

Identifikasi Daerah Patahan dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole di Desa Renokenongo Porong Sidoarjo

Sri Cahyo Wahyono¹, Totok Wianto¹, Simon Sadok Siregar¹,
Widya Utama² dan Suminar Pratapa²

Abstract: Fault is already occurred in Renokenongo, Porong - Sidoarjo. These fault's have destroyed some building and public facilities. Existence of these fault's have been detected by using 2D resistivity method. In this research, measurement of 2D resistivity is conducted by using Dipole-Dipole configuration. Configuration has been done in two lines. The first line is length of measurement 200 meters and direction E 98° S and second line the path length of 120 meters and direction N 50 E. From the resistivity section, position of fault is founded. For first line, position of fault stays at point 25; 43; 57; 97,5; 110 and 136 m. While for second line position of fault stays at point 33; 50 and 100 m.

Keywords: fault, resistivity, Dipole-Dipole configuration, Renokenongo village

PENDAHULUAN

Erupsi lumpur panas telah terjadi di Porong, Kabupaten Sidoarjo, sejak tanggal 29 Mei 2006 dan sampai sekarang belum berhenti. Erupsi dimulai oleh semburan kecil gas putih-kelabu dan diiringi dengan air lumpur. Hasil erupsi tersebut telah menggenangi daerah seluas kurang lebih 600 hektar dan menenggelamkan sarana dan prasarana kehidupan masyarakat sekitar.

Penimbunan massa yang demikian luar biasa telah menimbulkan ketidakstabilan bentuk muka bumi di daerah Porong. Hal ini merupakan ancaman utama terhadap semua aspek kehidupan masyarakat di sekitar semburan lumpur Sidoarjo.

Semburan lumpur panas yang terjadi di sekitar sumur eksplorasi BJP-1 keluar dari suatu bidang lemah yang dalam hal ini adalah patahan/sesar Watukosek, sedangkan patahan dangkal yang bersifat konsentris di sekitar sumur BJP-1 disebabkan oleh adanya amblesan akibat perubahan struktur elastisitas di bawah permukaan karena keluarnya massa batuan bawah permukaan. Patahan tersebut tampak jelas di Desa Renokenongo dan telah merusak beberapa sarana dan prasarana masyarakat seperti jalan dan masjid (Sardjono, 2007).

Penelitian yang telah dilakukan di sekitar semburan lumpur panas antara lain penyebab terjadinya luapan lumpur karena

¹) Staf Pengajar Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Lambung Mangkurat

²) Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

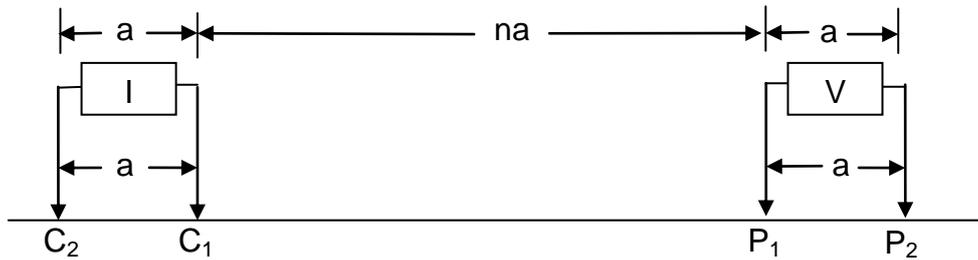
dipicu oleh gempa bumi atau pemboran (Davies et. al., 2008); pengukuran struktur daerah patahan dengan gelombang seismik resolusi tinggi (Ben-Zion et. al., 2007); penelitian tentang pemicu dan perubahan secara dinamik dari mud volcano LUSI (Mazzini, et. al., 2007); kelahiran mud volcano di Jawa Timur (Davies et. al., 2007); analisa pengaruh infiltrasi air hujan terhadap sifat fisik lumpur Porong Sidoarjo berdasarkan karakteristik kelistrikan (Utama dkk, 2007) dan pengaruh lumpur vulkanik yang terpenting adalah adanya penambahan sedimen (Dimitrov, 2002).

