

**ANALISIS PESEBARAN AIR LINDI DAN KAREKTERISASI BAWAH  
PERMUKAAN AREA ALIH FUNGSI LAHAN TEMPAT PEMBUANGAN  
AKHIR (TPA) SUKOLILO- SURABAYA SEBAGAI PERTIMBANGAN  
PEMBANGUNAN**

**Lestari, PR.<sup>1)</sup>, Harjo, TAB<sup>2)</sup>, Gazali, I<sup>3)</sup>, Bahri, AS<sup>4)</sup>**

<sup>1234</sup>*Jurusan Teknik Geofisika-FTS*

*Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*

*Email: lestariputririda@gmail.com , tricaHYoagung81@gmail.com ,*

*Imamgazali31@gmail.com , syaeful\_b@geofisika.its.ac.id*

**ABSTRAK**

Sejak tahun 2001, tempat pembuangan akhir (TPA) Sukolilo di bagian timur Surabaya, telah mengalami proses alih fungsi/rehabilitasi secara bertahap. Daerah tahap 1 yaitu TPA A telah beralih fungsi menjadi daerah pemukiman. Daerah tahap 2 yaitu TPA B saat ini berupa terminal angkutan umum, balai kelurahan serta Taman Kota Tematik (sakura) yang beberapa areanya masih berupa lahan kosong. Daerah tahap 3 yaitu TPA C saat ini berupa lahan terbuka dan beberapa areanya masih digunakan sebagai tempat pembuangan sampah. Perubahan fungsi lahan TPA Sukolilo saat ini telah mempengaruhi karakteristik bawah permukaannya yang berpengaruh pada persebaran air lindi, sehingga perlu dikaji karakteristik bawah permukaannya. Air Lindi yang merupakan polutan cair hasil pembusukan sampah dapat diketahui penyebarannya melalui lapisan *akuifer* didaerah alih fungsi TPA. Telah dilakukan penelitian geofisika dengan metoda *geolistrik VES* dan geolistrik tahanan jenis (Res-2D) menggunakan konfigurasi *Schlumberger*, untuk menggambarkan litologi bawah permukaan terkini dan informasi pola penyebaran lindi yang didasarkan pada karakteristik kelistrikan bumi di bawah permukaan dari daerah tahap 1, tahap 2, dan tahap 3. Korelasi kedua metode tersebut mempresentasikan kondisi bawah permukaan lahan bekas TPA Sukolilo pasca rehabilitasi serta pola pesebaran lindi didaerah rehabilitasi. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam pembangunan tata ruang wilayah dan sistem pengelolaan sampah sebagai upaya manajemen lahan TPA untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan menuju indonesia emas.

**Kata kunci :** *Air Lindi, Litologi, Resistivitas, VES (Vertical Electric Sounding)*

**ABSTRACT**

*Since 2001, Sukolilo landfill where located in eastern of Surabaya, has undergone over the function / rehabilitation phases. Phase 1 is the TPA A has been converted into residential areas. Phase 2 is the TPA B has been converted into terminal, village hall and the city park of Tematik (Sakura), where some areas are still a vacant land. Phasa 3 is the TPA C which is still in the form of open land and some of the area is still used as a garbage dump. Land conversion at Sukolilo Landfill has affected the subsurface characteristics that influence the spread of leachate, it is necessary to study of characterization of the subsurface. Leachate is the liquid pollutant as the result of*

*garbage decomposition which spreading can be seen through the aquifer layer over the function of the landfill area. Geophysical studies have been conducted with VES (Vertical Electric Sounding) and resistivity (Res-2D) using Schlumberger configuration, to describe the current subsurface lithology and information dissemination patterns leachate which is based on the electrical characteristics of the Earth's subsurface of areas phase 1, phase 2, and phase 3. The correlation of both methods are represented the subsurface condition of the former landfill Sukolilo's current post-rehabilitation and the rehabilitation area leachate's dissemination pattern. The results of this study are used as consideration in the development of spatial and waste management systems as landfill management efforts to reduce the negative environmental impacts towards a better Indonesia.*

