



PEMETAAN DISTRIBUSI ALIRAN SUNGAI BAWAH TANAH MENGUNAKAN METODE GEOFISIKA VLF (*VERY LOW FREQUENCY*) DAERAH KARST PRACIMANTORO KABUPATEN WONOGIRI

Dita Dewi Indriyani ✉, Supriyadi

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

Info Artikel

Diterima Agustus 2014
Disetujui September 2014
Dipublikasikan November 2014

Keywords:
karst; underground river; VLF

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai pemetaan aliran sungai bawah tanah di daerah karst Pracimantoro Kabupaten Wonogiri menggunakan metode VLF (*Very Low Frequency*). Tujuan penelitian ini adalah mengetahui struktur lapisan bawah permukaan dan memetakan pola aliran sungai bawah tanah di daerah Karst Pracimantoro dengan menggunakan metode VLF. Penelitian dilakukan menggunakan alat T-VLF, terdapat tiga lintasan dengan panjang lintasan 200 meter, jarak antara titik 2 meter. Data yang diperoleh berupa nilai RAE (Rapat Arus Ekuivalen) dari data tilt, ellips, H hor, H ver yang diolah pada *Ms.excel*. Pembuatan profil penampang bawah permukaan dibuat menggunakan *software surfer* dan *RockWorks*. Hasil interpretasi didapatkan struktur bawah permukaan antara ketiga lintasan dan mendapatkan pola aliran bawah tanah di daerah Karst Pracimantoro arah aliran menuju kearah Timur lintasan kedua dan selanjutnya lintasan kedua, arah alirannya menuju kearah Tenggara lintasan ketiga. Aliran air tersebut diduga yang nantinya akan dialirkan ke pantai selatan.

Abstract

A research on mapping underground river in Karst areas Pracimantoro Wonogiri using VLF (Very Low Frequency). The purpose of this research is to identify subsurface structure and mapping the flow pattern of underground river in Karst areas Pracimantoro using the VLF. A research using T-VLF, there are three trajectories with path length of 200 meters, the distance between a point 2 meters. Data obtained in the form of the value of the RAE (Rapat Arus Ekuivalen) of the data tilt, ellips, H hor, H ver processed on Ms.Excel. The data were processed using Surfer software and RockWorks as well as cross-sectional to profile of subsurface. Interpretation of the results obtained under the surface structure between the three trajectories and get an underground flow pattern in Karst regions Pracimantoro flow direction towards the East towards the second and subsequent trajectory of the second track, the direction of the flow is moving towards Southeast third track. The water flow is alleged that will be streamed to the south coast.

PENDAHULUAN

Menurut Kusumayudha, sebagaimana dikutip oleh Febria & Sismanto (2009), morfologi daerah karst Gunungsewu yang terletak di wilayah Wonogiri merupakan kawasan perbukitan batugamping (*limestone*) dengan bentangan alam berupa karst yang tandus dan kekurangan air permukaan. Karakteristik fisik formasi karst memberikan sistem drainase yang unik dan didominasi oleh aliran bawah permukaan (Suryatmojo 2006).

Karst merupakan suatu kawasan yang memiliki karakteristik relief dan drainase yang khas, terutama disebabkan oleh derajat pelarutan batu-batuannya yang intensif (Ford & William 1992).

Sistem drainase atau tata air kawasan karst sangat unik karena didominasi oleh drainase bawah permukaan, dimana air permukaan sebagian besar masuk ke jaringan sungai bawah tanah melalui inlet. Berdasarkan kondisi tersebut pada musim penghujan, air hujan yang jatuh ke daerah karst tidak dapat tertahan di permukaan tanah tetapi akan langsung masuk ke jaringan sungai bawah tanah melalui ponor atau luweng (Suryatmojo 2006).

Daerah Dusun Mudo1, Desa Gebangharjo, Kecamatan Pracimantoro menurut Karunia *et al.* (2012) merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki struktur geologi mayoritas karst. Pada kawasan karst terdapat permasalahan utama yakni kekeringan, terutama saat musim kemarau tiba. Sedangkan air merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan, hal ini dikarenakan seluruh makhluk hidup membutuhkan air untuk keberlangsungan hidupnya.

