

## Akuisisi Data VLF-EM Menggunakan Teknik Konvensional dan Teknik Gradio

Puguh Hiskiawan

*Jurusan Fisika-Geofisika FMIPA Universitas Jember  
Jalan Kalimantan No. 37 Kampus Tegalboto Jember 68121  
Email : phiskiawan@gmail.com*

### Abstrak

Metode Very Low Frekuensi-Electromagnetic (VLF-EM) merupakan salah satu metode geofisika untuk menyelidiki struktur batuan bawah permukaan bumi. Penelitian ini merupakan studi eksperimental yang memanfaatkan teknik konvensional dan teknik gradio sebagai proses akuisisi. Kemudian, dari kedua teknik akan diperbandingkan berdasarkan respon gelombang elektromagnetik pada konduktifitas citranya. Metodologi penelitian yang telah dilakukan pada berbagai kajian lintasan dari karakteristik penampakan geologi baik dari atas permukaan maupun dari bawah permukaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik gradio telah memberikan respon gelombang elektromagnetik pada konduktifitas citra kontur yang lebih jelas dan akurasi tinggi daripada teknik konvensional. Akan tetapi, teknik tersebut membutuhkan waktu yang lama dalam proses akuisisi daripada teknik sebelumnya.

**Kata Kunci:** VLF-EM, Teknik Gradio, respon gelombang elektromagnetik, Pencitraan konduktifitas.

### Abstract

*Very Low Frequency-Electromagnetic (VLF-EM) method is one of the geophysics methods for figuring out the rock structure below earth surface. This research was an experimental study which made use to the conventional and gradient techniques as acquisition process; furthermore, the both compared with based on electromagnetic wave responses to their image conductivity. Research methodology had done on the path varieties of the geology characteristics that put in appearances either from over surfaces or from beneath surfaces. The result showed that the gradient technique gave already the electromagnetic wave responses to contouring of the image conductivity more sharp and higher accurate than the counterpart technique. However, this former technique took much time for acquisition process rather than another technique.*

**Keywords:** VLF-EM, Gradient Technique, electromagnetic wave response, image conductivity.

## 1. PENDAHULUAN

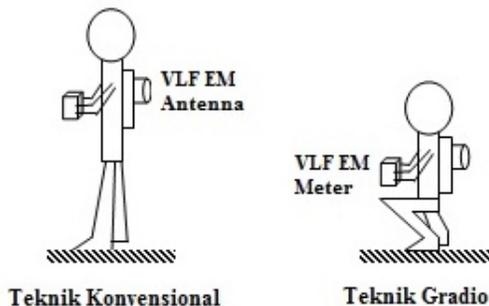
Pengukuran geofisika untuk pendugaan bawah permukaan sangat bervariasi metode pengukurannya, metode pengukuran geofisika didasarkan pada sifat kelistrikan bumi, sifat kemagnetan bumi, getaran bumi dan gelombang elektromagnetik. Salah satu metode pengukuran geofisika adalah dengan menggunakan metode VLF-EM (*Very Low Frequency-Electromagnetics*), yang merupakan metode geofisika dekat permukaan dengan memanfaatkan target anomali geofisika yang bersifat konduktif, misalnya lapisan batuan beku, patahan pada suatu sistem pelapisan bumi (Fernando, 2006). Metode VLF-EM yang dikenal sebagai metode Elektromagnetik VLF-EM bekerja dengan memanfaatkan pemancar radio dengan frekuensi sekitar 5 - 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). Penggunaan variable besaran frekuensi dan daya pada pemancar gelombang radio tersebut sering dipakai dalam eksplorasi geofisika. Oleh karena itu, mekanisme kerja VLF-EM yang memanfaatkan pancaran gelombang radio dan akan pemancar VLF akan menginduksi sistem pelapisan bumi yang konduktif. Pada Penelitian ini, pemancar VLF EM menggunakan pemancar radio yang terdekat dengan Indonesia yang berada di Stasiun Northwest Cape, Australia.

