

## **High Resolution Deteksi Reaktif Patahan Dangkal dengan Metode Geofisika, VLF-EM**

### ***Detection of The High Resoluition in The Shallow Fault Reactive by The Geophysics Method, VLF-EM***

Puguh Hiskiawan

*Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember*

#### **ABSTRACT**

VLF-EM method is one of the geophysics methods used to examine rock structure below earth surface. The fault is an earth rock layering process that is usually filled with mineral or seeped with conductive fluid that cause conductivity changes. This fault influences a change in electromagnetic field parameter. This research applied interval variation measurement, to obtain high resolution conductivity. Karous-Hjelt filtering analysis methods was used to explain the response of VLF-EM method about fracture condition or fault reactive occurred in Renokenongo village, Sidoarjo. The result can identify a fault pattern which indicated a very significant reactive fault.

Keywords: VLF-EM, filtering Karous-Hjelt, a Watukosek fault

#### **PENDAHULUAN**

Fenomena erupsi lumpur Sidoarjo (LUSI) yang terjadi pada tanggal 29 Mei 2006 di daerah Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo merupakan fenomena ilmiah yang sangat menarik. Lumpur yang tersemburkan berasal dari formasi Kalibeng, dari kedalaman sekitar 2800 – 3000 meter di bawah permukaan bumi. Akibat erupsi lumpur ini banyak desa sekitar yang terendam, kerusakan infrastruktur pemerintah, tersendatnya perekonomian dan kelumpuhan transportasi. Selain dari dampak langsung di atas, bencana ikutan lain yang terjadi adalah terjadinya deformasi pada muka rupa bumi di sekitar titik semburan LUSI. Deformasi ini terjadi akibat pembalikan massa bumi. Pembalikan berarti pengosongan sebagian massa bumi dari bawah permukaan bumi yang diikuti oleh penimbunan massa hasil erupsi di permukaan bumi. Proses perubahan rupa bumi ini diperkirakan dapat mencakup daerah yang lebih luas dari pada daerah genangan lumpur hasil erupsi. (Hiskiawan 2008)

Salah satu dugaan dan anggapan yang menjadi titik awal dari dampak bencana yang berkelanjutan hingga saat ini adalah adanya pengaruh atau kontribusi dari aktifnya kembali patahan purba yaitu Patahan Watukosek (Rovicky 2006). Patahan Watukosek mengakibatkan terjadinya patahan-patahan sekunder dangkal dan ini didasarkan pada

kerusakan-kerusakan struktur yang berpola sama dan dapat diamati secara geologi dengan mengamati keteraturan yang berlanjut (Sardjono 2007). Penelitian-Penelitian bawah permukaan telah banyak dilakukan baik dengan menggunakan gaya berat, kelistrikan bumi dan kemagnetan bumi menunjukkan pola-pola yang berasosiasi dengan perubahan pola rupa bumi (Sardjono 2007, Hiskiawan 2008).

Pengukuran geofisika dengan Metode VLF-EM dikenal sebagai metode yang relatif bermanfaat untuk penentuan target geofisika yang bersifat konduktif, misalnya lapisan batuan beku, patahan pada suatu sistem pelapisan bumi. Kedalaman jangkauan dari penetrasi radiasi gelombang ini dinyatakan dengan faktor *skin depth* (yang ditentukan oleh kondisi lingkungan di sekitar lokasi pengukuran). Kedalaman penetrasi semakin rendah pada lingkungan yang semakin konduktif. Metode ini sangat efektif untuk memisahkan anomali massa yang memiliki perbedaan konduktifitas yang signifikan terhadap lingkungan sekitarnya, atau pada kondisi *overburden mass* (lapisan penutup) yang relatif dangkal (Sharma 1997)

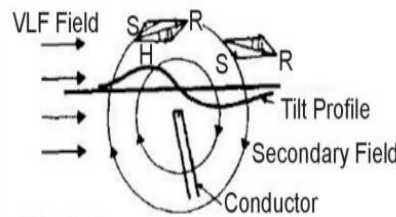
Medan elektromagnetik VLF dihasilkan oleh pemancar gelombang radio berdaya besar (100-1000 KW) dengan frekuensi 15 – 30 kHz (atau pada panjang gelombang 10-20 km) yang relatif rendah terhadap interval frekuensi yang biasa dipakai pada eksplorasi geofisika. Pancaran gelombang VLF oleh suatu stasiun

radio VLF akan menginduksi sistem pelapisan bumi yang konduktif. Dua pemancar radio yang terdekat dengan Indonesia berada di Yosamai, Jepang dan Northwest Cape, Australia. Antena pemancar terdiri dari beberapa menara tinggi (200-300 m). Sehingga pada jarak cukup jauh sistem antenna tersebut dapat dipandang sebagai dipol listrik vertikal dengan arus listrik yang mengalir dari dan ke kutub-kutubnya, 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.

