PENDUGAAN KEBERADAAN ALIRAN SUNGAI BAWAH TANAH MENGGUNAKAN METODE GRADIO *VERY LOW FREQUENCY* (VLF) DI DAERAH GIRIJATI, PURWOSARI, GUNUNGKIDUL, YOGYAKARTA

Wahyu Hidayat, Suharsono

Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 Lingkar Utara Condongcatur, Depok, Sleman Yogyakarta 55283

INTISARI

Telah dilakukan penelitian pendugaan aliran sungai bawah tanah di daerah Girijati, Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta dengan menggunakan metode geofisika Gradio *Very Low Frequency* (*VLF*) Elektromagnetik (*Gradient VLF-EM*) untuk mengetahui respon VLF mode sudut tilt dan eliptisitas. Interpretasi dilakukan dari data VLF sudut tilt dan elliptisitas untuk mengestimasi aliran sungai bawah tanah yang diinterpretasi secara kualitatif dan kuantitatif. Akuisisi data dilakukan pada tanggal 9 – 15 Juli 2014. Pengolahan data menggunakan bahasa pemrograman Matlab. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan pengolahan data yang difilter dengan *moving average* melalui filter Karous-Hajelt dan filter Fraser sehingga memperlihatkan anomali benda konduktif bawah tanah. Nilai kerapatan arus ekivalen dari lintasan 1 hingga lintasan 5 berkisar dari 0-1200%. Zona konduktif mempunyai kerapatan arus ekivalen ≥ 600%. Dari peta penampang rapat arus ekivalen lintasan 1 sampai dengan 5 diduga sungai bawah tanah di daerah Girijati, Kecamatan Purwosari Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta mengalir dari Timur Laut ke Barat Daya, terdiri atas dua aliran sungai bawah tanah dan tidak saling berhubungan dengan kedalaman 10-70 meter.

Kata kunci: *Gradient VLF-EM*, respon VLF, zona konduktif.

ABSTRACT

An estimation study of riverbed in Girijati area, Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta has been performed by using the geophysical method Gradio Very Low Frequency (VLF) Electromagnetic (Gradient VLF-EM) to investigate the VLF response of tilt angle mode and elipticity. The interpretation is executed by the intrepreted data qualitatively and quantitatively. The data acquisition was performed on 9 – 15 July, 2014. The data processing uses Matlab programming. The qualitative interpretation is executed by data processing that is filtered by moving average through the Karous-Hajelt and Fraser filters so that show the underground conductive material anomaly. The densities of equivalent current of line 1 to line 5 range from 0% to 1200%. The conductive zone has densities of equivalent current ≥ 600%. The density cross-sections of equivalent current of line 1 to 5 are allegedly originate from a riverbed in Girijati area, Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta flowing from Northeast to South West and consisting of both flows of riverbed stream and not interconnected at depths of 10 – 70 meters.

Keywords: Gradient VLF-EM, VLF response, conductive zone.

I. PENDAHULUAN

Daerah Gunungsewu yang terhampar di sepanjang sisi Selatan pulau Jawa mulai dari Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta sampai dengan Kabupaten Pacitan Jawa Timur, terutama yang terletak di Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta, terkenal sebagai daerah yang sering mengalami kekeringan, terutama di musim kemarau. Penelitian yang pernah dilakukukan oleh MacDonald dan Partner pada tahun 1979 dan Zabier pada tahun 1983 (Kusumayudha, 2005) menunjukkan bahwa sekitar 40-60% curah hujan yang jatuh di Gunungsewu akan langsung

meresap ke dalam tanah. Tingginya peresapan air ke dalam tanah disebabkan oleh besarnya permeabilitas batuan sehingga air di daerah Gunungsewu lebih banyak berada di bawah permukaan dari pada di permukaan tanah. Air yang mengalir di bawah permukaan akan membentuk suatu pola aliran tertentu seperti sungai permukaan dengan melewati lorong-lorong gua yang dikenal sebagai aliran sungai bawah tanah. Permasalahan serupa terdapat Girijati Kecamatan Purwosari Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta. Berdasarkan informasi akan kemungkinan adanya keterdapatan sungai bawah permukaan, layak dilakukan suatu penelitian di daerah ini.