**Keywords:** *Leachate, Lithology, Resistivity, VES (Vertical Electric Sounding)*

## PENDAHULUAN

Sampah merupakan polutan umum yang dapat menyebabkan turunya kesehatan, estetika lingkungan dan lainnya. Dalam pengelolaan sampah, dibutuhkan suatu tempat pembuangan akhir. Tempat pembuangan akhir memiliki berbagai permasalahan yang kompleks. Sampah yang berasal dari bahan organik, non organik, limbah cair dan limbah padat di tempat pembuangan terbuka cenderung menghasilkan produk cair yang disebut "air lindi". Lindi mengandung berbagai kontaminan berbahaya dan logam berat. Air lindi berdampak negatif terhadap kualitas tanah dan air permukaan. Terdapat banyak tempat pembuangan sampah yang secara geologis tidak memadai sehingga meningkatkan kerentanan terhadap dampak negatif sampah di sekitarnya.

Surabaya bagian timur, memiliki tempat pembuangan akhir (TPA) Sukolilo. Sejak tahun 2001, telah mengalami proses alih fungsi/rehabilitasi yang dilakukan secara bertahap. Daerah tahap 1 (satu), yaitu TPA telah mengalami alih fungsi menjadi daerah pemukiman. Daerah tahap 2 (dua) yaitu daerah TPA B, saat ini berupa terminal angkutan umum, balai kelurahan, serta Taman Kota Tematik (Sakura). Beberapa

area tahap 2 (dua) masih berupa lahan kosong. Daerah tahap 3 yaitu TPA C berupa lahan terbuka dan beberapa areanya, masih digunakan sebagai tempat pembuangan sampah, salah satu hal yang sering terjadi adalah rembesan lindi akibat dari sampah organik dan anorganik tidak dipisahkan di TPA. Air tanah yang tercemar oleh limbah cair (logam berat atau fluida beracun) dapat membahayakan masyarakat sekitarnya, oleh karena itu diperlukan pemetaan bawah permukaan untuk menentukan penyebaran air lindi.

Untuk mengetahui karakteristik bawah permukaan, dapat dilakukan pengambilan sampel tanah melalui metode pengeboran. Akan tetapi diperlukan biaya yang mahal dengan cakupan area yang sempit. Diperlukan metode yang lebih ekonomis dalam memetakan pencemaran air tanah dengan hasil yang efektif. Salah satunya adalah metode geolistrik. Metode geolistrik adalah metode dalam geofisika yang sering di pakai dalam pendeteksian air bawah permukaan [5]. Metode geolistrik resistivitas dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu metode resistivitas *mapping* dan *sounding* atau *VES - Vertical Electric Sounding*. Pada penelitian ini digunakan konfigurasi

*Schlumberger*, karena memiliki penetrasi kedalaman yang baik.

Pesebaran air lindi dapat dilihat dengan memanfaatkan sifat fisis berupa resistivitas. “Air lindi” dapat mempengaruhi nilai resistivitas karena sifatnya yang konduktif. Pengaplikasian metode geolistrik pada daerah TPA terbukti memberikan hasil yang bagus pada penelitian-penelitian sebelumnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memetakan pola persebaran air lindi dan karakterisasi bawah permukaan area alih fungsi tempat pembuangan akhir (TPA) Sukolilo Surabaya. Hasil yang didapatkan dapat digunakan sebagai kajian dalam manajemen lahan TPA untuk mengurangi dampak negatif terhadap masyarakat di sekitar daerah penelitian.