Metode geofisika ini mendayagunakan gelombang elektromagnetik berupa dipol listrik vertikal dengan arus listrik yang mengalir dari dan ke kutub-kutub pemancar dan penerima, maka terbentuklah medan magnet yang melingkari sumbu dipol dan medan listrik dipol yang menyelubungi garis medan magnet. Pola radiasi induksi

tersebut akan menimbulkan medan elektromagnetik sekunder yang mengakibatkan gangguan medan magnetik alamiah bumi. Kedalaman jangkauan dari penetrasi radiasi gelombang ini dinyatakan dengan faktor *skin depth* (yang ditentukan oleh kondisi lingkungan di sekitar lokasi pengukuran) (Frank, 2001). Pola kedalaman konduktifitas bergantung pada penetrasi gelombang elektromagnetik yang semakin rendah pada lingkungan sehingga semakin konduktif (Hiskiawan, 2008). Menurut Sharma (1997) dinyatakan bahwa metode ini sangat efektif untuk memisahkan anomali massa yang memiliki perbedaan konduktivitas yang signifikan terhadap lingkungan sekitarnya, atau pada kondisi *overburden mass* (lapisan penutup) yang relatif dangkal.

Pengakuisian data penelitian menggunakan teknik-teknik pengukuran data pada metode geofisika VLF-EM, yaitu teknik pengukuran data dengan teknik Konvensional (Conventional VLF-EM technique) yang merupakan teknik akuisisi data yang sangat umum digunakan dalam setiap pengambilan data observasi lapangan dan teknik Gradio VLF-EM (*Gradient VLF-EM technique*) yang merupakan teknik akuisisi data yang belum banyak digunakan pada observasi lapangan. Perbedaan kedua teknik ini didasarkan pada proses akuisisi data pelapisan bumi yang memanfaatkan perbedaan ketinggian (*a different altitude*) dari konsol VLF-EM (VLF-EM Meter dan VLF-EM Antenna) terhadap permukaan bumi disetiap titik pengukuran seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



**GAMBAR 1.** Akuisisi Data dengan Teknik Konvensional dan Teknik Gradio.

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati perbedaan kedua teknik akuisisi data berdasarkan hasil pola respon gelombang elektromagnetik dengan hasil citra konduktifitas dan berdasarkan pada lamanya proses akuisisi data. Lintasan penelitian dilaksanakan di sekitar lokasi semburan lumpur, tepatnya di desa Renokenongo, Sidoarjo, dan dilakukan pada saat proses terjadinya perubahan geologi muka permukaan. Oleh karena itu, Lintasan-lintasan ditentukan berdasarkan pada perbedaan penampakan geologi

permukaan menggunakan pengamatan secara langsung (*direct monitoring*) fenomena penurunan tanah yang terlihat jelas dan nyata di atas permukaan tanah serta pengamatan yang dilakukan secara tidak langsung (*no direct monitoring*) dimana fenomena proses penurunan muka tanah dilakukan secara pendugaan atau hipotesa yang akan terjadi dibawah permukaan pada areal lintasan.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahapan-tahapan yang saling berasosiasi. Konsol pengukuran menggunakan VLF-EM meter buatan Envi Srintex dan didukung dengan *Global Positioning System* (GPS) 76CSX sebagai penanda titik-titik data dan validasi lokasi serta *Stop Watch* yang berguna untuk mengukur waktu lamanya respon akuisisi data pada kedua teknik pengambilan data. Disamping itu, Peta Rupa Bumi kawasan Porong dengan pembesaran 1 : 25.000 sebagai dasar penentuan lokasi dan verifikasi lokasi penelitian. Tahapan awal adalah melakukan survey awal pada daerah yang memiliki karakteristik yang dapat memberikan informasi kompleks, yaitu secara pengamatan langsung (*direct monitoring*) dan pengamatan tidak langsung (*no direct monitoring*). Survei awal menggunakan data sekunder dan data primer. Data sekunder diperoleh dari hasil-hasil wawancara dengan pihak-pihak terkait sedangkan data primer diperoleh dari hasil pengamatan geologi atas permukaan berdasarkan pola pengamatan diatas. Hasil survey awal kemudian ditindaklanjuti dengan proses analisa masalah dan pemecahan masalahnya diperoleh berbagai alternatif penelitian yang akan ditempuh. Tahapan berikutnya adalah melakukan akuisisi data dengan bergantung pada parameter struktur fisika terhadap pelapisan tanah-batuan di bawah permukaan bumi menggunakan alat ukur geofisika dengan konsol VLF-EM meter, pengukuran pelapisan batuan disesuaikan dengan tujuan penelitian dan didasarkan pada hasil survei awal. Kemudian, tahapan selanjutnya setelah proses akuisisi data adalah tahapan analisa dan interpretasi hasil pengukuran akuisisi data yang berguna untuk memperoleh keterpaduan hasil respon gelombang elektromagnetik berdasarkan citra konduktifitas dan rata-rata waktu proses akuisisi.

