

Identifikasi Pola Persebaran Sumber Lumpur Bawah Tanah Pada *Mud Volcano* Gunung Anyar Rungkut Surabaya Menggunakan Metode Geolistrik

Kurnia Amelinda S, Bagus Jaya Santosa

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: bjs@physics.its.ac.id

Abstrak— Telah dilakukan penelitian tentang persebaran sumber lumpur bawah tanah *mud volcano* Gunung Anyar Rungkut Surabaya dengan metode geolistrik konfigurasi Wenner. Ada enam lintasan yang digunakan pada penelitian ini, yakni tiga membentang dari arah barat ke timur, dan yang lainnya dari arah utara ke selatan. Hasil nilai resistivitas tanah diolah dengan menggunakan perangkat lunak Res2DInv yang kemudian menghasilkan penampang yang memiliki perbedaan warna. Setiap warna memiliki nilai resistivitas sesungguhnya dari lapangan. Lumpur memiliki nilai resistivitas yang rendah, karena lumpur bersifat konduktif. Dari interpretasi yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa arah dari persebaran sumber lumpur adalah daerah daerah mata angin.

Kata Kunci - Resistivitas, geolistrik, konfigurasi Wenner

I. PENDAHULUAN

Gunung lumpur (*Mud volcano*) dihasilkan oleh adanya aliran fluida secara vertikal dan semburan lumpur, umumnya terjadi pada cekungan-cekungan sedimentasi di seluruh dunia. *Mud volcano* terbentuk karena natural gas yang naik ke permukaan ketika menemukan kondukt (sesar mendatar yang tegak) dan membawa lumpur (*mud*) yang punya densitas lebih ringan dari sedimen di sekitarnya. Lumpur, gas, batuan, belerang dan garam (di wilayah kering) serta air akan diletuskan di permukaan membentuk kerucut seperti gunung. Proses sedimentasinya dalam skala yang lebih kecil tetapi dalam gerakan yang lebih cepat, jadi dipicu oleh adanya paket sedimen berdensitas rendah dikelilingi paket sedimen berdensitas lebih tinggi. Gerakan tektonik berpengaruh, juga pada sedimen yang diendapkan. Wilayah sesar mendatar aktif merupakan lahan subur *mud volcano*. Komposisi dari *mud* terdiri dari berbagai fase yakni, padat, plastis, cair, dan gas. Bahan-bahan yang dibawa yakni berupa batu-batu, lumpur, belerang, garam, dan gas dari dalam membentuk kolom vertikal. Keberadaan *mud volcano* (gunung lumpur) berhubungan dengan minyak dan gas bumi, struktur patahan, potensi bencana, kealamian, dan pemandangan yang menarik. Di Pulau Jawa terdapat 14 *mud volcano*, dan 12 diantaranya terdapat di Jawa Timur dengan lima titik tersebar di sekitar patahan Watu Kosek. *Mud volcano* yang berada di patahan Watu Kosek adalah Lumpur Sidoarjo, Porong, Pulungan, Kalang Anyar, Gunung Anyar, dan Socah. Dari lima titik *mud volcano* yang terdapat di patahan Watu Kosek, yang berpotensi bencana adalah Lumpur Sidoarjo dan *mud volcano* Gunung Anyar Surabaya. *Mud volcano* tersebut dikatakan memiliki potensi bencana karena terletak pada pemukiman padat penduduk. Untuk mengetahui kemungkinan potensi bencananya, diperlukan

karakterisasi patahan Watu Kosek dan *mud volcano* Gunung Anyar Surabaya [1].