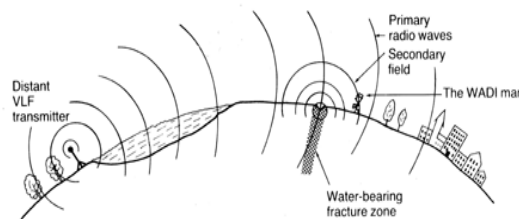
Secara umum Jawa Timur terdapat tiga daerah geologi aktif yaitu bagian selatan (merupakan pegunungan api aktif), bagian tengah (merupakan cekungan laut transgesi), dan utara (pegunungan kapur). Daerah Porong secara umum merupakan bagian tengah dari geologi Jawa Timur yang sudah terjadi sejak 40 juta tahun yang lalu, pada era Tersier (Van Bemmelen 1949). Aktivitas tektonik menyebabkan terjadinya pengangkatan, penurunan, pelipatan, dan patahan terhadap batuan sedimen yang ada di cekungan Jawa Timur sebelah utara. Aktivitas tektonik ini terjadi berulang-ulang. Struktur geologi yang kompleks merupakan perpaduan antara struktur lipatan, patahan, dan diapir. Artinya di daerah

ini secara alami memiliki banyak daerah yang lemah secara struktur geologi. Secara khusus daerah Porong merupakan bagian delta sungai Brantas yang tersusun atas urutan formasi Ngimbang, Kujung, Tuban, Ngrayong, Wonocolo, Ledok, dan paling muda formasi Lidah. Sedangkan di permukaan terdiri dari endapan aluvial delta Brantas (di utara sungai Porong) dan endapan vulkanik kuartar atas dan tufaan di selatan sungai Porong. Endapan aluvial delta ini terdiri endapan yang berasal dari sungai Brantas yang terpecah menjadi dua sungai yaitu Kali Mas di utara dan sungai Porong di selatan (Sukardi 1992).

Dalam Penelitian ini digunakan teknik *High Resolution* deteksi, dimana pengukuran menggunakan variasi interval. Sehingga hasil zona kontras konduktif pada daerah patahan reaktif dapat ,memberikan hasil yang lebih signifikan dan resolusi pencitraan yang lebih kompleks. Interval pengukuran yang lebih panjang dapat menjangkau kedalaman yang lebih signifikan dan memberikan informasi deformasi rupa bumi yang berasosiasi secara vertikal sedangkan interval yang lebih pendek dapat menunjukkan hasil zona patahan reaktif yang lebih kompleks serta deformasi rupa bumi yang berasosiasi secara horisontal. Penelitian ini juga dapat menunjukkan pola reaktif patahan susulan selama erupsi lumpur yang terus berkelanjutan.



Gambar 1. Profile anomali medan EM akibat superposisi medan sekunder.



Gambar 2. Medan EM yang ditimbulkan oleh radiasi gelombang VLF.

## METODE

Survei awal yang meliputi survey untuk mendapatkan data sekunder dan data primer. Data sekunder didapatkan dari hasil-hasil wawancara dengan pihak-pihak terkait seperti BPLS (Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo), dan warga-warga sekitar, kemudian hasil-hasil penelitian yang telah ada, pencarian melalui internet, data geologi dan geomorfologi. Data primer didapatkan dari hasil pengamatan geologi atas permukaan, hasil dokumentasi, dan hasil pengamatan titik-titik acuan. Hasil-hasil survey tersebut akan ditindaklanjuti dengan analisa masalah dan penyelesaiannya untuk memperoleh berbagai alternatif penyelesaian yang akan ditempuh.

Melakukan pengukuran parameter struktur fisika terhadap lapisan tanah-batuan di bawah permukaan bumi melalui metode geofisika yang sesuai dengan tujuan kegiatan dan berdasarkan hasil survei awal tersebut di atas. Dalam kerangka ini metode geofisika yang akan diimplementasikan adalah metode listrik magnet very low frekuensi (VLF).

Melakukan analisis dan interpretasi hasil pengukuran geofisika untuk memperoleh hasil-hasil sehingga dapat digunakan dalam menentukan zona sebaran konduktif.