Lokasi penelitian terletak pada wilayah desa Renokenongo dan sekitarnya (Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur). Yang terletak pada  $7^{\circ}31'10''\text{S} - 7^{\circ}34'50''\text{S}$  Lintang Selatan (Latitude) dan  $112^{\circ}43'03''\text{E} - 112^{\circ}43'28''\text{E}$  Bujur Timur (Longitude). Pemilihan lokasi penelitian, didasarkan pada kondisi permukaan bumi yang telah mengalami perubahan permukaan muka tanah yang sangat dinamis. Penelitian ini dilakukan

dengan desain lintasan yang berupa kajian lintasan terdiri atas tiga lintasan pada desa Renokenongo, yaitu Jalan raya Renokenongo (Lintasan I), Gang desa Renokenongo (Lintasan II) dan di desa Wangkal (sebelah desa Renokenongo) sebagai Lintasan ke 3.

Lintasan I ini terletak pada  $7^{\circ}31'50''S$  dan  $112^{\circ}43'03''E$  hingga  $7^{\circ}31'54''S$  dan  $112^{\circ}43'20''E$  di Jalan raya Renokenongo, sedangkan lintasan II ini terletak pada  $7^{\circ}31'44''S$  dan  $112^{\circ}43'12''E$  hingga  $7^{\circ}31'50''S$  dan  $112^{\circ}43'26''E$  di Gang desa Renokenongo serta lintasan III berada pada  $7^{\circ}31'10''S$  dan  $112^{\circ}43'05''E$  hingga  $7^{\circ}31'16''S$  dan  $112^{\circ}43'28''E$  di di desa Wangkal (sebelah desa Renokenongo).

### 2.1. Akuisisi Data

Akuisisi data dalam kajian experimental pengukuran geofisika ini didesain dalam lintasan dengan masing-masing lintasan memiliki bentangan pengukuran sepanjang 400 m dan interval bentangan sepanjang 10 m, sehingga diperoleh sebanyak 41 titik data. Teknik akuisisi data setiap lintasan dilakukan dengan teknik pengambilan data atau akuisisi data seperti pada gambar 1, baik secara teknik konvensional (berdiri) kemudian disusun dengan teknik gradio (duduk) dan demikian seterusnya hingga sepanjang bentangan pengukuran. Pada setiap proses akuisisi data sepanjang lintasan dihitung lamanya waktu respon akuisisi data dengan menggunakan *stopwatch*.

### 2.2. Intepretasi Data

Data observasi meliputi data elektromagnetik yang didapatkan dalam pengukuran dan data waktu proses akuisisi. Data pengukuran respon gelombang elektromagnetik merupakan superposisi antara sinyal yang berasal dari anomali dan gangguan (*noise*) dari struktur lokal yang tidak diharapkan. Respon data pengukuran meliputi medan magnetik sekunder horisontal dan vertikal, "In-phase Wave" dan "Quadrature" serta medan total atau medan magnetik primer, "Tilt Angle wave". Data pengukuran waktu proses akuisisi data adalah dalam *minute* yang akan di rata-ratakan dalam setiap lintasan pengukuran.