Beberapa ahli sains percaya bahwa gunung lumpur adalah bencana yang tidak natural tetapi akibat dari pengeboran, Namun, beberapa ahli geologi percaya bahwa gunung lumpur merupakan peristiwa yang natural yang disebabkan oleh adanya gempa, dimana gempa tersebut terjadi sebelum erupsi. Selain masih menjadi perdebatan asal mula terbentuknya gunung lumpur, tapi gunung lumpur ini memiliki dampak sosial dan lingkungan. Produksi lumpur yang tidak mungkin berhenti dapat terjadi peninggian dataran, sehingga dapat membentuk gunung. Selanjutnya jika gunung lumpur berproduksi berlebih maka dapat berpotensi bahaya karena dapat menenggelamkan pemukiman yang ada di sekitar gunung lumpur [2].

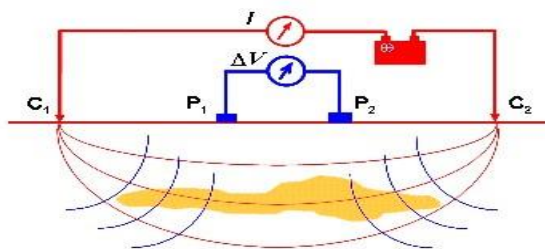
Berdasarkan penelitian Syamsuddin dkk (2012) salah satu metode geofisika yang cukup baik untuk memetakan kondisi bawah permukaan guna mengetahui struktur perlapisan dan sesarnya adalah metode geolistrik tahanan jenis. Hal ini dimungkinkan karena lapisan tanah dan batuan dapat mengalirkan arus listrik sehingga dapat di analisis berdasarkan sifat kelistrikannya [3].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi bawah permukaan dari *mud volcano* Gunung Anyar Rungkut, Surabaya, dimana dengan mengetahui informasi bawah permukaan maka dapat dilakukan pemetaan pola penyebaran sumber lumpur bawah tanah *mud volcano* tersebut. Batasan ruang lingkup penelitian ini guna untuk mempermudah analisa, yakni proses pengambilan data dilakukan di Gunung Anyar Kota Surabaya dan lintasan yang diambil adalah sebanyak 6 *line* dengan panjang lintasan maksimal 90 meter. Metode yang digunakan adalah metode geolistrik konfigurasi Wenner dengan spasi 3 meter lalu bertambah 3 meter setiap selanjutnya dan pengolahan data menggunakan perangkat lunak Res2DInv.

A. Metode Geolistrik

Salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi adalah geolistrik. Pendeteksian di atas permukaan meliputi pengukuran medan potensial, arus, dan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi. Metode geolistrik tahanan jenis ini cukup baik untuk memetakan kondisi bawah permukaan guna mengetahui struktur perlapisan dan sesarnya. Hal ini dimungkinkan karena lapisan tanah dan batuan dapat mengalirkan arus listrik sehingga dapat dianalisis berdasarkan sifat kelistrikannya [3].

Cara kerja metode geolistrik secara sederhana dapat dianalogikan dengan rangkaian listrik. Jika arus dari suatu sumber dialirkan ke suatu beban listrik maka besarnya resistansi (Ω) dapat diperkirakan berdasarkan besarnya potensial sumber dan besarnya arus yang mengalir. Dalam hal ini besaran resistansi tidak dapat digunakan untuk memperkirakan jenis material di dalam tanah karena pengukuran dilakukan di permukaan bumi. Maka dari itu digunakan besaran resistivitas yang merupakan resistansi yang telah dinormalisasi terhadap geometri. Pada prakteknya pengukuran geolistrik dilakukan dengan mengalirkan arus ke dalam tanah melalui dua elektroda (C_1 dan C_2) dan responnya diukur melalui dua elektroda yang lain (P_1 dan P_2).

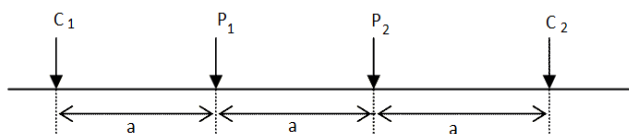


Gambar. 1. Rangkaian pengambilan data metode Geolistrik.

Berdasarkan besaran resistivitas, dapat diketahui apa saja yang ada di bawah permukaan. Besaran-besaran resistivitas setiap material berbeda-beda satu sama lain, mulai dari material yang memiliki resistivitas rendah hingga resistivitas tinggi [3].