Melakukan perbandingan tiap-tiap variasi interval pengukuran dan menggabungkan sehingga didapatkan hasil yang memiliki zona konduktif dengan resolusi tinggi (high resolution).

### Lokasi penelitian

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).

### Akuisisi data penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan desain lintasan yang berupa sesi lintasan terdiri atas tiga lintasan yang digunakan pada desa Renokenongo, yaitu Jalan raya Renokenongo, Gang desa Renokenongo dan di desa

Wangkal (sebelah desa Renokenongo). Sedangkan tiap sesi lintasan akan dilakukan pengukuran dengan variasi interval, yaitu : variasi interval pengukuran 5 m dan 10 m, gambar 3 tertampak sesi lintasan akuisisi data dan rekahan yang dipermukaan.

### Perangkat penelitian

Untuk pengakuisian data di lapangan digunakan peralatan VLF-EM jenis Envi Srintex yang dilengkapi dengan aki charger 12 V 2,2 A dan peralatan pendukung pengukuran yang digunakan adalah GPS (*Global Positioning System*), kompas geologi, peta rupa bumi daerah Porong, kamera digital, handy talkie, pasak atau penanda berikut roll meteran serta perangkat pencatat data.

### Processing dan interpretasi data

Data yang telah terambil meliputi data elektromagnetik yang didapatkan dalam pengukuran. Data pengukuran tersebut merupakan superposisi antara sinyal yang berasal dari anomali dan gangguan (noise) dari struktur lokal yang tidak diharapkan.

Data pengukuran akuisisi dari lapangan berupa respon konduktif sebagai respon medan magnet sekunder diolah menggunakan *software* KHFFILT (Karous Hjelt and Fraser Filtering of Measurements VLF) versi 1.1a dibuat pada tahun 2004 oleh Markku Pättijärvi. Output dari pengolahan data 2 Dimensi yang telah dilakukan diatas merupakan citra yang menggambarkan nilai konduktivitas (rapat arus) relatif terhadap rata-rata konduktivitas tanah/batuan sekitarnya. Hijau menunjukkan nilai 0 berarti konduktivitasnya sama dengan batuan sekitarnya. Jika nilainya bertambah positif, yang ditunjukkan dengan warna kuning sampai merah. Maka konduktivitasnya semakin besar. Jika nilainya berubah menjadi negatif yang ditunjukkan warna biru hingga hitam, maka konduktivitasnya semakin kecil. Adanya patahan bawah permukaan ditunjukkan dengan pola yang khas pada patahan dengan warna menuju biru hingga hitam yang membentuk sudut kemiringan terhadap arah lintasan. Warna kuning hingga merah menunjukkan bahwa tanah/batuannya relatif keras dibandingkan tanah/batuan sekitarnya.



Gambar 3. Komposisi sesi lintasan dan rekahan.

**Lintasan sesi a (Jalan Raya Renokenongo)**

Lintasan pada sesi a ini terletak pada 7°31'50"S dan 112°43'03"E hingga 7°31'54"S dan 112°43'20"E.

Tabel 1. Akusisi variasi Interval pada lintasan sesi a.

Interval (m)	Posisi	Panjang (m)	Jumlah Data
5	Normal	400	81
10	Normal	400	41

**Lintasan sesi b (Gang Renokenongo)**

Lintasan pada sesi b ini terletak pada 7°31'44"S dan 112°43'12"E hingga 7°31'50"S dan 112°43'26"E .

Tabel 2. Akusisi variasi Interval pada lintasan sesi b.

Interval (m)	Posisi	Panjang (m)	Jumlah Data
5	Normal	400	81
10	Normal	400	41

**Lintasan c (Wangkal)**

Lintasan pada sesi Ic ini terletak pada 7°31'10"S dan 112°43'05"E hingga 7°31'16"S dan 112°43'28"E.

Tabel 3. Akusisi variasi Interval pada lintasan sesi c.