Sifat listrik batuan merupakan karakteristik dari batuan apabila dialirkan arus listrik ke dalam batuan tersebut. Arus listrik ini dapat berasal dari alam sendiri sebagai akibat dari ketidakseimbangan konsentrasi atau dapat juga berasal dari arus listrik yang dengan sengaja diinjeksikan kedalamnya (Hendrajaya dkk, 1990).

Pada konfigurasi dipole-dipole, pengukuran biasanya dimulai dengan spasi "a" antara elektroda $C_2 - C_1$ (dan juga $P_1 - P_2$). Sedangkan jarak antara elektroda $C_2 - C_1$ ke $P_1 - P_2$ sebesar "na"

dengan "n" dimulai dari 1 dan maksimal bernilai 6. Jika "n" lebih besar dari 6 maka pengukuran nilai potensial tidak akurat lagi karena nilai potensialnya sangat rendah. Untuk meningkatkan kedalaman investigasi, maka spasi antara elektroda $C_2 - C_1$ (dan juga $P_1 - P_2$) dinaikkan menjadi "2a" dan seterusnya. Dalam sistem dipole-dipole, intensitas medan listrik berkurang dengan cepat sesuai dengan sepejar jarak pangkat tiga, sehingga pelaksanaan pengukuran medan listrik menjadi sulit pada jarak pengukuran yang cukup jauh. Problem ini dapat diatasi dengan memperbesar arus atau panjang dipole tersebut (Hendrajaya dkk, 1990).

Pada tahanan jenis mapping, jarak spasi elektroda tersebut tidak berubah-ubah untuk setiap titik sounding yang diamati (besarnya "a" dan "n" tetap). Sedangkan pada tahanan jenis sounding, jarak spasi antara $C_1 - C_2$ ke $P_1 - P_2$ elektroda tersebut diperbesar secara gradual ("a" tetap, "n" berubah secara gradual), mulai dari harga n kecil, untuk suatu titik sounding. Model pengukuran 2D konfigurasi dipole-dipole seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model pengukuran 2-D konfigurasi Dipole-Dipole (Ward, 1992).

Sedangkan faktor geometri dipole-dipole sebesar:

$$K = \pi a n(n+1)(n+2) \quad (1)$$

Dari hambatan jenis yang terbaca dalam konfigurasi dipole-dipole dapat dinyatakan dalam rumus:

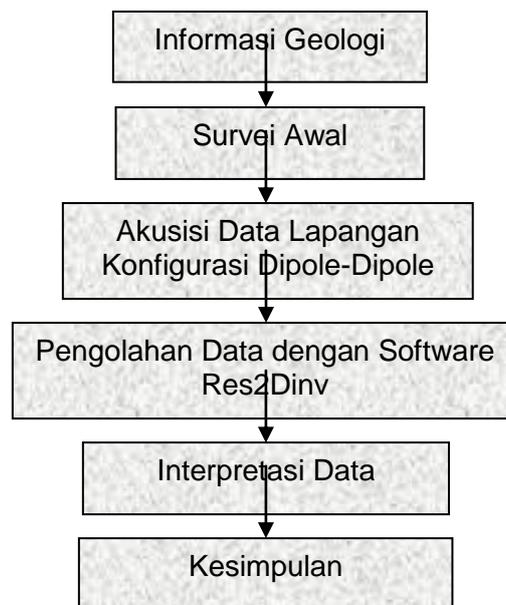
$$\rho_{aw} = \pi a n(n+1)(n+2) \frac{\nabla V}{I} \quad (2)$$

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika untuk mempelajari sifat aliran listrik di

dalam bumi dan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Dalam hal ini meliputi pengukuran potensial, pengukuran arus baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus ke dalam bumi.