B. Konfigurasi Wenner

Konfigurasi Wenner merupakan konfigurasi dengan susunan jarak antar elektroda sama panjang. Dalam hal ini elektroda-elektroda, baik arus maupun potensial diletakkan secara simetris terhadap titik *sounding*. Jarak antar elektroda arus tiga kali jarak antar elektroda potensial. Jadi jika jarak masing-masing potensial terhadap titik *sounding* adalah $a/2$ maka jarak masing-masing elektroda arus terhadap titik *sounding* adalah $3a/2$.



Gambar. 2. Penempatan elektroda konfigurasi Wenner.

Karena potensial adalah besaran skalar, maka potensial di sembarang titik oleh elektroda arus ganda akan merupakan jumlah potensial oleh dua elektroda arus tunggal. Oleh karena itu, potensial di titik P_1 oleh arus yang dialirkan ke elektroda C_1 dan C_2 adalah

$$V_{P_1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) \tag{1}$$

potensial di titik P_2 adalah

$$V_{P_2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right) \tag{2}$$

dengan demikian beda potensial antara titik P_1 dan P_2 adalah

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_{P_1} - V_{P_2} \\ &= \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right) \right] \\ &= \frac{I\rho}{\pi a} \end{aligned} \tag{3}$$

diperoleh resistivitas

$$\rho = 2\pi a \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \tag{4}$$

Persamaan resistivitas untuk metode Wenner memberikan hubungan antara jarak (a) dengan resistansi ($\Delta V/I$). Faktor yang menghubungkannya memiliki harga yang bergantung pada konfigurasi atau geometri dari elektroda-elektroda arus dan tegangan. Oleh karena itu faktor tersebut disebut faktor geometri (k).

$$\rho = k \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \tag{5}$$

dengan begitu faktor geometri untuk konfigurasi Wenner adalah

$$k = 2\pi a \tag{6}$$

Persamaan di atas diturunkan berdasarkan hukum Ohm pada medium homogen setengah tak berhingga yang secara fisis tidak ada asumsi lain yang berlaku. Dengan demikian pengukuran dengan konfigurasi elektron apapun (pada medium setengah tak hingga) harus memiliki harga resistivitas yang sama, yaitu resistivitas semu (*apparent resistivity*).

C. Software Res2DInv

Res2DInv adalah program komputer yang secara otomatis menentukan model resistivitas 2 dimensi untuk bawah permukaan dari data hasil survei geolistrik. Pengerjaan dalam *inverse modeling* pada perangkat lunak Res2DInv ini pada umumnya hanya dua, yaitu *inverse* secara otomatis dan menghilangkan efek yang jauh dari datum (titik-titik hasil pengukuran yang tidak sesuai [4]).

Pengolahan data resistivitas dapat dilakukan dengan menggunakan komputer dan *software Res2DInv*. *Software Res2DInv* menggunakan algoritma *Least Square* saat proses inversi dilakukan. Algoritma *Least Square* dalam perangkat lunak Res2DInv terdiri atas dua macam algoritma yaitu:

1. *Standard Smoothness-Constrain Least Square Inversion*, digunakan untuk zona dengan batas antar material cenderung gradual atau tidak memiliki kontak yang tajam.
2. *Robust Constrain Least Square Inversion*, digunakan untuk zona dengan batas kontak antar material yang tajam misalnya zona patahan atau kontak batuan intrusif lapisan mineral logam [5].