Interval (m)	Posisi	Panjang (m)	Jumlah Data
5	Normal	400	81
10	Normal	400	41

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

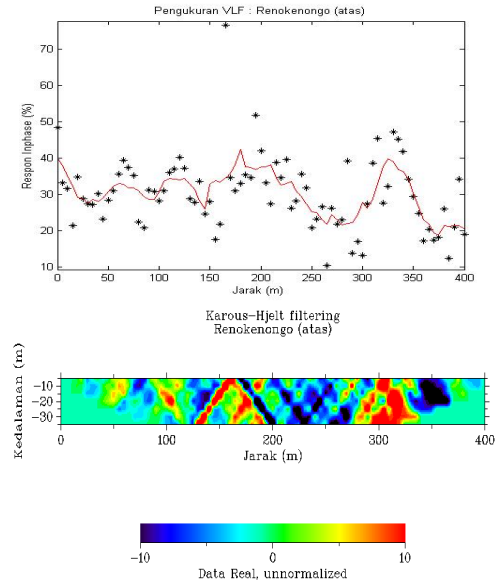
**Hasil processing data**

Hasil processing data dari akusisi pada seluruh lintasan akan dikemukakan dalam bentuk grafik frekuensi pengukuran dari data *observasi* (=data lapangan) serta data filter Karous-Hjelt (=data perhitungan) dan citra zona sebaran konduktif yang teramati pada masing-masing lintasan pengukuran VLF.

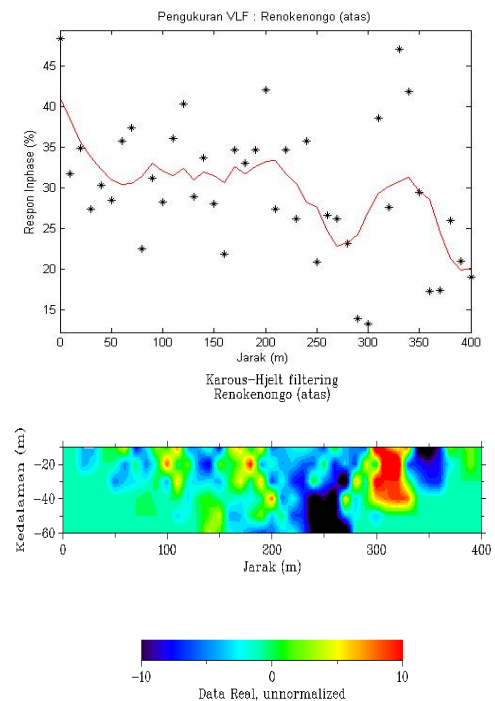
**Hasil interpretasi data**

Intepretasi data untuk lintasan sesi ini, meliputi : Indikasi patahan atau rekahan melalui perbandingan sebaran zona konduktif antara posisi pengukuran pada tiap-tiap interval pengukuran. Ini berguna untuk lebih memperjelas citra sebarannya. Kemudian dioverlay dalam peta lokasi kejadian.

**Lintasan a (Jalan Raya Renokenongo)**



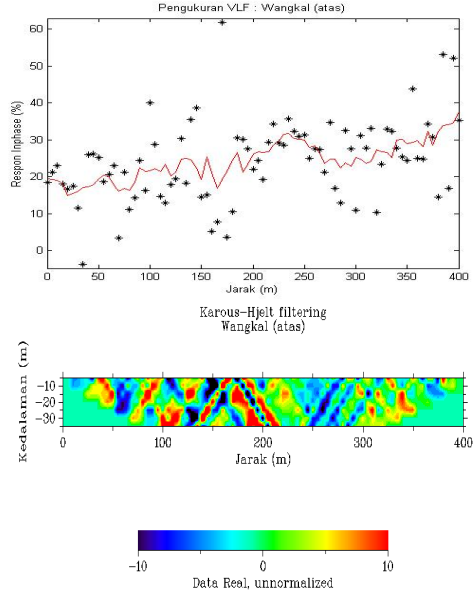
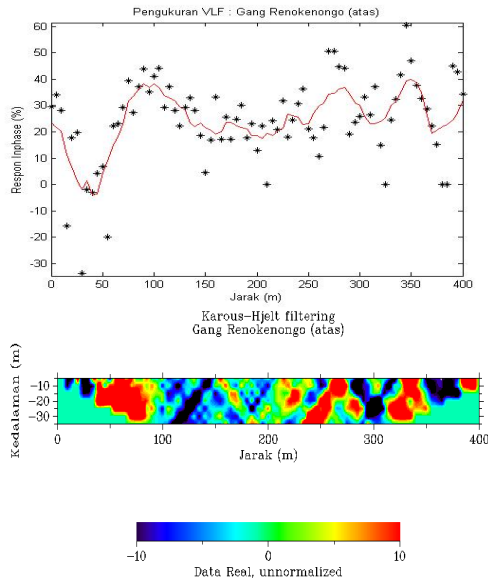
Gambar 4. Pengukuran VLF lintasan a interval 5 m.