Salah satu metode geofisika yang efektif dan efisien dalam melakukan pemetaan potensi sungai bawah tanah di kawasan karst adalah dengan menggunakan metode elektromagnetik (EM). Parameter yang digunakan pada metode EM adalah konduktivitas listrik. Metode VLF-EM (*Very Low Frequency Electromagnetic*) merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk memetakan struktur bawah permukaan. Untuk itu ada beberapa teknik pengukuran, di antaranya teknik pengukuran komponen magnetik dan listrik secara horisontal dari medan VLF yang dikenal dengan VLF-R (Tabbagh dkk., 1991, Sharma dan Kaikkonen, 1998, Oskooi dan Pedersen, 2005). Turberg dkk. (1994) dan Stiefelhagen dan Müller (1997) memperkenalkan metode radiofrekuensi elektromagnetik (RF-EM) berdasarkan teknik pengukuran medan magnet. Bosh dan Müller (2001) memperkenalkan radiofrekuensi resistivitas (RF-R), yang juga dikenal dengan metode radio magnetotelluric (RMT), dengan mengukur medan listrik maupun medan magnet. Metode ini bekerja pada rentang frekuensi 12-300 kHz dan dapat dikembangkan lagi hingga multi-frekuensi. Metode VLF-R memiliki tingkat resolusi yang baik (Pedersen dkk., 2005, Oskooi dan Pedersen, 2005). Metode VLF-EM menggunakan sinyal radio pada lebar pita 10–30 kHz. Penggunaan VLF EM sendiri sudah banyak digunakan untuk memetakan kondisi bawah permukaan. Sismanto dkk. (2003) pernah melakukan uji coba di sekitar Gua Bribin, Gunung Kidul, dengan metode VLF dan dihasilkan respon yang jelas dan akuisisi data yang relatif lebih mudah walaupun medan cukup berat, sehingga metode elektromagnetik VLF-EM ini cukup menjanjikan untuk digunakan dalam pemetaan sungai bawah tanah seperti di daerah Girijati, Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta.

II. TINJAUAN PUSTAKA

a. Persamaan Maxwell

Medan elektromagnetik dapat dinyatakan dalam empat vektor medan, yaitu **E** adalah intensitas medan listrik, **H** adalah intensitas medan magnetisasi, **B** adalah induksi magnetik atau rapat fluks, dan **D** adalah pergeseran listrik. Keempat persamaan tersebut dikaitkan dalam empat persamaan Maxwell,

$$\begin{aligned} \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \\ \nabla \times \mathbf{H} &= i_c + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}, \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0, \\ \nabla \cdot \mathbf{D} &= \circ_c, \end{aligned} \tag{1}$$

dengan ρ_c adalah kerapatan muatan listrik dan i_c adalah arus konduksi.

Persamaan (1) dapat direduksi dengan menggunakan hubungan-hubungan tensor tambahan sehingga diperoleh persamaan yang hanya berkait dengan medan **E** dan **H** saja (Grant dan West, 1965). Apabila diasumsikan medan **E** dan **H** tersebut hanya sebagai fungsi waktu eksponensial, akan diperoleh persamaan vektor

$$\begin{aligned} \nabla^2 \mathbf{E} &= i\mu\ll\pm \mathbf{E} - £\ll\mu\ ^2\mathbf{E}, \\ \nabla^2 \mathbf{H} &= i\mu\ll\pm \mathbf{H} - £\ll\mu\ ^2\mathbf{E}, \end{aligned} \tag{2}$$

dengan £ permitivitas dielektrik, « permeabilitas magnetik, dan ± kondukivitas listrik. Suku pertama pada ruas kanan persamaan (2) menunjukkan arus konduksi, sedangkan suku kedua menunjukkan sumbangan arus pergeserannya. Di dalam VLF (pada frekuensi < 100 KHz), arus pergeseran akan lebih kecil daripada arus konduksi karena permitivitas dielektrik batuan rata-rata cukup kecil (sekitar $10£_0$ dengan $£_0$ sebesar 9×10^{-12}

F/m) dan konduktivitas target VLF biasanya ≥ 10^{-2} S/m. Hal ini menunjukkan bahwa efek medan akibat arus konduksi memegang peranan penting ketika terjadi perubahan konduktivitas medium (Sharma, 1997).