II. METODE

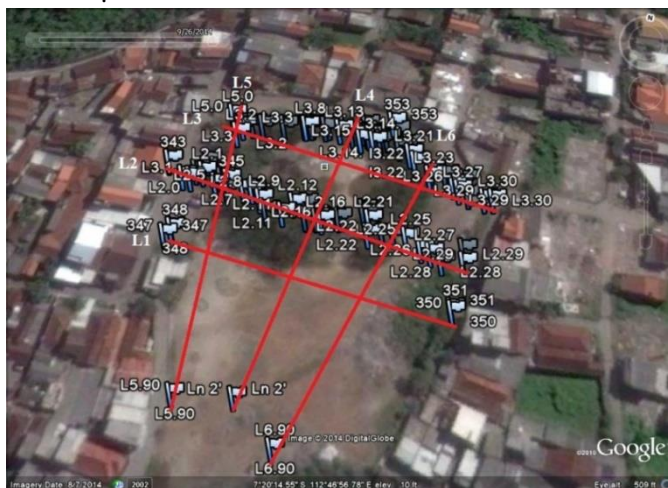
A. Alat dan Bahan

Peralatan untuk melakukan akuisisi data tugas akhir ini adalah satu set alat geolistrik, 9 batang paku elektroda, 4 buah kabel dengan warna yang berbeda, 2 buah meteran dengan panjang 100 meter, GPS, 3 buah *handy talky*, data *sheet*, alat tulis, payung.

B. Pengambilan Data

Lokasi pengambilan data berada di Gunung Anyar Rungkut Surabaya. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner. Pengambilan data dilakukan dengan metode geolistrik konfigurasi Wenner. Pada tiap lintasan digunakan spasi awal yang sama yaitu 3 meter. Selanjutnya spasi akan ditambahkan 3 meter hingga $n = 8$. Lintasan 1 dimulai dari 0 meter hingga 81 meter, sedangkan untuk lintasan 2 sampai lintasan 6 dimulai dari 0 meter hingga 90 meter.

Gambar. 4. Diagram alir pengolahan data



Gambar. 3. Lintasan pengambilan data.

C. Alir Pengolahan Data

Setelah dilakukan akuisisi data di 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 membuat kontur dengan menghubungkan tiap-tiap nilai resistivitas semu tersebut.

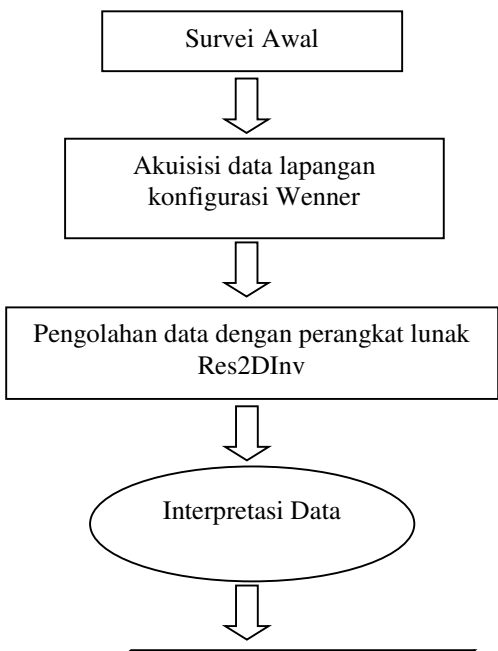
Dalam tahap pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Res2DInv. Perangkat lunak ini mengolah data yang didapatkan dari akuisisi data lapangan. Permodelan 2D dilakukan dengan menggunakan program *inverse*. Program *inverse* ini menggambarkan dan membagi keadaan bawah permukaan dalam bentuk desain penampang 2D. Program inversi ini juga menentukan harga resistivitas semu terukur dan terhitung. Metode inversi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuadrat terkecil (*least square*).

II. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pengambilan data menggunakan alat geolistrik dengan konfigurasi Wenner untuk memperoleh nilai resistivitas batuan. Data-data dari alat geolistrik tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Res2DInv untuk mendapatkan tampilan 2 dimensi penampang resistivitas dari struktur lapisan tanah bawah permukaan. Tampilan 2 dimensi yang dihasilkan dari perangkat lunak Res2DInv tersebut terdiri dari tiga penampang resistivitas pada penampang kedalaman semu (*pseudodepth section*). Penampang yang pertama menunjukkan kontur resistivitas semu pengukuran (*measured apparent resistivity*), yaitu data yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan (akuisisi data), penampang yang kedua menunjukkan kontur resistivitas semu dari hasil perhitungan (*calculated apparent resistivity*), dan penampang yang ketiga adalah kontur resistivitas sebenarnya yang diperoleh dari proses pemodelan inversi (*inverse model resistivity section*) [6].