Gambar 5. Pengukuran VLF lintasan a interval 10 m.

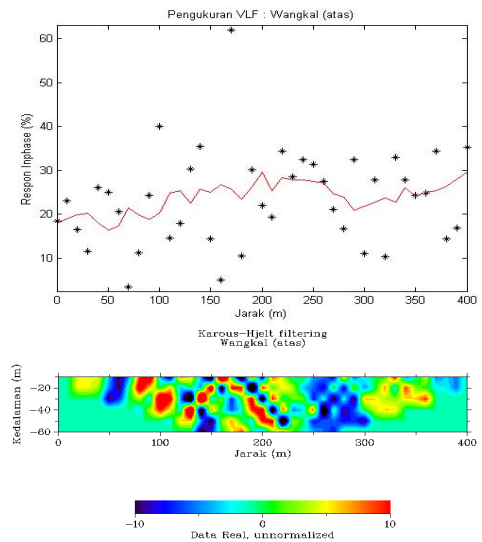
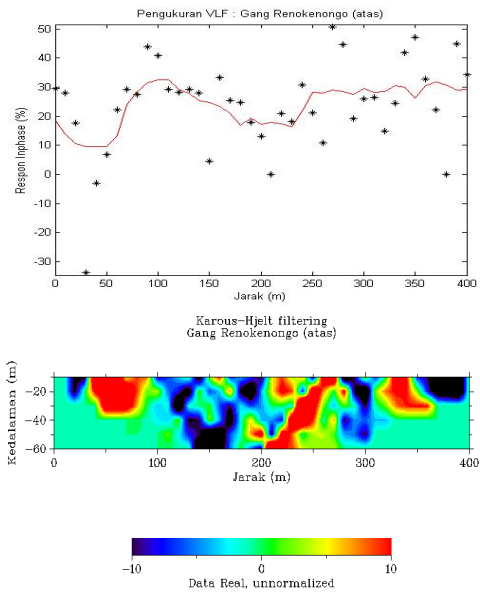
**Lintasan b (Gang Renokenongo)**

**Lintasan c (desa Wangkal)**



Gambar 6. Pengukuran VLF lintasan b interval 5 m.

Gambar 8. Pengukuran VLF lintasan c interval 5 m.

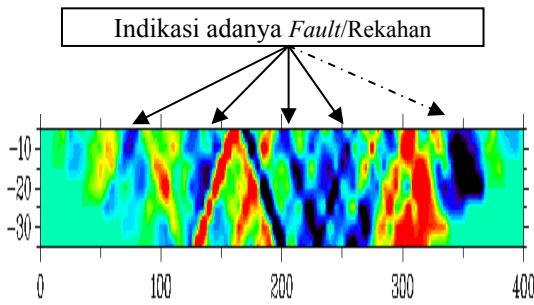


Gambar 7. Pengukuran VLF lintasan b interval 10 m.

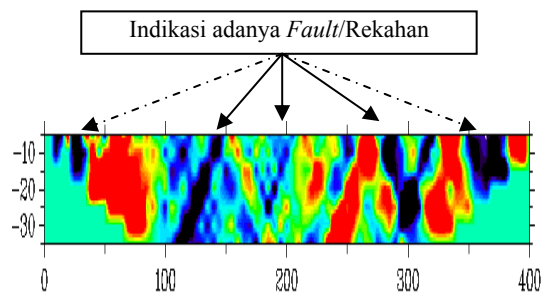
Gambar 9. Pengukuran VLF lintasan c interval 10 m.

**Intepretasi lintasan a (Jalan Raya Renokenongo)**

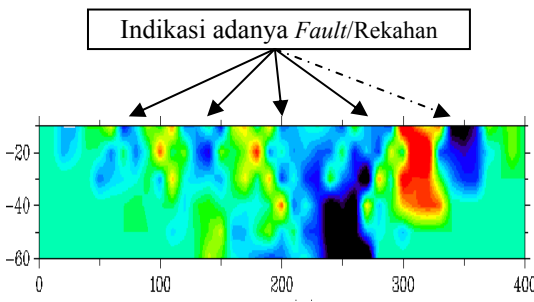
**Intepretasi lintasan b (Gang Renokenongo)**



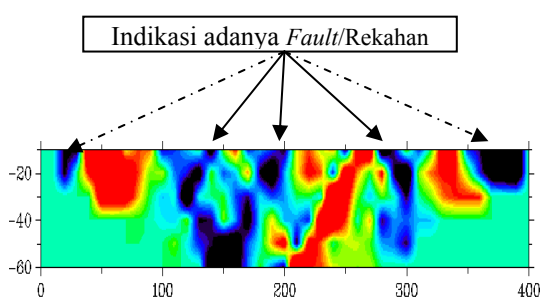
Gambar 10. Indikasi patahan lintasan a interval 5 m.