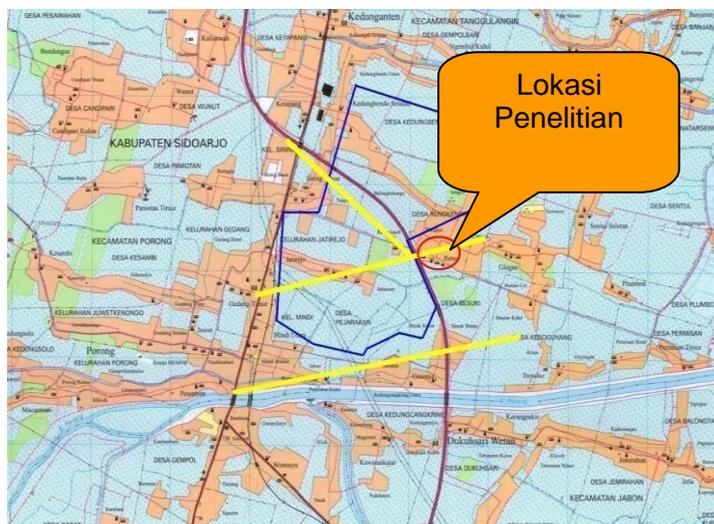
METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian meliputi beberapa proses seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur penelitian

Lokasi daerah penelitian berada di Desa Renokenongo, Porong, Sidoarjo, Jawa Timur seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta lokasi penelitian

Akuisisi data pada lintasan-1 dimulai dari koordinat $112^{\circ}43'03,2''$ BT dan $07^{\circ}31'53,6''$ LS yang membentang ke arah E 98° S dan lintasan-2 dimulai dari koordinat $112^{\circ}43'10,2''$ BT dan $07^{\circ}31'53,5''$ LS yang membentang ke arah N 5° E. Baik lintasan-1 maupun lintasan-2 berada tepat di atas lokasi yang terlihat patahan di Desa Renokenongo Sidoarjo.

Tahap survei ini sangat penting karena akan menentukan beberapa hal pada saat tahap akuisisi data, yaitu perancangan panjang lintasan dan penentuan titik awal dan akhir. Dalam melakukan akuisisi data lapangan, maka diperlukan peralatan untuk pengu-

kurian metode geolistrik. Peralatan yang digunakan adalah Resistivity-meter, elektroda, palu geologi, meteran, kompas, GPS, Handy Talky dan kamera.

Tahapan pengambilan data adalah penentuan titik sounding pada peta, penempatan titik sounding di lapangan dan pengukuran lapangan. Penentuan posisi awal dengan menggunakan GPS (Global Positioning System) untuk menentukan posisi terhadap garis lintang dan garis bujur, kemudian dilakukan pengukuran. Pengukuran dilakukan sebanyak dua buah lintasan dengan lintasan-1 sepanjang 200 meter dengan titik awal pada koordinat $112^{\circ}43'03,2''$ BT dan $07^{\circ}31'53,6''$ LS

yang membentang ke arah E 98° S dan lintasan-2 mengambil lintasan sepanjang 120 meter dengan titik awal pada koordinat 112°43'10,2" BT dan 07°31'53,5" LS yang membentang ke arah N 5° E.

Setelah dilakukan akuisisi data lapangan maka didapatkan hasil data tentang resistivitas dari tiap-tiap titik, kemudian data tersebut dikalikan dengan faktor geometri untuk mendapatkan harga resistivitas semu yang akan digunakan dalam pengolahan data. Pengolahan data ini dilakukan dengan komputer dengan menggunakan perangkat lunak Res2dinv. yang menghasilkan kontur 2D dengan menggunakan program inversi. Program inversi ini menggambarkan dan membagi keadaan bawah permukaan dalam bentuk penampang 2D. Metode inversi yang digunakan dalam pengolahan data adalah metode kuadrat terkecil (*least square*) (Loke, 1990).

Interpretasi data adalah pemberian kesan, pendapat, pandangan teoritis, atau penafsiran terhadap suatu data. Dari pengolahan data yang berupa pencitraan 2D dengan perbedaan warna akan diinterpretasikan letak patahan pada setiap lintasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