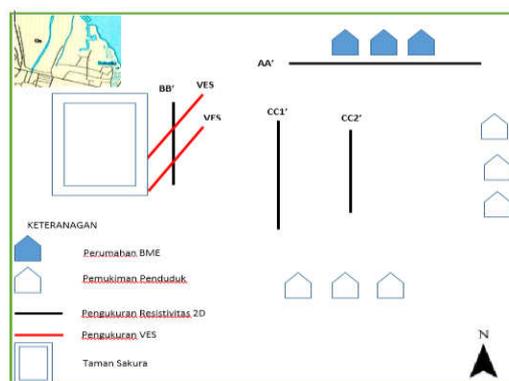
#### METODE PENELITIAN

Pada TPA Sukolilo telah dilakukan kajian pola penyebaran air lindi dengan menggunakan metode geolistrik (*VES-Vertical Electric Sounding* dan *Resistivitas2D*). Penelitian ini diawali dengan survei topografi (Gambar 1). Pengukuran dilakukan di sepanjang daerah TPA A, B, dan C dengan profil AA', BB', CC1', CC2' dan VES. Penelitian ini terbagi ke dalam 4 kegiatan utama yaitu pemetaan daerah pengukuran, pengambilan data, pemrosesan data serta interpretasi data. Pemetaan lokasi dilakukan untuk menentukan panjang lintasan dan titik pengukuran. Seluruh titik pengukuran ditentukan dengan menggunakan *GPS (Global Positioning System)* untuk memperoleh koordinat titik pengukuran. Hasil pemetaan lokasi didapatkan 3 titik pengambilan data VES dan 4 titik pengambilan data Res2D. Pengukuran yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode geolistrik *VES-Res2D* dengan konfigurasi *Schlumberger*. Pada konfigurasi

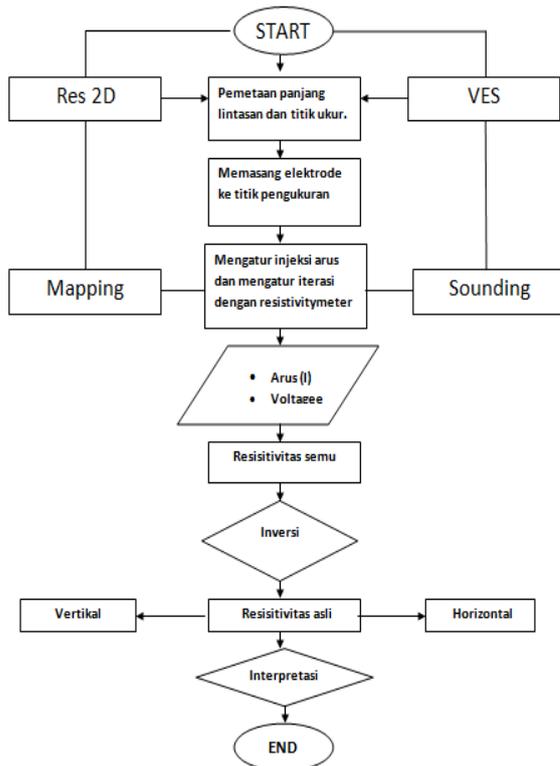
*Schlumberger* spasi antara dua elektroda potensial dibuat sama akan tetapi dua elektroda arus jaraknya diubah-ubah (diperbesar). Desain pengambilan data, dapat dilihat pada gambar 1. Pengukuran dilakukan di 4 lokasi dalam waktu yang berbeda. Adapun tahapan penelitiannya ditunjukkan pada gambar 2. Obyek dari penelitian ini adalah polutan sampah atau air lindi yang berasal dari pembusukan sampah di sekitar TPA Keputih Sukolilo Surabaya. Air lindi yang terdapat di bawah permukaan tanah dapat terdeteksi dari perbedaan nilai resistivitasnya. Keberadaan air lindi juga didukung dengan jenis litologi daerah penelitian.