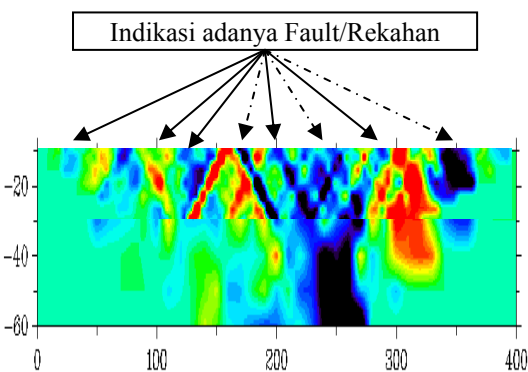
Gambar 13. Indikasi patahan lintasan b interval 5 m.



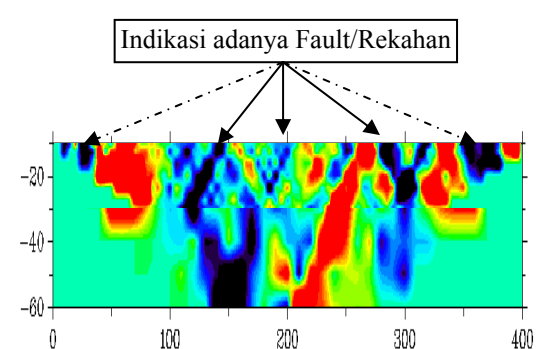
Gambar 11. Indikasi patahan lintasan a interval 10 m.



Gambar 14. Indikasi patahan lintasan b interval 10 m.

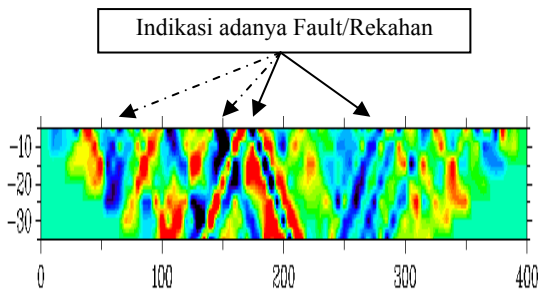


Gambar 12. Indikasi patahan lintasan a interval gabungan.

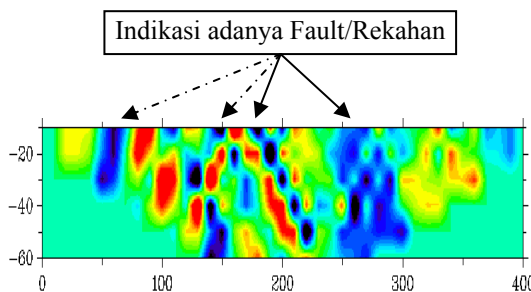


Gambar 15. Indikasi patahan lintasan b interval gabungan.

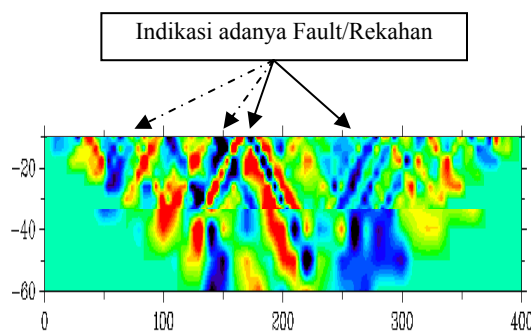
### Intepretasi lintasan c (Desa Wangkal)



Gambar 16. Indikasi patahan lintasan c interval 5 m.



Gambar 17. Indikasi patahan lintasan b interval 10 m.



Gambar 18. Indikasi patahan lintasan b interval gabungan.