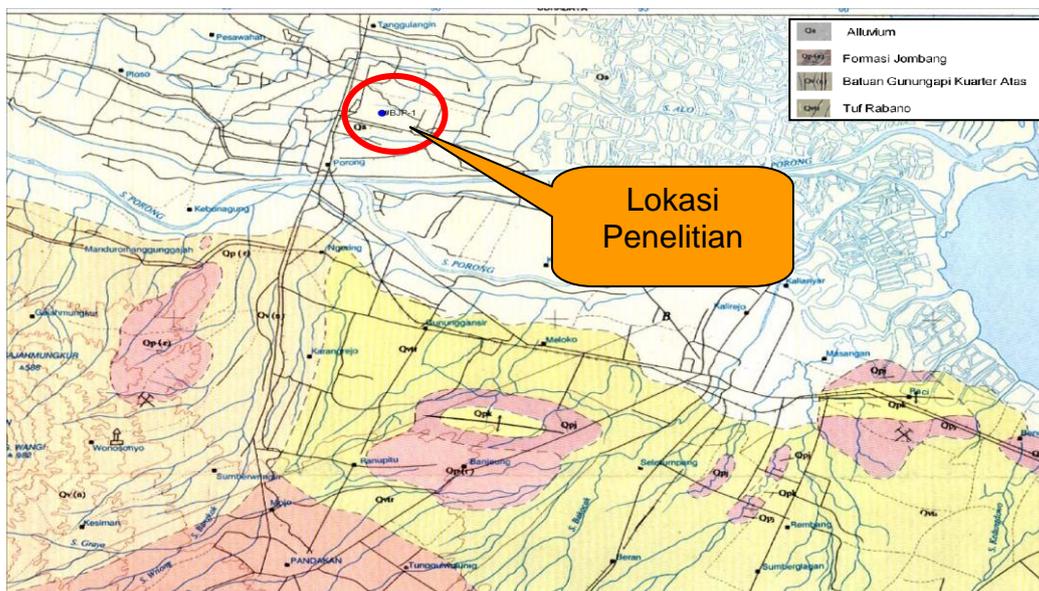
Pergerakan tanah dalam arah horisontal maupun vertikal di sekitar semburan lumpur Sidoarjo adalah sesuatu hal yang wajar dan disebabkan oleh beberapa faktor secara bersama-sama yaitu proses relaksasi tanah (*ground relaxation*) akibat keluarnya lumpur ke permukaan tanah dalam volume yang sangat besar, beban lumpur, pemampatan tanah karena adanya pekerjaan dan aktivitas (pembuatan tanggul dengan kendaraan berat yang hilir-mudik) dan aktifnya kembali struktur geologi sesar Watukosek yang melalui kawasan lumpur tersebut.

Secara umum daerah Renokenongo termasuk pada morfologi Kabupaten Sidoarjo yang berupa dataran rendah, dengan topografi yang seragam dan tanahnya merupakan endapan alluvial dan batuan sedimen yang merupakan batuan induk seperti yang terlihat pada Gambar 4.

Sedangkan geologi struktur Kabupaten Sidoarjo adalah pemunculan batuan kuarter bawah yang cenderung berumur tersier, seperti yang tampak pada lapisan lempung pasiran di sekitar Driyorejo. Dengan adanya pemunculan batuan

tersier di permukaan menunjukkan daerah Kabupaten Sidoarjo pernah terganggu oleh tektonik yang berupa pengangkatan di bagian utara Mojokerto, lebih jelas dapat dilihat pelipatan yang bergelombang dari lapisan batuan sedimen tersier yang penyebarannya menerus hingga

Surabaya, lipatan tersebut membentuk struktur antiklin dan sinklin. Sedangkan bagian selatan ke arah wilayah Kabupaten Pasuruan secara tiba-tiba berubah menjadi daerah perbukitan yang terdiri dari batuan vulkanik muda dan batuan sedimen bersifat lempungan berumur kuartar.



Gambar 4. Peta geologi Kecamatan Porong

Dalam tatanan geologi Jawa Timur, lumpur Porong terdapat di cekungan pengendapan Porong (Porong Sub-Basin) yang terletak diantara sesar-sesar (patahan) yang sebagian masih aktif, merupakan bagian dari Cekungan Sentral (*Central Deep*) yang mempunyai tatanan geologi dan struktur yang kompleks. Data geologi menunjukkan bahwa baik stratigrafi maupun

tektonika Zona Kendeng bagian timur yang berada diantara sub-cekungan Porong, masih berada dalam keadaan berevolusi (proses tektonik masih berlangsung) dibandingkan dengan di bagian tengah dan barat.