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- *GPS (Global Positioning System)* 1 set
- *Resistivitymeter* 1 set
- Elektrode besi dan tembaga 17 set
- Kabel roll 4 set



Gambar 1. Desain Penelitian pada TPA Sukolilo



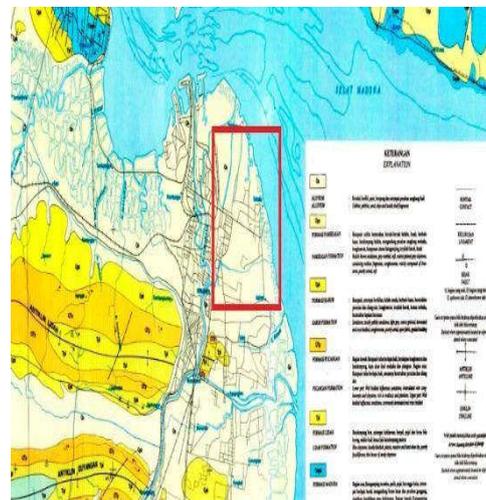
Gambar 2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di area alih fungsi lahan tempat pembuangan akhir (TPA Keputih). Area tersebut terbagi ke dalam 4 tempat yang berbeda. Lokasi pengambilan data disajikan pada gambar 3. Jenis data yang diperlukan adalah data primer dan data sekunder [8]. Data primer diperoleh melalui pengukuran secara langsung di area alih fungsi lahan TPA Keputih Sukolilo. Data sekunder diperoleh dari instansi/lembaga (Pusat Sumber Daya Geologi) berupa peta geologi daerah penelitian. Berdasarkan peta geologi, daerah penelitian termasuk pada satuan aluvium yang memiliki litologi kerikil, kerakal dan lempung [9]. Daerah penelitian berada pada garis merah gambar 4. Data sekunder juga diperoleh melalui studi pustaka nilai resistivitas batuan dan fluida yang terdapat pada (tabel 1) dan (tabel 2).



Gambar 3. Lokasi Penelitian

Air lindi merupakan cairan yang relatif konduktif sehingga memiliki nilai resistivitas yang kecil. Air lindi maupun tanah yang tersaturasi dengan lindi dapat bernilai dibawah 10 ohm.meter.



Gambar 4. Peta Geologi Surabaya (PSDG, 1992)

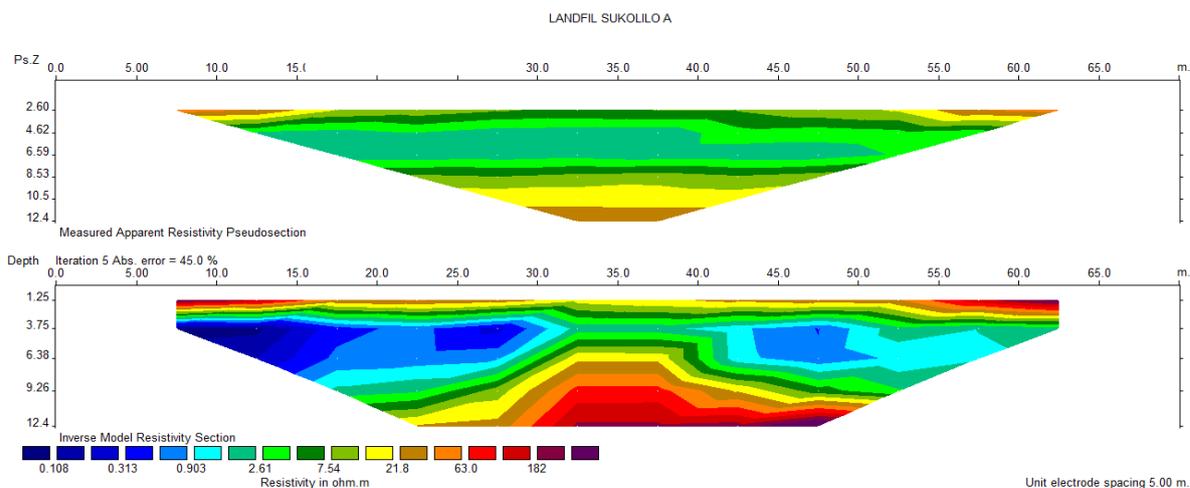
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengolahan data resistivitas2D pada TPA A ditunjukkan oleh gambar 5. Panjang lintasan 70 meter pada TPA A, dihasilkan penampang yang memvisualisasikan bawah permukaan hingga kedalaman 12,4 meter. Pada penampang AA’ di kedalaman 3,75-26 meter didominasi oleh warna biru yang memiliki rentang resistivitas antara 0,21-1,78 ohm meter. Rentang resistivitas tersebut diinterpretasikan sebagai salah satu jenis fluida yaitu air

lindi. Hal tersebut terjadi karena lindi memiliki sifat yang konduktif sehingga resistivitasnya rendah.