### Overlay peta

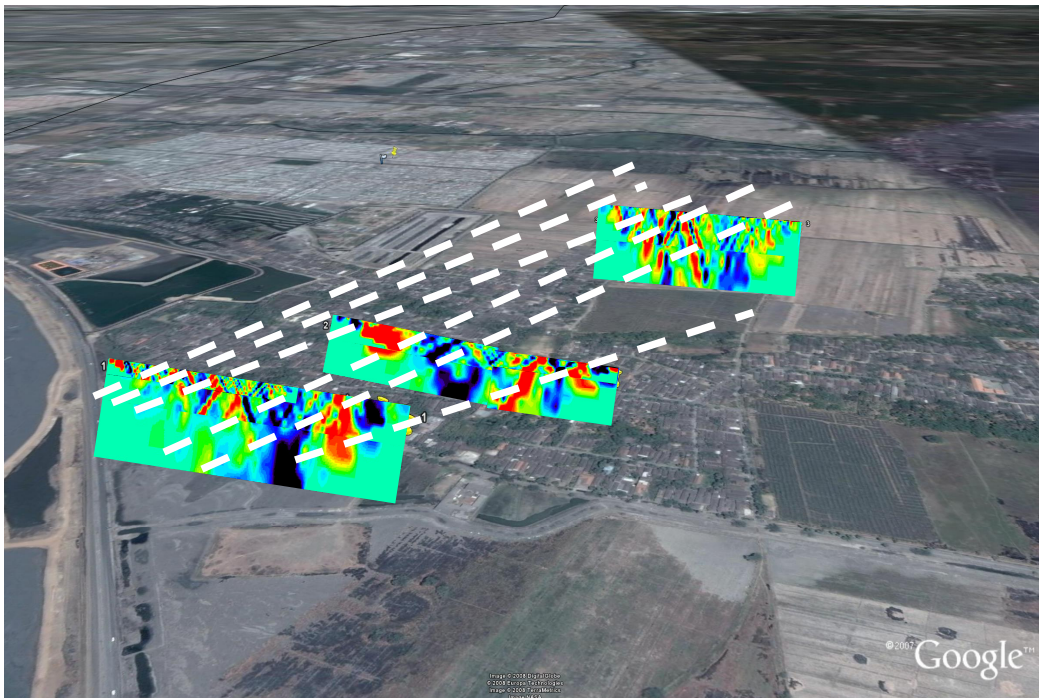
Pada interpretasi ini akan dilakukan overlay kedalam peta dengan menggunakan peta lintasan yang telah didigitalisasi dengan bantuan program *google earth*. Cara mengoverlay data kedalam peta dimana hasil zona sebaran konduktif berbagai interval pengukuran dalam setiap lintasan akan digabungkan ke dalam bentuk gambar kemudian dimasukkan ke dalam peta yang telah tersedia, sehingga hasilnya didapatkan sebagai berikut

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. Dari informasi geologi tersebut, maka lintasan yang berada di wilayah Renokenongo memiliki kesamaan dalam merespon gelombang elektromagnetik permukaan VLF.

Pada lintasan sesi a, nampak terdapat beberapa rekahan/ patahan pada jalur lintasan. Lintasan dengan interval 5m dengan kedalaman pengukuran 30m menghasilkan beberapa titik-titik rekahan pada permukaan yang cukup signifikan dengan hasil penampakan di permukaan meskipun keadaan tersebut belum dapat diindikasikan oleh adanya patahan, kemungkinan hanya kerusakan struktur lintasan akibat adanya proses deformasi rupa bumi. Dari fenomena tersebut maka interval 10m dengan kedalaman pengukuran 60m mampu menunjukkan dengan tegas bahwa kerusakan struktur di permukaan lintasan di sesi a merupakan kerusakan yang disebabkan oleh adanya patahan yang aktif di daerah tersebut, bahkan diindikasikan bahwa kerusakan itu akan terus berlanjut seiring berjalannya waktu, terlihat pada Gambar 12 dengan berjalannya waktu, terlihat pada Gambar 12 dengan ditandai oleh penunjukan garis putus-putus.

Pada lintasan sesi b, nampak daerah lintasan merupakan daerah yang cukup parah terdampak oleh deformasi rupa bumi yang diakibatkan oleh reaktifasi patahan. Gambar 15 menunjukkan citra yang cukup tajam. Pada jarak lintasan 300m sampai dengan 400m terdapat fenomena tidak cukup kuat terindikasi adanya rekahan. Fenomena ini telah dibuktikan dengan wawancara dengan penduduk sekitar, bahwa daerah tersebut tidak parah mengalami deformasi rupa bumi dan hanya terjadi beberapa retakan yang ringan pada rumah-rumah penduduk. Pada lintasan sesi c, merupakan daerah yang tidak tampak adanya patahan atau rekahan di permukaan atau disekitar lintasan dan lintasan ini memiliki kelurusan dengan lintasan sebelumnya. Pada Gambar 18, citra sebaran zona konduktif nampak tidak memperlihatkan citra yang kuat adanya rekahan atau patahan, tetapi beberapa titik pada pengukuran bawah ternyata mampu memperlihatkan adanya rekahan atau patahan meskipun masih tidak kuat.