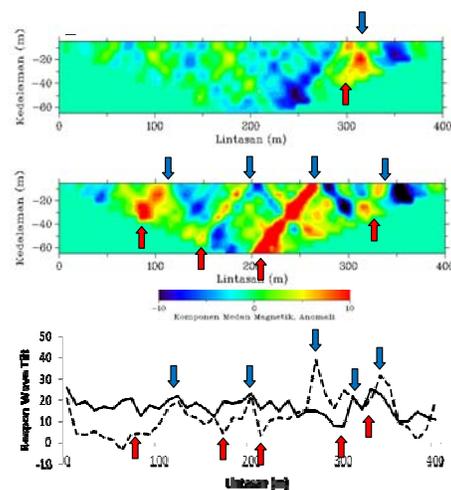
Hasil data pengukuran respon gelombang elektromagnetik pada masing-masing teknik pengukuran diinterpretasikan berdasarkan kesamaan parameter fisisnya, dan berdasarkan pola medan magnetik primer maupun sekunder yang didapatkan. Penggambaran data pengukuran dalam zona kontur konduktivitas ditunjukkan pada pola medan magnetik total yaitu, respon "Tilt Angle Wave". Pencitraan zona kontur konduktivitas berdasarkan proses filtering yang mengacu pada perhitungan inversi pola pengukuran VLF-EM *smoothing average* (Korous Hjelt, 1983).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses data dari akuisisi pada seluruh kajian lintasan akan dikemukakan dalam bentuk grafik respon gelombang elektromagnetik terhadap pelapisan bawah permukaan bumi, Dalam tiap grafik dibentuk dengan menggunakan data pada pengukuran dengan teknik konvensional dan teknik gradio. Proses data yang akan dikemukakan sebagai bagian dari pembahasan adalah data pengukuran terambil dari data lapangan, diantaranya : respon "in-phase", respon "Quadrature", dan respon "wave tilt". Kemudian pada kedua teknik pengukuran akan dikemukakan hasil zona kontur konduktivitas pada gelombang medan total tilt, dari hasil filtering Fraser (Fraser, 1969).

Hasil data ditampilkan dalam bentuk pola pencitraan konduktivitas dalam komponen anomali medan magnetik yang ditampilkan dalam bentuk degradasi warna konduktivitas dari nilai -10 hingga + 10, dan ditunjukkan dari warna hitam menuju warna merah (lihat Gambar 2 hingga Gambar 4). Pola pencitraan konduktivitas bagian atas mewakili pola pencitraan konduktivitas untuk pengukuran dengan teknik konvensional dan pada bagian bawah merupakan pola pencitraan konduktivitas dengan teknik gradio. Selanjutnya, diasosiasikan dengan grafik respon gelombang elektromagnetik *Tilt Angle Wave* pada masing-masing lintasan dengan signal grafik untuk teknik konvensional diwakili dengan garis penuh ( ——— ) dan teknik gradio diwakili dengan garis putus-putus (.....).

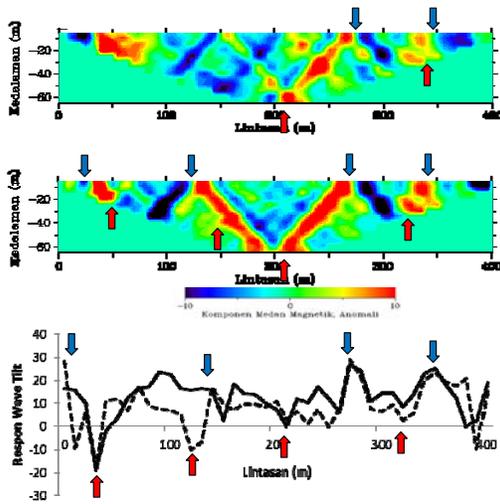
Lintasan I :



**GAMBAR 2.** Perbedaan kuantitas dan kualitas dugaan anomali *land subsidence* lintasan I untuk pengukuran dengan teknik Konvensional dan teknik Gradio

Berdasarkan hasil data, selanjutnya dilakukan penginterpretasian dan analisa data. Hasil interpretasi dan analisa data pola citra konduktifitas menggambarkan nilai rapat arus magnetik relatif terhadap rata-rata dengan konduktifitas tanah atau batuan sekitar. Hijau menunjukkan nilai 0 (sebagai nilai tengah/*center point*) memberikan informasi sebagai batuan dominan daerah tersebut, degradasi warna cerah menunjukkan nilai yang bertambah positif (*positive*) atau menuju kearah merah menunjukkan informasi bahwa konduktifitasnya semakin besar, dan sebaliknya bila menuju kearah warna degradasi gelap atau hitam (*negative/negative*) maka informasinya adalah konduktifitas batuan sekitarnya adalah mempunyai konduktifitas bernilai kecil.