Pada TPA B Keputih, Sukolilo dihasilkan 3 (tiga) perlapisan tanah seperti pada gambar 10. Perlapisan tanah pertama berada pada kedalaman 0-3 meter memiliki nilai konduktivitas rendah (nilai resistivitas tinggi) yaitu antara 10-100 ohm meter. Pada perlapisan ke 2 (dua) memiliki nilai konduktivitas yang tinggi sehingga resistivitasnya rendah yaitu 1-10 ohm meter yang terdapat pada ke dalaman 3-14 meter. Berdasarkan tabel nilai resistivitas (tabel 2), maka dapat kita interpretasikan lapisan tanah pada TPA Keputih, Sukolilo. Pada lapisan 1 (satu) merupakan lapisan tanah lapuk yang bercampur dengan sampah organik maupun non organic (lapisan *topsoil*). Pada lapisan ke-2 (dua) merupakan

lapisan akuifer berupa clay. Sistem tanah yang memiliki nilai konduktivitas yang tinggi, umumnya memiliki ruang pori yang terisi oleh fluida. Lapisan ke-3 (tiga) diidentifikasi sebagai lapisan yang terkontaminasi lindi dengan nilai resistivitas yang sangat rendah/bersifat konduktif. Informasi litologi bawah permukaan (perlapisan bawah permukaan) didapatkan dari pengukuran menggunakan metode VES pada semua titik. VES (*Vertical Electric Sounding*). memiliki kemampuan untuk mempresentasikan litologi bawah permukaan melalui parameter yaitu nilai resistivitas yang didapatkan ( $\rho$ ), kedalaman litologi ( $h$ ), serta ketebalan lapisan ( $d$ ). Analisis pengolahan data VES juga dilakukan pada masing-masing titik pengukuran dengan tujuan agar didapatkan korelasi hasil dari masing masing titik pengukuran.

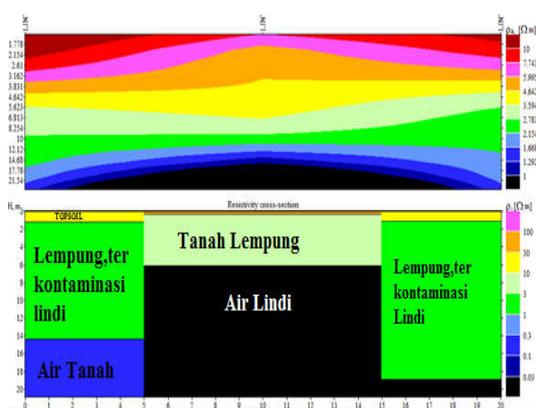


Gambar 5. Penampang Resistivitas 2D AA' pada TPA A Sukolilo

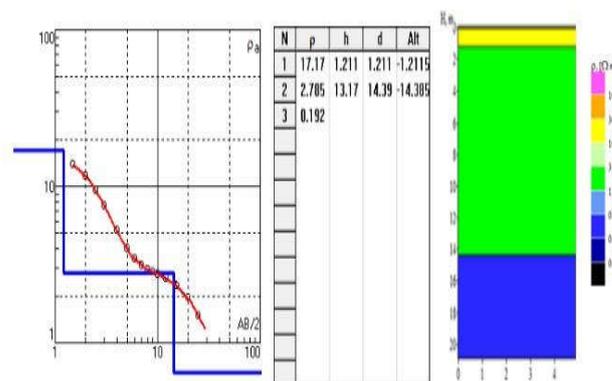
Analisis pengolahan data VES juga dilakukan pada masing-masing titik pengukuran dengan tujuan agar didapatkan korelasi hasil dari masing masing titik pengukuran. Analisis VES per titik didapatkan hasil yang relatif sama. Pada titik pertama yang terdapat pada gambar 7. didapatkan 3 (tiga) litologi berbeda dengan litologi pertama memiliki resistivitas 17,17 ohm meter.