Gambar 19. Overlay hasil zona sebaran *High Resolution* pada peta lokasi penelitian.

Indikasi dari fenomena tersebut memiliki kemungkinan bahwa daerah tersebut juga akan mengalami deformasi rupa bumi pada waktu-waktu yang akan datang.

Overlay peta lintasan dengan menggunakan zona sebaran konduktif di daerah lintasan, nampak pada Gambar 19, telah terjadi kelurusan pada masing-masing zona konduktif di setiap lintasan, ditandai dengan garis putih putus-putus. Arah kelurusan rekahan atau patahan di lintasan sesi ini dengan berarah dengan N50E dan merupakan fenomena yang sama dengan penampakan yang telah terjadi dipermukaan penelitian.

Keadaan ini menyakinkan bahwa rekahan atau patahan yang terjadi di desa Renokenongo, dimungkinkan berlaku terus menerus seiring dengan berjalannya waktu selama kondisi semburan lumpur di Porong belum dapat dihentikan atau proses terbentuknya mud volcano atau gunung lumpur belum selesai.

### KESIMPULAN

Hasil sebaran zona konduktif dengan pengukuran VLF-EM pada semua sesi lintasan menunjukkan adanya indikasi patahan atau rekahan atau sesar. Pengukuran semua sesi lintasan dengan menggunakan variasi interval pada pengukuran memberikan citra atau

resolusi yang sangat signifikan, sehingga dapat digunakan untuk memprediksi rekahan yang terjadi secara horisontal dan vertikal pada lintasan pengukuran oleh karena itu teknik deteksi High resolution pada reaktif patahan dangkal dengan VLF-EM dapat teramati dengan jelas dan sangat signifikan. Hasil overlay ke dalam peta di semua lintasan dengan sebaran zona konduktif VLF menunjukkan kelurusan antar setiap lintasan dan tampak berasosiasi dengan penampakan rekahan yang dipermukaan sehingga dapat hasil overlay ini dapat memprediksi adanya proses deformasi bumi pada waktu yang akan datang selama erupsi lumpur berlangsung.

### DAFTAR PUSTAKA

- Apparao A. 1997. *Developments in Geoelectrical Methods*. National Geophysical Research Institute Hyderabad, India.
- Van Bemmelen RW. 1949. *The Geology of Indonesia. General Geology*, Government Printing Office, The Hague. **IA**:732 h.
- Hendrajaya L. & Simpen IN. 1990. *Respon Teoritik Elektromagnet VLF Model Sesar dan Penerapannya pada Data Elektromagnet VLF dari Daerah Panasbumi Muralaboh Sumatera Utara*. Medan. Simposium Fisika Nasional XIV Jurusan Fisika-FMIPA. USU. Medan.



- Hiskiawan P. 2007. *Metode VLF untuk mendeteksi keretakan pada bangunan*. Seminar Nasional Pascasarjana VII ITS, Surabaya.
- Hiskiawan P. 2008. *Studi Reaktifasi Patahan Aktif di Mud Volcano Sidoarjo dengan Metode VLF*. Thesis FMIPA ITS, Surabaya.
- Karous M, Hjelt SE. 1983. Linear Filtering of VLF dip angle Measurement. *Geophysics Prospecting V. 31*:782-794.
- Reynolds JM. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Rovicky. 2006. *Kondisi Porong akibat Pengaruh Patahan Watukosek*. [www.dongengeologi.com](http://www.dongengeologi.com)
- Sarjono SP. 2007. Analisa Data Gaya Berat untuk Penentuan Bidang Patahan Penyebab Semburan Lumpur di Sumur Eksplorasi Banjar Panji I Porong. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. ITS. Surabaya.
- Sharma, Prem V. 1997. *Environmental an Engineering Geophysics*. Cambridge University Press.
- Sukardi. 1992. *Geologi Lembar Surabaya dan Sekitarnya Jawa*. Edisi Pertama, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung Indonesia.
- Watt GF. 1967. *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. Mc Graw Hill Co, New York, San Fransisco, Toronto, London, Sydney.