Maka penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui struktur lapisan bawah permukaan di daerah Karst Pracimantoro Kabupaten Wonogiri dan memetakan pola aliran sungai bawah tanah di daerah Karst Pracimantoro dengan menggunakan metode VLF (*Very Low Frequency*).

Metode VLF merupakan metode geofisika dekat permukaan dengan memanfaatkan target anomali geofisika yang bersifat konduktif (Santos 2006). Metode VLF-EM yang dikenal sebagai metode elektromagnetik VLF-EM bekerja dengan memanfaatkan pemancar radio dengan frekuensi sekitar 15-30 kHz (atau pada panjang gelombang 10-20 km) sebagai medan primer dan pemancar gelombang radio yang berdaya besar sekitar 100-1000 kW (Bayrak 1995).

Mekanisme kerja VLF-EM yang memanfaatkan pancaran gelombang radio dan pemancar VLF akan menginduksi sistem pelapisan bumi yang konduktif (Hiskiawan 2011). Pola radiasi induksi tersebut akan menimbulkan medan elektromagnetik sekunder yang memberikan gangguan medan magnetik alamiah bumi (Hiskiawan 2009).

Persamaan Maxwell merupakan bentuk dari perambatan gelombang elektromagnetik (Sismanto & Hartantyo 2005) yang berhubungan dengan vektor medan listrik dan medan magnet adalah:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1)$$

dan

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2)$$

dengan

J = rapat arus listrik (A/m²)

E = medan listrik (V/m)

B = induksi magnetik (Wb/m²)

D = pergeseran listrik (C/m²)

H = medan magnetik (A/m)

Apabila diasumsikan medan E dan H tersebut sebagai fungsi waktu eksponensial, maka akan diperoleh persamaan vektorial sebagai berikut (Febria & Sismanto 2009):

$$\nabla^2 \bar{E} = i\omega\mu\sigma\bar{E} - \omega^2\epsilon\mu\bar{E} \quad (3)$$

$$\nabla^2 \bar{H} = i\omega\mu\sigma\bar{H} - \omega^2\epsilon\mu\bar{H} \quad (4)$$

dengan

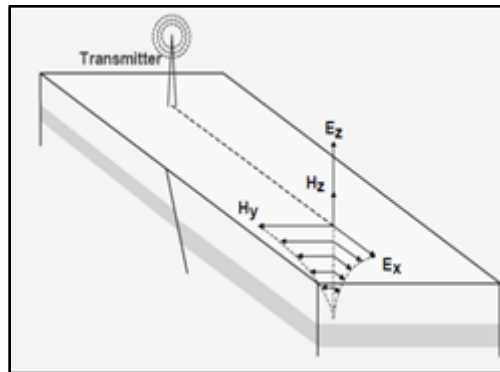
σ = konduktifitas listrik (mho/m)

μ = permeabilitas (H/m)

ϵ = permitivitas dielektrik (F/m)

Pada persamaan (3) dan (4) bagian kiri pada sisi kanan menunjukkan arus konduksi dan bagian kanannya menunjukkan sumbangan arus pergeseran.

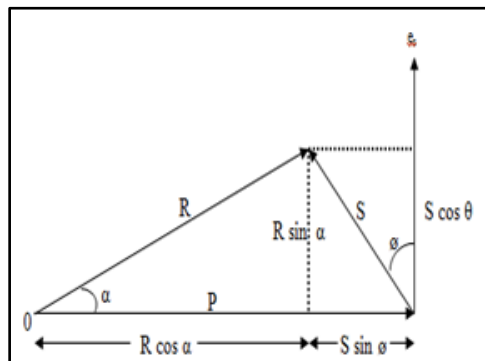
Medan elektromagnetik primer sebuah pemancar radio, memiliki komponen medan listrik vertikal E_z dan komponen medan magnetik horizontal H_y tegak lurus terhadap arah perambatan sumbu x. Pada jarak yang cukup jauh dari antenna pemancar, komponen medan elektromagnetik primer H_y dapat dianggap sebagai gelombang yang berjalan secara horizontal. Jika di bawah permukaan terdapat suatu medium yang konduktif, maka komponen medan magnetik dari gelombang elektromagnetik primer akan menginduksi medium tersebut sehingga akan menimbulkan arus induksi seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Gelombang Elektromagnetik untuk Metode VLF