A. Resistivitas Sampel Lumpur

Pengukuran sampel lumpur telah dilakukan untuk mendapatkan nilai resistivitas lumpur yang sebenarnya pada daerah pengukuran, yang kemudian dari nilai resistivitas pengukuran sampel lumpur ini dijadikan dasar dalam menginterpretasi anomali untuk menentukan daerah patahan yang menyebabkan terjadinya semburan lumpur.



Gambar. 5. Pengambilan sampel lumpur menggunakan peralatan geolistrik dengan konfigurasi Wenner

Pada gambar diatas, sampel lumpur diukur dengan peralatan geolistrik, jarak spasi 4 cm dan arus yang digunakan 0,5, 1, dan 2mA, data hasil pengukuran sampel adalah seperti yang ditunjukkan oleh tabel 1 di bawah ini:

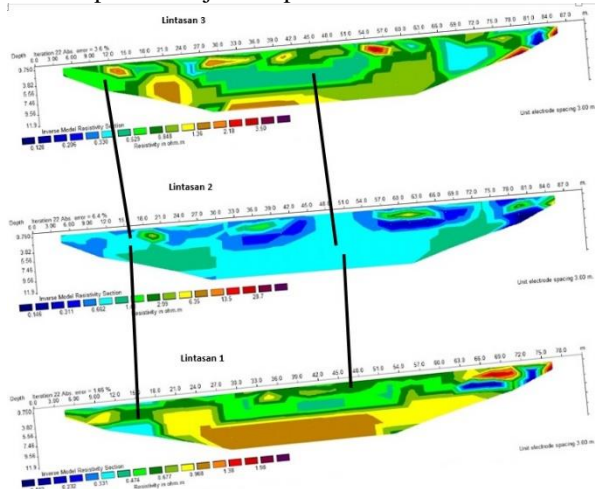
Tabel 1 Hasil pengukuran resistivitas lumpur

Sampel	Arus (mA)	ρ (Ω m)	ρ Rerata(Ω m)
	0,5	0,585	
lumpur	1	0,585	0,583
	2	0,581	

Dari data yang terlihat pada Tabel 1, terlihat bahwa nilai resistivitas sampel yakni sebesar 0,583 ohm meter. Nilai resistivitas yang kecil mengindikasikan bahwa lumpur mempunyai sifat konduktif yang relatif tinggi.

B. Interpretasi Lintasan 1, 2 dan 3

Gambaran pendugaan pola penyebaran sumber lumpur bawah permukaan tanah dari hasil pengolahan data menggunakan software Res2DInv untuk lintasan 1, 2, dan 3 adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 6 di bawah ini:



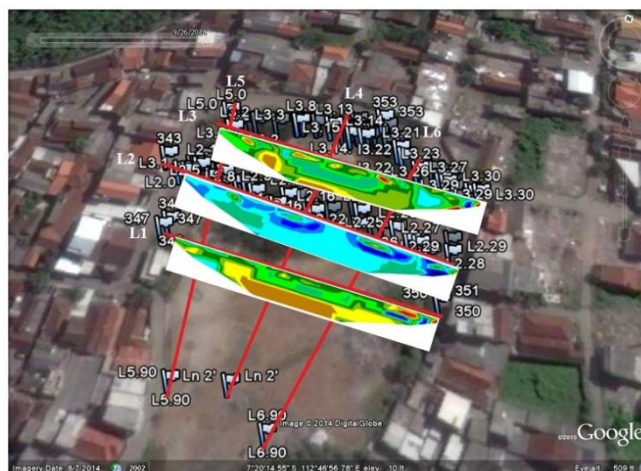
Gambar. 6. Hasil korelasi kontur lintasan 1, 2, dan 3 dari proses inversi