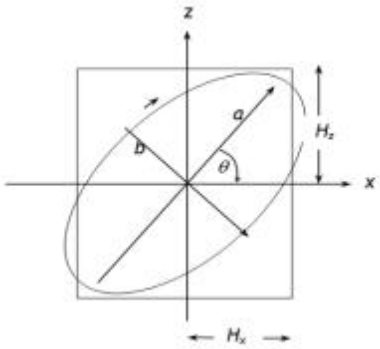
b. Pelemahan (Atenuasi) Medan

Sesuai dengan persamaan (2), gelombang bidang yang merambat ke bawah pada sebuah medium dengan konduktivitas ±, dimana medan **E** berosilasi pada sumbu *x* dan medan **H** pada sumbu *y* akan memberikan solusi (Santos dkk., 2006):

$$\mathbf{E}_x = \mathbf{E}_0 e^{-ikz} = \mathbf{E}_0 e^{-i}(\quad + i\sim)z, \tag{3}$$

dengan *k* adalah angka gelombang (k^2 = - *i*μ«(±+*i*μ£)). Parameter real menunjukkan faktor fase (rad/m) dan parameter imaginer ~ menunjukkan faktor atenuasi/pelemahan (db/m) gelombang. Mengingat nilai konduktivitas dibagi dengan permitivitas listrik dan frekuensi angulernya sangat lebih besar daripada satu untuk medium batuan, maka faktor fase dan faktor atenuasi bernilai sama (Kaikkonen, 1979). Kedalaman pada saat amplitudo menjadi 1/*e* (sekitar 37%) dari amplitudo permukaan dikenal sebagai kedalaman kulit (*skin depth*). Kedalaman kulit di dalam metode EM sering ditengarai sebagai kedalaman penetrasi gelombang, yaitu

$$¢ = 1/\sim = \sqrt{\left(\frac{2}{«_0 ± μ}\right)} \approx 504\sqrt{(° / f)}. \tag{4}$$



Gambar 1. Parameter polarisasi elips.

Dalam pengukurannya, alat T-VLF akan menghitung parameter sudut tilt dan eliptisitas dari pengukuran komponen in-phase dan out-of phase medan magnet vertikal terhadap komponen horisontalnya. Besarnya sudut tilt (%) akan sama dengan perbandingan H_z/H_x dari komponen in-phase-nya, sedangkan besarnya eliptisitas £ (%) sama dengan perbandingan komponen kuadraturnya.

Jika medan magnet horisontal adalah H_x dan medan vertikalnya sebesar $H_x e^{i¤}$ (Gambar 1), maka besar sudut tilt diberikan oleh

$$\tan(2¯) = \frac{2\left(\frac{H_z}{H_x}\right)\cos ¤}{1-\left(\frac{H_z}{H_x}\right)^2}, \tag{6}$$

dan eliptisitasnya diberikan oleh

$$£ = \frac{b}{a} = \frac{H_z H_x \sin ¤}{\left[H_z e^{i¤} \sin ¯ + H_x \cos ¯\right]^2}. \tag{7}$$

c. Rapat arus ekivalen

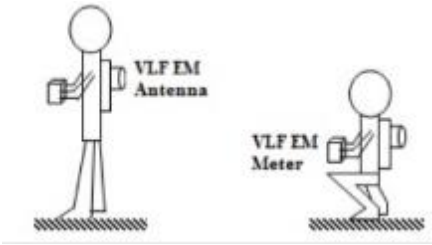
Rapat arus ekivalen adalah arus yang menginduksi konduktor dan arus yang terkonsentrasi dalam konduktor dari daerah disekelilingnya yang kurang konduktif. Asumsi untuk menentukan rapat arus ekivalen adalah menentukan rapat arus yang menghasilkan medan magnetik yang identik dengan medan magnetik yang diukur. Melalui persamaan Biot-Savart dapat diketahui pengaruh rapat arus sebagai fungsi jarak horizontal dan vertikal terhadap komponen medan magnet vertikal H_z yang diberikan oleh persamaan (Sasaki, 2001)

$$H_z(x) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} d\varepsilon \int_{-\infty}^{\infty} I(\varepsilon,\varepsilon)(x-\varepsilon)\frac{d\varepsilon}{[(x-\varepsilon)^2+\varepsilon^2]} . \quad (8)$$

III. METODE PENELITIAN

a. Akusisi Data Gradio VLF-EM

Teknik pengukuran data dilakukan dengan teknik Gradio VLF-EM Teknik Gradio VLF-EM memanfaatkan perbedaan ketinggian dari konsol VLF-EM (VLF-EM Meter dan VLF-EM Antenna) terhadap permukaan bumi disetiap titik pengukuran seperti diperlihatkan pada Gambar 2 (Hiskiawan, 2011).