Karakteristik gelombang elektromagnetik dalam metode VLF dapat dijelaskan pada saat gelombang primer masuk kedalam medium, gaya gerak listrik (ggl) induksi e_s akan muncul dengan frekuensi yang sama, tetapi fase tertinggal 90° (Kaikkonen 1979).

Gambar 2. menunjukkan diagram vektor antara medan primer P dan ggl induksinya. Kombinasi antara medan P dan medan S ($R \cos \alpha$) disebut komponen real (*in-phase*) dan komponen yang tegak lurus P ($R \sin \alpha$) disebut komponen imajiner (*out-of-phase*, komponen kuadratur).



Gambar 2. Hubungan Amplitudo dan Fase Gelombang Sekunder (S) dan Primer (P)

Jika medan magnet horizontal adalah H_x dan medan magnet vertikalnya adalah H_z , maka besar sudut tilt dapat ditunjukkan seperti Gambar 2., yang besarnya adalah :

$$\tan(2\theta) = \frac{2\left(\frac{H_z}{H_x}\right)\cos\phi}{1-\left(\frac{H_z}{H_x}\right)^2} \times 100\% \quad (5)$$

dan elipsitasnya diberikan sebagai :

$$\varepsilon = \frac{b}{a} = \frac{H_z H_x \sin\phi}{[H_z e^{i\phi} \sin\theta + H_x \cos\theta]^2} \times 100\% \quad (6)$$

Polarisasi ellips akibat kehadiran benda konduktif pada bidang medan elektromagnetik (Bahri *et al.* 2009).

METODE PENELITIAN

Pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan pengukuran secara langsung di daerah Karst Pracimantoro Kabupaten Wonogiri ditunjukkan pada Gambar 3. Penelitian dilaksanakan pada 17 dan 18 Agustus 2013 dan dilanjutkan dengan pengolahan data.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

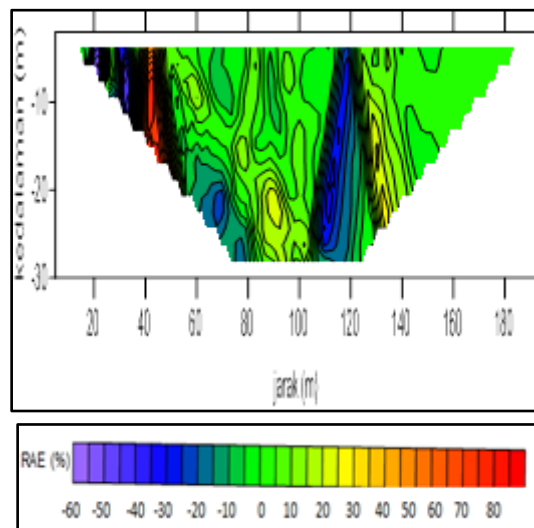
Untuk mengidentifikasi adanya dugaan aliran sungai bawah tanah pada daerah Karst Pracimantoro maka perlu mengetahui nilai konduktivitasnya. Adapun langkah - langkah pengukurannya adalah:

1. Operator memasukkan beberapa parameter (stasiun, spasi antar stasiun, nomor lintasan, frekuensi pemancar) melalui tombol [SET UP].
2. Setelah semuanya terisi, kemudian mulai pengukuran dengan menekan [START].
3. Apabila stacking beberapa pengukuran dianggap cukup, tekan [START] lagi untuk berhenti. (Tombol START seperti tombol saklar atau *toggle*).
4. Menghitung fraser derivatif dengan persamaan :
 Nilai fraser derivatif = $\frac{(a+b)-(c-d)}{n}$
 Dimana a, b, c dan d adalah nilai *tilt* pada titik pengukuran yang berurutan dan n adalah jumlah data yang digunakan dalam perhitungan.
5. Menghitung komponen real dan komponen imajiner (Karous & Hjelt, 1983) :
 Komponen Real (%) = $100.\tan\theta$
 Komponen Imajiner (%) = $100.\varepsilon$

Pengolahan data dilakukan dengan *software Surfer* dan *RockWorks*. Dari citra warna dan perbedaan konduktivitasnya, maka dapat dilakukan identifikasi aliran sungai bawah tanah.

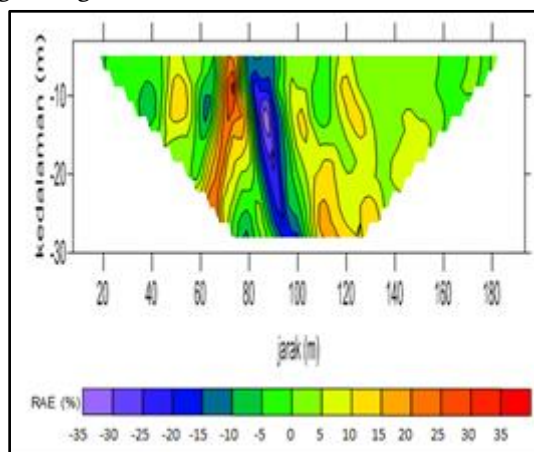
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada lintasan pertama, hasil data ditampilkan dalam bentuk pola pencitraan konduktivitas dalam komponen anomali medan magnetik yang ditampilkan dalam bentuk degradasi warna konduktivitas dari nilai -60 hingga + 80 dan ditunjukkan dari warna ungu menuju warna merah. Anomali rendah pada gambar ditandai warna ungu sampai biru. Anomali tersebut diinterpretasikan sebagai batugamping. Sedangkan anomali tinggi pada gambar ditandai warna kuning sampai merah dan diinterpretasikan sebagai air tanah (Gambar 4).



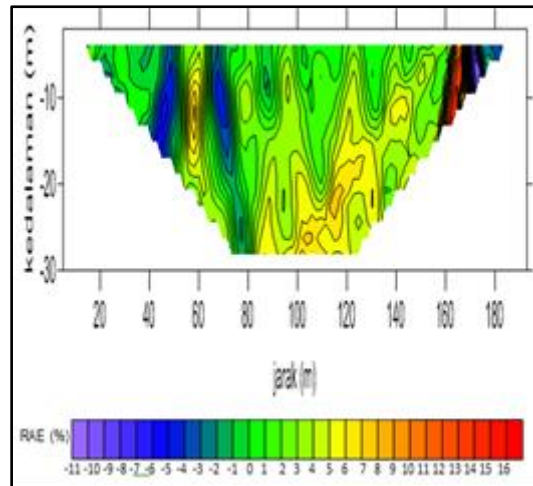
Gambar 4. Hasil Pengolahan Data Lintasan Pertama

Pada Gambar 5. didapatkan hasil bahwa anomali konduktif (dinyatakan dengan nilai positif) pada warna kuning dan merah. Sedangkan anomali resistif (nilai negatif) pada warna biru. Anomali rendah pada gambar ditandai warna biru. Anomali tersebut diinterpretasikan sebagai batugamping. Sedangkan anomali tinggi pada gambar ditandai warna kuning sampai merah dan diinterpretasikan sebagai air yang diduga sebagai sungai bawah tanah.