yang terdapat pada kedalaman 1,21 meter. Litologi tersebut diinterpretasikan sebagai topsoil yang terdapat pasir sisipan lempung didal. Hal tersebut didukung dengan letaknya yang dekat dengan permukaan. Litologi yang ke-2 (dua) didapatkan nilai resistivitas 2,78 ohm meter dengan kedalaman 13,17 meter. Litologi ini diinterpretasikan sebagai lempung yang telah

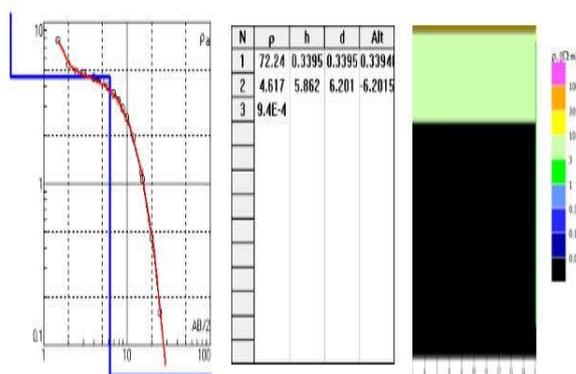
terkontaminasi oleh air lindi, sehingga memiliki resistivitas yang rendah, litologi ke-3 dengan resistivitas 0,3 diinterpretasi sebagai air tanah. Pada titik ke-2 (dua) yang terdapat pada gambar 8, didapatkan 3 litologi. Litologi yang pertama menunjukkan nilai resistivitas yang tinggi yaitu 72,24 ohm meter. Litologi ini diinterpretasi sebagai topsoil. Hal tersebut didukung dengan letaknya yang berada dekat dengan permukaan yaitu pada kedalaman 0,3 meter. Litologi ke-2 memiliki resistivitas 4,6 ohm meter, yang diinterpretasikan sebagai clay. Litologi ke 3 diinterpretasi sebagai air lindi yang memiliki sifat konduktif. Hasil titik sounding ke-3 (tiga) seperti pada gambar 9. Pada lapisan yang pertama diinterpretasikan sebagai topsoil dengan ketebalan dan kedalaman 1.134 meter dan nilai resistivitasnya 14.04 ohm.meter. Litologi dari lapisan ke-2 (dua) diduga berupa lempung yang terkontaminasi oleh air lindi dengan nilai resistivitas 2.268 ohm.meter dan ketebalan lapisan 18.93 meter, pada kedalaman 17.79 meter.



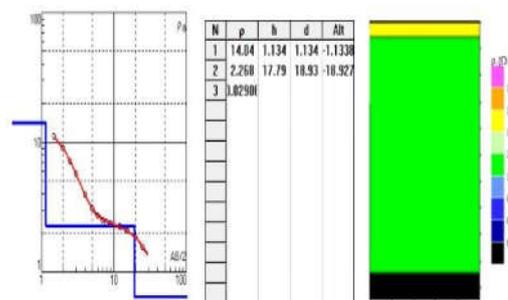
Gambar 6. Hasil Data VES pada Semua Titik