Lintasan II :

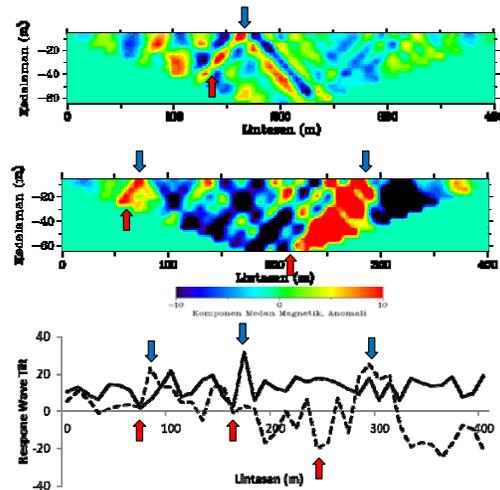


GAMBAR 3. Perbedaan kuantitas dan kualitas dugaan anomali land subsidence lintasan II untuk pengukuran dengan teknik Konvensional dan teknik Gradio.

Adanya warna yang berpasangan antara konduktifitas positif dan konduktifitas negatif memberikan informasi bahwa telah terjadi penurunan muka tanah (*land subsidence*) pada posisi lintasan baik pada teknik pengukuran konvensional maupun teknik pengukuran gradio, yang ditandai dengan anak panah berwarna biru ( ↓ ) sebagai *land subsidence* berarah kebawah (*downlift*) memiliki nilai konduktifitas negatif dan pasangan berkonduktifitas positif diwakili anak panah berwarna merah ( ↑ ) sebagai *land subsidence* berarah keatas (*uplift*). Sehingga dapat ditunjukkan sebagaimana berikut pada masing-masing lintasan. Sebagai tambahan, rata-rata waktu proses akuisisi data diletakkan pada bagian atas grafik respon citra konduktifitas di setiap lintasan.

Berdasarkan survei awal dari pengamatan langsung (*direct monitoring*) dan dari data sekunder (Peta rupa bumi dan GPS *position*) menyatakan bahwa kondisi geologi permukaan di desa Renokenongo terdiri dari endapan aluvial delta Brantas. Dimana bagian delta sungai Brantas tersusun atas urutan formasi Ngimbang, Kujung, Tuban, Ngrayong, Wonocolo, Ledok, dan paling muda formasi Lidah yang didapatkan dari peta geologi Jember yang dibuat oleh Bemmelen (1949). Oleh karena itu dari informasi geologi tersebut, maka lintasan kajian yang berada di wilayah Renokenongo memiliki kesamaan dalam merespon medan gelombang elektromagnetik permukaan dengan metode geofisika VLF-EM. Hasil pengamatan geologi baik secara langsung (*direct monitoring*) maupun secara tidak langsung (*no direct monitoring*) telah memberikan informasi tentang kondisi penurunan muka tanah (*land subsidence*) pada masing-masing lintasan.

Lintasan III:



GAMBAR 4. Perbedaan kuantitas dan kualitas dugaan anomali land subsidence lintasan III untuk pengukuran dengan teknik Konvensional dan teknik Gradio.

Secara jelas terlihat dari hasil pencitraan konduktif bawah permukaan pada Lintasan I merupakan daerah yang menunjukkan sedikit titik posisi penurunan muka tanah dengan waktu proses akuisisi antara teknik konvensional dan teknik gradio adalah 5, 34 menit dan 10,47 menit. Sedangkan, pada lintasan II yang proses akuisisinya berselisih 4,26 menit lebih lama teknik gradio daripada teknik konvensional (6,02 menit dan 10,28 menit) merupakan daerah yang menunjukkan cukup parah penurunan muka tanah dengan ditandai pada banyaknya *land subsidence* baik yang terletak pada atas permukaan maupun cenderung terletak pada bawah permukaan tanah, dan lintasan III merupakan daerah yang

pada permukaan cenderung sedikit menunjukkan penurunan muka tanah akan tetapi pada permukaan tanah cenderung menunjukkan penurunan secara gradual searah pada bentangan lintasan penelitian dan proses akuisisi pada lokasi ini mempunyai selisih terbesar dalam proses akuisisi antar dua teknik pengukuran yaitu pada 5,48 menit untuk teknik konvensional dan 11,17 menit pada teknik gradio.