Besar resistivitas pada peta hasil pengolahan dapat dilihat pada skala warna di bawahnya. Tanda garis pada Gambar 6 di atas merupakan interpretasi warna gambar dengan nilai resistivitas. Pada lintasan pertama warna hijau tua diprediksikan menunjukkan nilai resistivitas dari lumpur, untuk lintasan kedua warna biru muda diprediksikan merupakan lumpur, sedangkan pada lintasan ketiga prediksi lumpur ditunjukkan dengan warna hijau muda dan hijau tua. Prediksi keberadaan lumpur ini didasarkan pada nilai hasil pengukuran sample lumpur di laboratorium, bahwa nilai resistivitas lumpur sebesar $\pm 0,583$ ohm meter.

Letak anomali diidentifikasi pada kedalaman mulai dari ± 4 meter, sedangkan bentuk anomali pada lintasan 1 adalah seperti suatu lapisan yang arahnya adalah dari barat ke timur, untuk lintasan 2, bentuk anomali sama dengan lintasan 1 yakni membentuk suatu lapisan. Untuk lintasan 3, anomali berbentuk spot atau gumpalan, gumpalan ini terletak berjajar dari arah barat ke timur, sama dengan arah persebaran lintasan sebelumnya. Lintasan 3 menunjukkan bahwa daerah ini mempunyai distribusi material lumpur yang lebih sedikit dengan kedalaman yang lebih dangkal, ini mengindikasikan bahwa pada sekitar daerah ini distribusi material lumpur sudah tidak menerus ke arah utara, sehingga bisa digunakan untuk daerah pemukiman warga.

Pada Gambar 7, lintasan 2 terlihat bahwa distribusi lumpur semakin banyak dan dalam, ini juga terlihat pada lintasan 1 sehingga dari korelasi ketiga gambar di atas dapat disimpulkan bahwa arah distribusi material lumpur menuju ke arah timur menyimpang ke selatan. Terlihat bahwa area

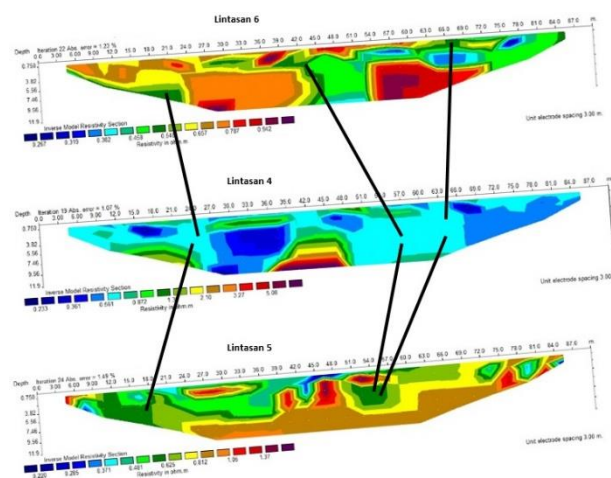
interpretasi dari lumpur yang digunakan sebagai tempat pemukiman penduduk adalah pada daerah lintasan ujung timur, yang berjarak ± 87 meter dari titik nol.