Antiklin Gujangan dekat Surabaya dan Pulungan di sebelah selatannya, dipotong oleh sesar transversal, dengan bagian timurnya

yang turun. Sesar tersebut merupakan tanda peralihan antara bagian ujung dari zona Kendeng (yang telah terlipat lemah) yang menjam di Delta Porong dengan Selat Madura yang masih menurun dan diisi oleh sedimen yang belum terlipat. Keadaan tersebut menunjang bahwa proses gerak-gerak tektonik di wilayah cekungan Porong masih berlangsung.

Selama semburan masih terus berlangsung maka proses amblesan masih akan terus berlangsung dan akan meluas. Seperti adonan roti yang ditarik ke bawah di bagian tengahnya maka sekelilingnya akan terjadi retak melingkar dan menjari. Tanda-tanda amblesan antara lain terjadi retakan memanjang pada tanah (adanya kawasan yang tergenang padahal sebelumnya belum pernah tergenang; dan munculnya semburan baru) dan pada bangunan (pintu dan jendela rumah tidak bisa dibuka atau tidak normal dll).

Pendugaan berdasarkan karakteristik kelistrikan bumi dapat digunakan untuk menentukan posisi bidang patahan. Harga resistivitas tanah/batuan pada patahan pada umumnya lebih rendah dari tanah/batuan sekitarnya. Hal ini karena

pada patahan terisi oleh fluida atau mineral yang relatif lebih konduktif dari batuan sekitarnya. Bidang patahan bisa memiliki harga resistivitas yang tinggi melebihi harga resistivitas tanah/batuan yang ada disekitarnya jika pada patahan tersebut tidak terisi (udara). Hal ini dikarenakan udara merupakan isolator sehingga arus listrik sangat sulit untuk melewatinya.

Kondisi di lapangan memperlihatkan bahwa patahan yang terlihat di permukaan semua terisi oleh fluida atau materi lainnya. Oleh sebab itu bidang patahan yang terdeteksi adalah bidang yang memiliki resistivitas rendah yang menerobos atau memotong bidang perlapisan antar batuan.

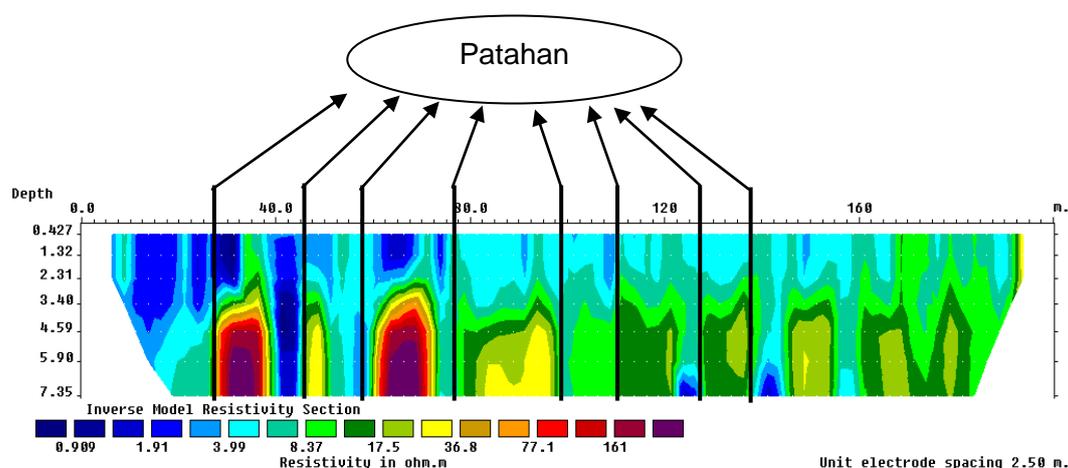
Pengambilan data dengan konfigurasi dipole-dipole dan diolah dengan menggunakan perangkat lunak Res2dinv untuk mendapatkan tampilan 2D kontur resistivitas dari struktur lapisan tanah bawah permukaan. Hasil pengolahan data adalah kontur resistivitas sebenarnya yang diperoleh setelah melalui proses pemodelan inversi (inverse model resistivity section) (Telford, 1976).