Gambar 2. Teknik Gradio VLF-EM.

Pengukuran geofisika dalam metode VLF-EM dengan menggunakan teknik akuisisi data gradio memiliki karakteristik pencitraan yang lebih baik dan lebih kompleks untuk penggambaran citra bawah permukaan dalam hal ketajaman warna kontur dan kejelasan titik-titik posisi dugaan *land subsidence* (Hiskiawan, 2011). Tabel I menyajikan parameter-parameter akuisisi survei VLF.

Tabel I. Parameter akuisisi survei VLF.

Parameter	Nilai parameter
Jumlah lintasan	5 lintasan
Panjang Lintasan	1 Km
Spasi titik pengukuran	10 meter
Jumlah titik pengukuran tiap lintasan	100 titik
Frekuensi pengukuran	19800 Hz
Data terukur	Tilt, Elliptisitas

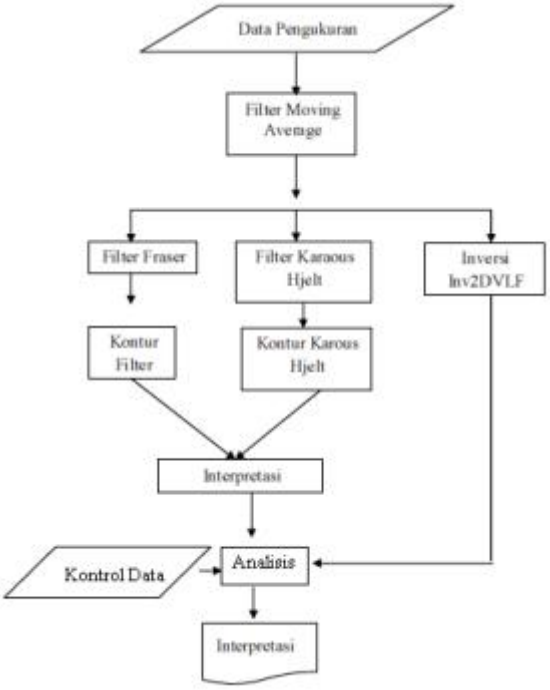
b. Pengolahan dan Interpretasi Data

Data dari hasil akuisisi kemudian diolah, dan nilai gradio VLF dihitung pada tiap titik data disetiap lintasannya. Kemudian dilakukan proses filtering *moving average* melalui filter Karous-Hajelt dan filter Fraser hingga diperoleh peta penampang rapat arus ekivalen. Penampang rapat arus ekivalen menentukan zona konduktif bawah permukaan. Tahapan pengolahan dan interpretasi data ditunjukkan pada diagram alir Gambar 3.