Gambar. 7. Kontur permodelan inversi 2D & peta lintasan 1, 2, dan 3

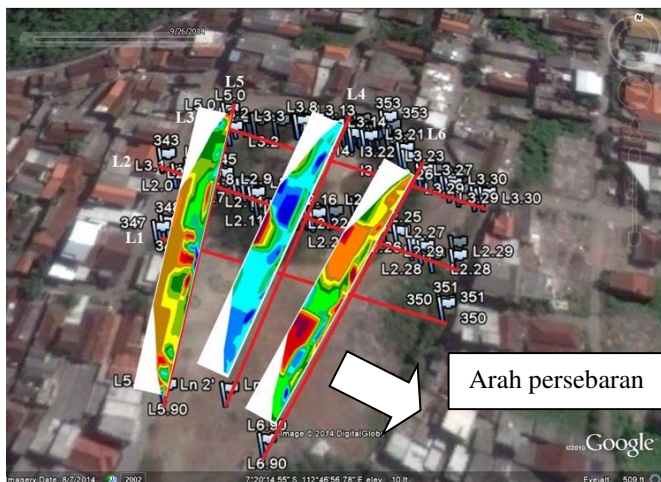
C. Interpretasi Lintasan 4, 5 dan 6

Gambaran pendugaan pola penyebaran sumber lumpur bawah permukaan tanah dari hasil pengolahan data menggunakan software Res2DInv untuk lintasan 4, 5, dan 6 adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 4.11 di bawah ini:



Gambar. 8. Hasil korelasi kontur lintasan 4, 5, dan 6 dari proses inversi

Garis hitam pada hasil pengolahan data ini diduga material lumpur yang diidentifikasi oleh penulis. Hasil pemodelan inversi ini menampilkan anomali resistivitas rendah pada lintasan 5 dan 6 yang ditunjukkan dengan warna hijau tua. Pada lintasan 4 distribusi terlihat lebih merata pada sepanjang lintasan. Hasil korelasi letak anomali ini membentuk spot yang jika dihubungkan antar lintasan diperoleh gambaran dan arah distribusi material lumpur seperti pada Gambar 8. Terlihat bahwa arah kontur yang berbentuk spot atau gumpalan yang besar mengarah dari arah barat ke timur seperti yang ditunjukkan Gambar 8.



Gambar. 9. Kontur permodelan inversi 2D & peta lintasan 4, 5, dan 6

Pada Gambar 9 di atas, terlihat distribusi lumpur yang ditunjukkan oleh warna biru dan hijau semakin besar menuju arah timur selatan dan semakin mengecil pada arah barat. Pertimbangan pada peta wilayah pada Gambar 9, daerah tersebut memang sudah tidak digunakan untuk tempat tinggal, karena potensi dari persebaran lumpur adalah besar. Besar kedalaman lumpur pada daerah ini belum sepenuhnya terdeteksi, karena interpretasi dari gambar menunjukkan warna yang menunjukkan prediksi lumpur cenderung masih menuju ke kedalaman tertentu. Hal ini menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya, supaya mendapatkan distribusi persebaran lumpur yang lebih luas.

III. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan data interpretasi pada bab sebelumnya, maka dibuatlah skema persebaran sumber lumpur seperti pada Gambar 7 dan 9 dan dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini:

1. Berdasarkan nilai resistansi dari pengolahan data, dapat diidentifikasi bahwa arah persebaran lumpur semakin meluas yakni menuju ke arah tenggara.
2. Berdasarkan pada hasil analisa arah interpretasi persebaran lumpur, daerah yang harus diwaspadai terjadi bencana lumpur adalah arah tenggara dari pusat semburan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr.rer.nat Bagus Jaya Santosa, SU atas bimbingannya dan teman-teman penulis atas bantuan dan dukungannya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Badan Lingkungan Hidup Surabaya. 2012, *Profil Keanekaragaman Hayati Kota Surabaya*, Surabaya.

[2] Krisnayanti, B.D, Agustawijaya, D.S. 2014. Characteristics of Lusi mud volcano and its impacts on the Porong River.

[3] Syamsudin, Lantu, Massinai, M.A., Akbar, S. 2012, Identifikasi Sesar Bawah Permukaan dengan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner di Sekitar Da Jene'berang, Kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan

[4] Loke, M.H. 1999. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies: A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*. Malaysia: Penang.

[5] Geotomo Software. 2007. *Rapid 2-D Resistivity & IP Inversion Using The Least-Squares Method*. Malaysia : Penang

[6] Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E., 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press.