Akuisisi data lintasan-1 dilakukan dengan mengambil lintasan

sepanjang 200 meter dengan titik awal berada pada koordinat 112°43'03,2" BT - 07°31'53,6" LS yang membentang dari arah barat – timur di bahu jalan dengan spasi antar elektroda arus ($C_2 - C_1$) dan spasi antar elektroda potensial ($P_1 - P_2$) adalah 5 meter. Sedangkan

variasi jarak antara elektroda arus (C_1) dan elektroda potensial (P_1) berturut-turut 5, 10, 15, 20 dan 25 meter.

Dari hasil pengolahan data lintasan-1 diperoleh penampang harga resistivitas semu dari hasil inversi seperti pada Gambar 5.



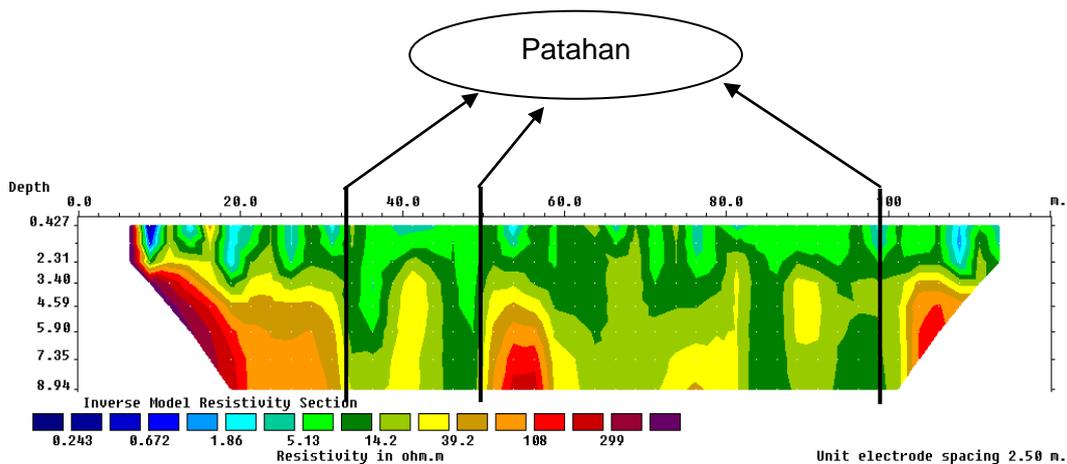
Gambar 5. Pendugaan posisi patahan untuk lintasan 1.

Gambar 5 terlihat beberapa bidang lemah yang ditunjukkan dengan warna biru dan hijau dengan harga resistivitas antara 0,909–8,37 Ω m yang memotong perlapisan antar batuan yang memiliki nilai resistivitas yang lebih tinggi. Bidang-bidang ini diperkirakan merupakan patahan.

Akuisisi data lintasan 2 mengambil lintasan sepanjang 120 meter titik awal pada koordinat 112°43'10,2" BT - 07°31'53,5" LS

yang membentang dari arah selatan –utara di bahu jalan dengan spasi antar elektroda arus ($C_2 - C_1$) dan spasi antar elektroda potensial ($P_1 - P_2$) adalah 5 meter. Sedangkan variasi jarak antara elektroda arus (C_1) dan elektroda potensial (P_1) berturut-turut 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 meter.

Dari hasil pengolahan data diperoleh penampang harga resistivitas semu dari hasil inversi seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Pendugaan posisi patahan untuk lintasan 2.

Gambar 6 terlihat beberapa bidang lemah yang ditunjukkan dengan warna hijau dengan harga resistivitas antara 5,13–14,20 Ω m yang memotong perlapisan antar batuan yang memiliki nilai resistivitas yang lebih tinggi. Bidang-bidang ini diperkirakan merupakan patahan.