Gambar 5. Hasil Pengolahan Data Lintasan Kedua

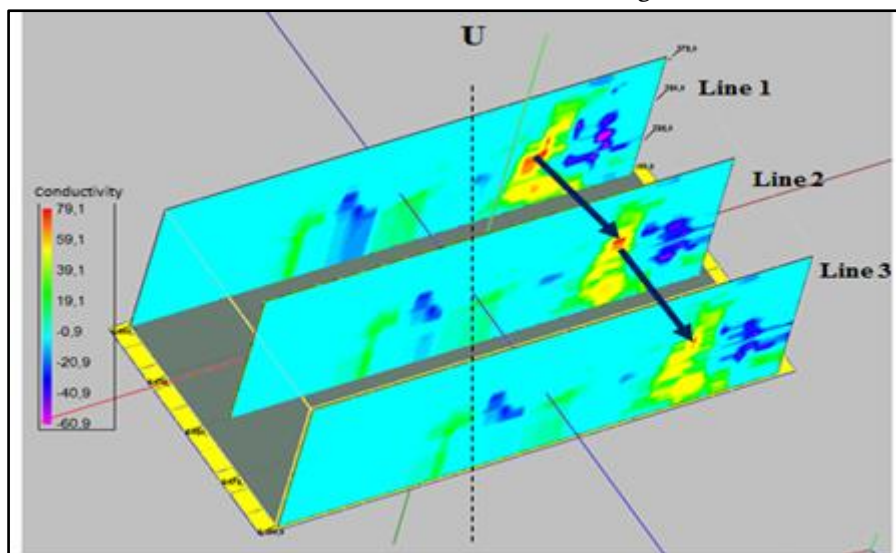
Hasil data ditampilkan dalam bentuk pola pencitraan konduktivitas dalam komponen anomali medan magnetik yang ditampilkan dalam bentuk degradasi warna konduktivitas dari nilai -11 hingga + 16 dan ditunjukkan dari warna ungu menuju warna merah. Anomali ketiga batuan tersebut berbentuk seperti lorong-lorong dan diduga berupa batuan dalam struktur sungai bawah tanah yang dapat mengalirkan air (Gambar 6).



Gambar 6. Hasil Pengolahan Data Lintasan Ketiga

Pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Surfer* didapatkan profil bawah permukaan serta lapisan-lapisan batuan penyusun pada setiap lintasan dan didapatkan pula nilai RAE (Rapat Arus Ekuivalen) yang ditunjukkan dengan skala warna. Skala warna kuning sampai merah (bernilai positif) menunjukkan nilai RAE tinggi yang berarti memiliki nilai konduktivitas tinggi pula. Skala warna hijau (bernilai nol) berarti nilai konduktivitasnya sama seperti batuan yang ada disekitarnya. Pada skala warna biru sampai hitam (bernilai negatif) menunjukkan nilai RAE tersebut rendah, maka nilai konduktivitasnya rendah pula. Indikasi adanya daerah yang konduktif dengan nilai rapat arus ekuivalen yang tinggi. Apabila nilai RAE tinggi maka nilai konduktivitas juga tinggi namun berkebalikan dengan nilai resistivitas. Hubungan antara nilai konduktivitas (σ) dan nilai resistivitas (ρ) berbanding terbalik, apabila nilai konduktivitas tinggi maka nilai resistivitas rendah, begitu pula sebaliknya.

Pada Gambar 7. merupakan hasil pengolahan data menggunakan software *RockWorks* pada setiap lintasan. Ketiga lintasan tersebut apabila dikorelasikan akan diperoleh hasil interpretasi distribusi aliran sungai bawah tanah. Pendugaan adanya sistem akifer sungai bawah tanah apabila dihubungkan dengan nilai konduktivitas yang didapatkan pada batuan karbonat dalam keadaan menampung air dalam jumlah yang cukup untuk dialirkan maka batuan karbonat tersebut akan mengalami kenaikan nilai konduktivitas.