Pola zona kontur konduktifitas menunjukkan bahwa tingkat kuantitas dan kualitas ketajaman warna dan kejelasan posisi-posisi penurunan muka tanah pada teknik pengukuran gradio VLF-EM lebih baik daripada teknik konvensional. Tingkat kualitas ketajaman warna dan kuantitas kejelasan titik-titik posisi penurunan muka tanah memberikan informasi posisi *land subsidence* yang telah terjadi dan menjadi landasan pijakan informasi dari resolusi yang dihasilkan dari teknik konvensional. Namun demikian, informasi posisi *land subsidence* yang teramati dalam teknik gradio menunjukkan proses penurunan muka tanah merupakan perekaman resolusi pada bawah permukaan dan berasosiasi tertampak pada permukaan tanah suatu waktu yang akan datang. Pola *land subsidence* memberikan informasi secara temporal dan spasial tentang keberlanjutan penurunan muka tanah pada daerah tersebut. Pola grafik anomali medan magnetik “*Tilt Angle Wave*” merupakan salah satu landasan yang menegaskan dalam mengamati pola kontur zona konduktifitas antara kedua teknik pengukuran untuk menentukan terjadinya proses *land subsidence*. Disamping informasi dari pola-pola warna yang saling berasosiasi secara berpasangan antara konduktifitas negatif dan positif di kontur zona konduktifitas setiap kajian lintasan penelitian dan pada masing-masing teknik pengukuran dan pola grafik anomali medan magnetik “*Tilt angle Wave*” menegaskan dan menyatakan sebagai proses yang berkelanjutan sesuai dengan titik-titik lokasi dugaan terjadinya dan akan terjadinya penurunan muka bumi (*land subsidence*).

Karakterisasi pengukuran metode VLF-EM dengan teknik konvensional memiliki kelebihan dalam pengakuisisian data yang cepat dan akurat dalam penganalisaan bawah permukaan dangkal dan atas permukaan, dan mampu meminimalkan gangguan elektromagnetik terdekat yang terdapat pada permukaan bumi, sementara itu, karakterisasi pengukuran teknik gradio memiliki kelebihan dalam hasil interpretasi dan resolusi yang sangat tinggi dan akurat dalam seluruh bagian pelapisan bumi, sehingga mampu menjelaskan fenomena bawah permukaan secara menyeluruh, dan dapat digunakan sebagai rekomendasi teknis fenomena yang akan terjadi.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil kontur konduktifitas pengukuran geofisika metode VLF-EM bawah permukaan antara teknik pengukuran konvensional dan teknik pengukuran gradio pada semua lintasan kajian menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan. Dalam hal ini, pengukuran geofisika metode VLF-EM dengan menggunakan teknik pengukuran konvensional memiliki proses akuisisi yang lebih cepat daripada teknik pengukuran gradio dan akurat pada anomali atas permukaan yang dapat dijadikan sebagai pendugaan awal fenomena geofisika dalam proses eksplorasi lebih lanjut. Sedangkan, pengukuran geofisika 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* daripada menggunakan teknik pengukuran konvensional, sehingga dapat dijadikan sebagai bagian lanjutan eksplorasi pengukuran geofisika metode VLF-EM.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Bayrak, Use of Electromagnetic VLF Method in Shallow Exploration in Turkey (in Turkish), *Jeofizik*, **9-10**, 143-148 (1995).
- [2] R. W. Van Bemmelen, The Geology of Indonesia Map (Jember site), vol. IA, General Geology Government Printing Office, The Hague, 1949, hal.732h.
- [3] A. Fernando, 2-D Inversion of VLF-EM Single Frequency, Centro de Geofisica da Universidade de Lisboa, Portugal, 2006.
- [4] F. P. Bosch dan I. Muller, Continuous Gradient VLF Measurement: A New Possibility for High Resolution Mapping of Karst Structures, *Technical Articles*, **19**, 345-350 (2001).
- [5] D. C. Fraser, Contouring of VLF-EM data, *Geophysics*, **34**, 958-967 (1969).
- [6] P. Hiskiawan, 2008. Studi Reaktifasi Patahan Aktif di Mud Volcano Sidoarjo dengan Metode VLF, thesis FMIPA ITS, Surabaya.
- [7] M. Karous dan S. E. Hjelt, Linear Filtering of VLF Dip Angle Measurement, *Geophysics prospecting*, **31**(5), 782-794 (1983).
- [8] V. P. Sharma, *Environmental an Engineering Geophysics*, Cambridge: Cambridge University Press, 1997.