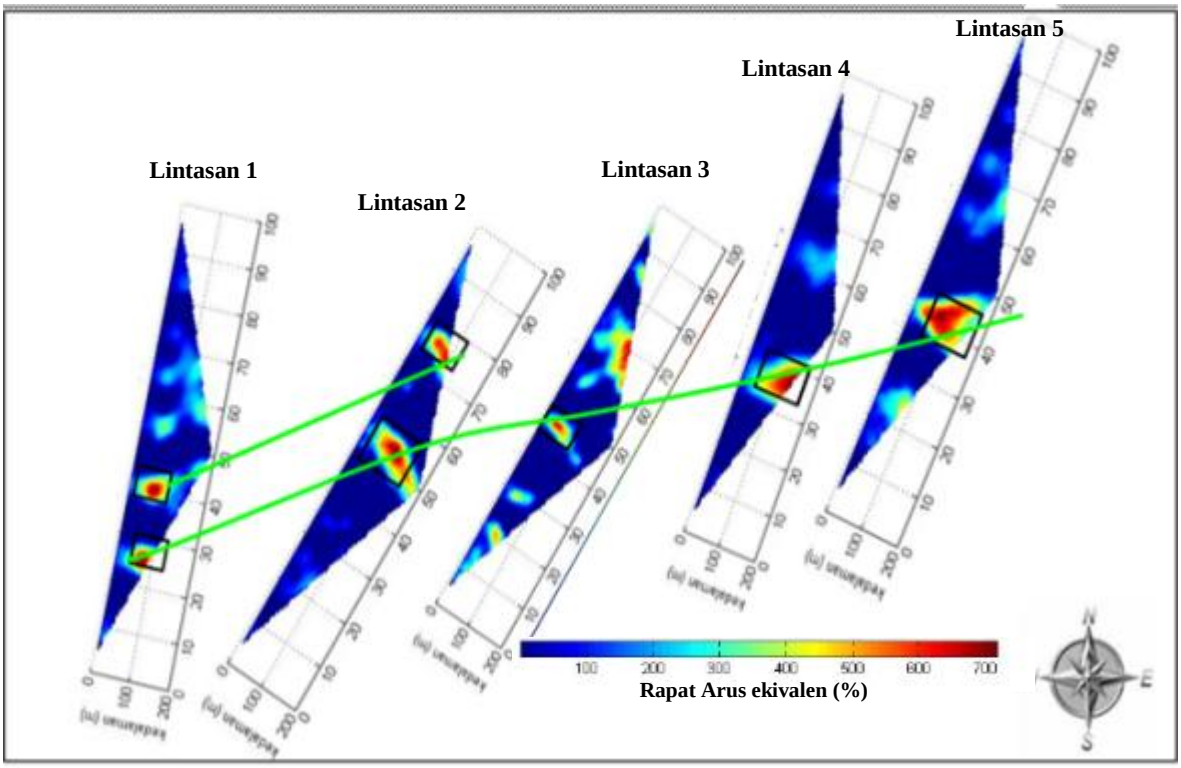
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data yang diperoleh disajikan pada Gambar 4. Nilai kerapatan arus ekivalen dari lintasan 1 hingga lintasan 5 berkisar dari 0-1200%. Zona konduktif (kotak hitam) menunjukkan kerapatan arus ekivalen ≥ 600%. Pada lintasan 1 diperkirakan terdapat dua daerah konduktif dengan aliran sungai bawah tanah yang ditandai dengan nilai kerapatan arus ekivalen sebesar ≥ 600%,

sedangkan titik pengukuran yang memiliki nilai kerapatan arus ekivalen yang kecil diduga sebagai kantong air lokal yang terjebak dalan batu gamping yang berongga. Pada lintasan 2 terdapat dua daerah konduktif dengan nilai kerapatan arus ekivalen arus ekivalen sebesar ≥ 600%. Pada lapisan 2 ini terdapat singkapan mulut gua di permukaan. Pada lintasan 3 terdapat beberapa daerah konduktif dan diperkirakan bahwa daerah yang memiliki aliran sungai bawah tanah hanya terdapat pada 2 titik stasiun pengukuran saja. Pada lintasan 4 terdapat satu daerah konduktif dengan nilai kerapatan arus ekivalen yang besar, dan pada lintasan 5 juga terdapat satu daerah konduktif dengan kerapatan arus yang besar.



Gambar 3. Diagram alir penelitian.



Gambar 4. Profil estimasi pola aliran sungai bawah tanah dengan kerapatan arus ekivalen antar lintasan.

Interpretasi dilakukan dengan pengolahan data yang difilter dengan *moving average* melalui filter Karous-Hajelt dan filter Fraser sehingga memperlihatkan anomali benda konduktif bawah tanah (Fraser, 1969, Karous dan Hjelt, 1983). Kelima lintasan tersebut kemudian dikorelasi satu lintasan dengan lintasan yang lainnya berdasarkan rapat arus ekivalennya. Profil estimasi pada Gambar 4 dengan kerapatan arus ekivalen memperlihatkan pola penyebaran aliran sungai bawah tanah yang terdiri atas dua buah aliran sungai yang tidak saling berhubungan. Aliran sungai pertama berada pada Utara daerah penelitian lintasan 1 dan 2, namun tidak dijumpai pada lintasan 3; hal ini dikarenakan keterbatasan interpolasi pada saat pengolahan data oleh karena itu peneliti menganjurkan untuk melakukan akuisisi disebalah Utara lintasan 3 untuk dapat menegtahui adanya pola aliran ataukah hanya berhenti pada lintasan 2 saja? Untuk pola aliran kedua berada relatif di sebelah Selatan daerah penelitian yang menunjukkan adanya pola aliran sungai bawah tanah dari lintasan 1 hingga lintasan 5. Dari hasil penelitian diduga sungai bawah tanah di daerah Girijati, Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta mengalir dari Timur Laut ke Barat Daya, terdiri atas dua aliran sungai bawah tanah dan tidak saling berhubungan dengan kedalaman berkisar 10-70 meter. Tentang kemungkinan aliran sungai bawah ini menerus hingga ke Sendang Beji ke arah pantai Parangtritis, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan melalui proses pengolahan dan interpretasi data VLF di daerah Girijati, Kecamatan Purwosari Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta, dapat diambil kesimpulan bahwa secara kualitatif sungai bawah tanah di Girijati, Kecamatan Purwosari Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta diduga terdiri atas dua sungai bawah tanah dengan melihat profil gambaran bawah permukaan yang dihasilkan. Selain itu, secara kuantitatif sungai bawah tanah diduga mengalir dari arah Timur Laut menuju Barat Daya dan kedalaman sungai bawah tanah berkisar 10-70 meter.