Berdasarkan kontur resistivitas lintasan 1 terlihat adanya bidang-bidang lemah dengan harga resistivitas rendah antara 0,909–8,37 Ω m. Bidang ini memotong perlapisan batuan yang ada disekitarnya dengan harga resistivitas yang lebih tinggi. Jadi pada lintasan tersebut telah terjadi dislokasi atau patahan di beberapa titik yaitu pada titik 25; 43; 57; 77; 97,5; 110; 125 dan 136 meter. Karena lokasi lintasan 1 berada tepat di samping tanggul penampungan lumpur Porong, maka hal ini membuktikan

bahwa pada lintasan tersebut banyak terjadi patahan dangkal disebabkan oleh adanya amblesan akibat perubahan porositas di bawah permukaan karena keluarnya massa batuan bawah permukaan.

Lintasan 2 dengan panjang bentangan 120 meter pada koordinat 112°43'10,2" BT dan 07°31'53,5" LS yang membentang ke arah N 5° E dengan variasi jarak antar elektroda berturut-turut 5, 10, 15 dan 20 meter. Hasil pengukuran diperoleh harga resistivitasnya berkisar antara 0,243–299 Ω m seperti pada Gambar 6.

Berdasarkan kontur resistivitas lintasan 2 terlihat beberapa bidang lemah yang ditunjukkan dengan warna kuning dengan harga resistivitas antara 5,13–14,20 Ω m yang memotong perlapisan antar batuan yang memiliki nilai resistivitas

yang lebih tinggi. Jadi pada lintasan tersebut telah terjadi dislokasi atau patahan di beberapa titik yaitu pada titik 33, 50 dan 100 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini kami ucapkan terima kasih kepada Dirjen Dikti yang telah membiayai penelitian dalam Hibah Pekerti 2008.

KESIMPULAN

Penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Bidang patahan untuk lintasan 1 berada pada titik 25; 43; 57; 77; 97,5; 110; 125 dan 136 meter.
2. Bidang patahan untuk lintasan 2 berada pada titik 33; 50 dan 100 meter.
3. Adanya amblesan akibat perubahan porositas di bawah permukaan karena keluarnya massa batuan bawah permukaan di sekitar sumur eksplorasi BJP-1 telah menyebabkan patahan dangkal di Desa Renokenongo.

DAFTAR PUSTAKA

Ben-Zion, Y., Peng, Z., Lewis, M.A. & McGuire, J. 2007. High Resolution Imaging of Fault Zone Structures with Seismic Fault Zone Waves, *Scientific Drilling, Special Issue 1*: 78-79.

Davies, R.J, Brumm, M, Manga, M., Rubiandini, R, Swarbrick, R & Tingay, M. 2008. The East Java Mud Volcano: An Earthquake or Drilling Trigger?, *Earth and Planetary Science Letters* 272: 627-638.

Davies, R.J., Swarbrick, R.E., Evans, R.J. & Huuse, M. 2007. Birth of a mud volcano: East Java, 29 May 2006. *GSA Today* 17: 4-9.

Dimitrov, L.I. 2002. Mud Volcanoes the Most Important Pathway for Degassing Deeply Buried Sediments. *Earth-Science Reviews* 59: 49-76.

Hendrajaya, L. & Arif, I. 1990. Geolistrik Tahanan Jenis, Monografi: Metoda Eksplorasi, Bandung: Laboratorium Fisika Bumi, ITB.

Loke, MH. 1999, *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies*.

Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G.G., Aloisi, G., Planke, S. & Malthesorensen, A. 2007. Triggering and Dynamic Evolution of LUSI Mud Volcano, Indonesia, *Earth Planet, Sci.Lett.* 266: 375-388.

Sardjono, S.P. 2007. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya: Analisis Data Gaya Berat dan VLF untuk Penentuan Bidang Patahan Penyebab Semburan Lumpur di Sumur Eksplorasi BJP-1 Porong*. Surabaya: ITS.

Telford, W.M. 1976. *Applied Geophysics*. London: Cambridge University Press.

Utama, W., Brigita, D.L. & Muntaha, M. 2007. Analisa Pengaruh Infiltrasi Air Hujan terhadap Sifat Fisik Lumpur Porong

Sidoarjo Berdasarkan Karakteristik Kelistrikan. Seminar Nasional Teknik Sipil III 2007. FTSP ITS. Surabaya

Ward, Stanley H. 1992, Geotechnical and Environmental Geophysics. Oklahoma: Society of Exploration Geophysicists.