Gambar 7. Penampang Hasil Pengolahan Software *RockWorks*

Pada Gua Sodong sendiri anomali batuan karbonat ditemukan pada kedalaman sekitar 10 meter. Aliran air tersebut bergerak melewati lorong-lorong dari lintasan pertama sampai lintasan ketiga dan air tersebut mengalir pada periode tertentu khususnya saat musim penghujan maka air yang mengalir akan

sangat berlimpah. Pada saat musim kemarau datang maka air hanya akan tertampung dalam volume yang sedikit dan tidak dapat dialirkan seperti saat penelitian ini dilakukan. Pola arah aliran sungai bawah tanah lintasan pertama kearah Timur menuju lintasan kedua. Sedangkan lintasan kedua arah alirannya kearah Tenggara menuju lintasan ketiga. Aliran air tersebut diduga yang nantinya akan dialirkan ke pantai selatan.

SIMPULAN

Struktur lapisan bawah permukaan di daerah Karst Pracimantoro Kabupaten Wonogiri terdiri atas batugamping, batugamping napalan-tufan, batugamping konglomerat, batupasir tufan, dan batulanau. Sedangkan pola aliran sungai bawah tanah di daerah Karst Pracimantoro dengan menggunakan metode VLF (*Very Low Frequency*) arah alirannya menuju kearah Timur lintasan kedua dan selanjutnya arah aliran lintasan kedua menuju kearah Tenggara lintasan ketiga. Aliran air tersebut diduga yang nantinya akan dialirkan ke pantai selatan.

Mengacu pada hasil penelitian dan pembahasan di atas untuk penelitian selanjutnya disarankan dilakukan dimusim penghujan agar hasil penelitian lebih jelas aliran sungai bawah tanahnya dan menambah banyak bentangan lintasan untuk memperoleh data yang lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahri, A.S., B. Jaya, & W. Sugeng. 2009. *Pemetaan Sungai Bawah Permukaan di Wilayah Karst Seropan Gunungkidul Menggunakan Metoda Geofisika VLF-EM-vGRAD*. Disertasi. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bayrak, M. 1995. Use of Electromagnetic VLF Method in Shallow Exploration in Turkey (in Turkish). *Jeofizik*, 9-10, 143-148.
- Febria, A. & Sismanto. 2009. Estimasi Aliran Sungai Bawah Tanah dengan Menggunakan Metode Geofisika VLF em, Mode Sudut Tilt di Daerah Dengok dan Ngrejok Wetan, Gunungkidul Yogyakarta. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY* : ISSN 0853-0823.
- Ford, D. & P. Williams. 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*. Chapman and Hall, London.
- Hiskiawan, P. 2009. High Resolution Deteksi Reaktif Patahan Dangkal dengan Metode Geofisika, VLF-EM. *Jurnal Ilmu Dasar* Vol. 10 No. 1. 2009 : 68 – 76.
- Hiskiawan, P. 2011. Akuisisi Data VLF-EM Menggunakan Teknik Konvensional dan Teknik Gradio. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia* Vol.11 (1) p.18-22.
- Kaikkonen, P. 1979. Numerical VLF Modelling. *Geophysical Prospecting* 27. 815-834.
- Karous, M. & S.E. Hjelt. 1983. Linear Filtering of VLF dip angle Measurement. *Geophysics Prospecting* V. 31:782-794.
- Karunia, D.N., Darsono, & Darmanto. 2012. Identifikasi Pola Aliran Sungai Bawah Tanah di Mudal, Pracimantoro dengan Metode Geolistrik. *Indonesian Journal of Applied Physics* Vol.2 No.2 halaman 91 : ISSN:2089 – 0133.
- Santos, F.A.M. 2006. *Instructions for Running PrepVLF and Inv2DVLF 2-D Inversion of VLF-EM Single Frequency*. Centro de Geofisica da Universidade de Lisboa, Portugal.
- Sismanto & E. Hartantyo. 2005. Distribution of Leachate Polution in The Final Disposal of Piyungan, Bantul, Yogyakarta, by Using The Electromagnetic Method. *Proceedings Joint Convention Surabaya*.
- Suryatmojo, H. 2006. Strategi Pengelolaan Ekosistem Karst di Kabupaten Gunung Kidul. *Seminar Nasional Strategi Rehabilitasi Kawasan Konservasi Di Daerah Padat Penduduk*. Fakultas Kehutanan UGM, 9 Februari.