Selanjutnya perlu dilakukan penelitian lanjutan ke arah Utara untuk mengetahui kemenerusan pola aliran sungai bawah tanah pada sungai yang pertama.

DAFTAR PUSTAKA

Bosh, F.P., dan Müller, I., 2001,"Continuous gradient VLF measurements: a new possibility for high resolution mapping of karst structures", *Technical Articles*, **19**, 345–350.

Fraser, D.C., 1969, "Contouring of VLF-EM data", *Geophysics*, **34**, 958–967.

Grant, F. S dan West, G. F., 1965, "Interpretation theory in applied geophysics", New York: McGaw-Hill.

Hiskiawan, P., 2011, "Akuisisi data VLF-EM menggunakan teknik konvensional dan teknik gradio," *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, **11** (1), 18-22.

Karous, M., dan Hjelt, S.E., 1983, "Linear filtering of VLF dip-angle measurements," *Geophysical Prospecting*, **31**, 782–794.

Kusumayudha S.B. 2005, "Hidrogeologi karst dan geometri fraktal di daerah Gunungsewu," Yogyakarta: Adicita.

Oskooi, B., dan Pedersen, L.B., 2005, "Comparison between VLF and RMT methods. A combined tool for mapping conductivity changes in the sedimentary cover", *Journal of Applied Geophysics*, **57**, 227–241.

Pedersen, L.B., Bastani, M., dan Dynesius, L., 2005, "Ground water exploration using combined controlled source and RadioMagnetoTelluric techniques", *Geophysics*, **70**, G8–G15.

Sasaki, Y., 2001, "Full 3-D inversion of electromagnetic data on PC", *Journal of Applied Geophysics*, **46**, 45–54.

Santos, F.A.M., Mateus, A., Figueiras, J., dan Goncalves, M.A, 2006, "Mapping groundwater contamination around a landfill facility using the VLF-EM method — a case study," *Journal of Applied Geophysics*, **60**, 115–125.

Sismanto, Eddy, H., Sudarmadji, M., Nukman, dan Suryanto, W., 2003, "Tanggapan gelombang elektromagnetik frekuensi rendah (vlf) dari sungai bawah tanah: sebuah uji coba metoda VLF di sekitar Goa Bribin, Gunungkidul, Yogyakarta," Jurnal Fisika Indonesia, **VII**(2), 31-42.

Sharma, P.V., 1997, "Environmental and enggineering geophysics," Cambridge University Press.

Sharma, S.P., dan Kaikkonen, P., 1998, "Two-dimensional non-linear inversion of VLF-R data using simulated annealing," *Geophysical Journal International*, **133**, 649–668.

Stiefelhagen, W., dan Müller, I., 1997, "Radio Frequency Electromagnetics (RF-EM) - extended VLF applied to hydrogeology", *59th EAGE Conference & Technical Exhibition*, Geneva, Switzerland, May 26–30, p. F-46.

Tabbagh, A., Benderitter, Y., Andrieux, P., Decriaud, J.P., dan Guerin, R., 1991"VLF resistivity mapping and verticalisation of the electric field," *Geophysical Prospecting*, **39**, 1083–1097.

Turberg, P., Müller, I., dan Flury, F., 1994, "Hydrological investigation of porous environments by RadioMagnetoTelluric-resistivity, " *Journal of Applied Geophysics*, **31**, 133–143.