat terdeteksi pada kedalaman 19-27 meter pada lintasan sejauh 50 meter dan semakin ke bawah dari permukaan.

Dalam penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan metode lain agar dapat mendeteksi alur gua Bandung secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrej, M & S. Uroš. 2012. Electrical Resistivity Imaging of Cave Divaška Jama, Slovenia. *Journal of Cave and Karst Studies* 74(3): 235-242.
- Ardi, N. D. & M. Iryanti. 2009. Profil Resistivitas Pada Gua Bawah Tanah Dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger (Studi Kasus Gua Dago Pakar, Bandung). *Jurnal pengajaran MIPA* 14(2): 79-86 ISSN: 1412-0917.
- Broto, S. & R. S. Afifah. 2008. Pengolahan Data Geolistrik dengan Metode Schlumberger. *Teknik* 29(2): 120-128 ISSN: 0852-1697.
- Ford, D. & Williams, P. 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: Chapman and Hall.
- Huda, A. M. M. 2011. Pemetaan Air Tanah Menggunakan Metode Resistivitas Wenner Sounding (Studi Kasus Kampus II Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang). *Jurnal Neutrino* 3(2): 175-188.
- Lowrie, W. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. New York: Cambridge University Press
- Martínez, Moreno, F.J., Pedrera, A., Ruano, P., Galindo-Zaldívar, J., Martos-Rosillo, S., González-Castillo, L., Sánchez-Ubeda, J.P., & C. Marín-Lechado. 2013. Combined Microgravity, Electrical Resistivity Tomography and Induced Polarization to Detect Deeply Buried Caves: Algaidilla Cave (Southern Spain), *Engineering Geology* doi: 10.1016/j.enggeo.2013.05.008.
- Maulana, Y. C. 2011. Pengelolaan Berkelanjutan Kawasan Karst Citatah - Rajamandala. *REGION* III(2): 1-14.
- Pagán, P. M., D. Gómez-Ortiz, T. Martín-Crespo, J. I. Manteca, & M. Rosique. 2013. The Electrical Resistivity Tomography Method in The Detection of Shallow Mining Cavities. A Case Study on The Victoria Cave, Cartagena (SE Spain). *Engineering Geology* 156: 1-10
- Pánek, T., W. Margielewski, P. Tábořík, J. Urban, J. Hradecký, & C. Szura. 2010. Gravitationally Induced Caves and Other Discontinuities Detected by 2D Electrical Resistivity Tomography: Case Studies From The Polish Flysch Carpathians. *Geomorphology* 123: 165-180
- Paulus. 2012. *Pemodelan 3D Daerah "X" Dengan Menggunakan Metode Resistivity Konfigurasi Dipole-Dipole*. Skripsi. FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Qady, G. E., M. Hafez, M. A. Abdalla, & K. Ushijima. 2005. Imaging Subsurface Cavities Using Geoelectric Tomography and Ground-Penetrating Radar. *Journal of Cave and Karst Studies* 67(3): 174-181.
- Rauf, M. & W. Utama. 2009. Aplikasi Metode Geolistrik Untuk Menentukan Cadangan Fosfat: Studi Kasus Sukolilo, Pati Jawa Tengah. *Seminar Nasional Pascasarjana IX-ITS*. Surabaya.

Sukandarrumidi & F. W. Maulana. 2014. Ada Apa Dengan Wilayah Bentang Alam Karst. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains Dan Teknologi (SNAST)*. Yogyakarta. 15 November 2014.

Suwarti, T. & R. Wikarno. 1992. *Peta Geologi Lembar Kudus, Jawa Tengah*. Bandung :

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Telford, M. W., L. P. Geldard, R. E. Sheriff, & D. A. Keys. 1990. *Applied Geophysics 2nd ed.* New York: Cambridge University Press.