Gambar 7. Hasil Pengolahan Data VES titik ke-1



Gambar 8. Hasil Pengolahan Data VES titik ke-2

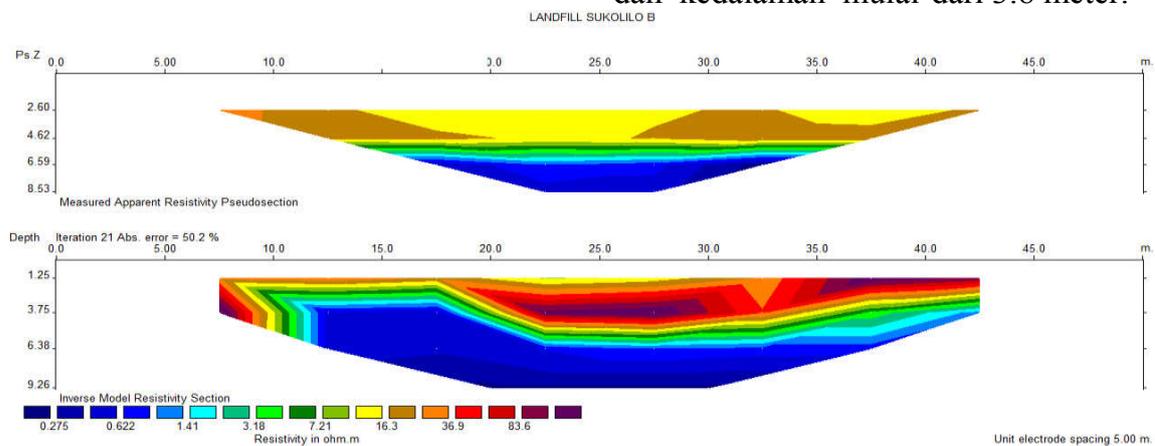


Gambar 9. Hasil Pengolahan Data VES titik ke-3

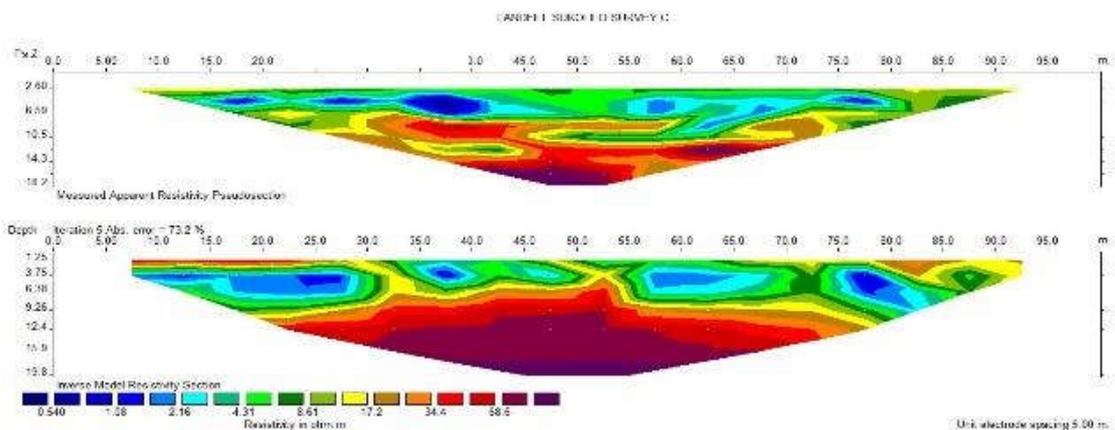
Pada TPA B juga dilakukan pengukuran resistivity2D, dengan panjang lintasan 50 meter ke arah utara-selatan. Sehingga diperoleh hasil resistivity2D penampang TPA B seperti pada gambar 10. Diinterpretasikan bahwa air lindi berada hingga kedalaman 8-10 meter dengan nilai resistivitas 1-5 ohm meter. Air lindi diinterpretasikan dengan warna biru muda hingga biru tua.

Model resistivitas pada TPA C dengan profil CC'1 yang berarah dari utara ke selatan dengan panjang lintasan 100meter Gambar 11, setelah dilakukan inversi menggunakan RES2DINV terdapat tren penurunan nilai resistivitas 3-0.56 ohm.meter. Pada kedalaman 3.75-7 meter. Nilai resistivitas rendah ini dominan di sepanjang meter 10 sampai 90. Penurunan dari nilai resistivitas dalam profil 2D ini diakibatkan karena kontaminasi dari air lindi. Penyebaran air lindi berarah secara horizontal pada kedalaman tersebut.

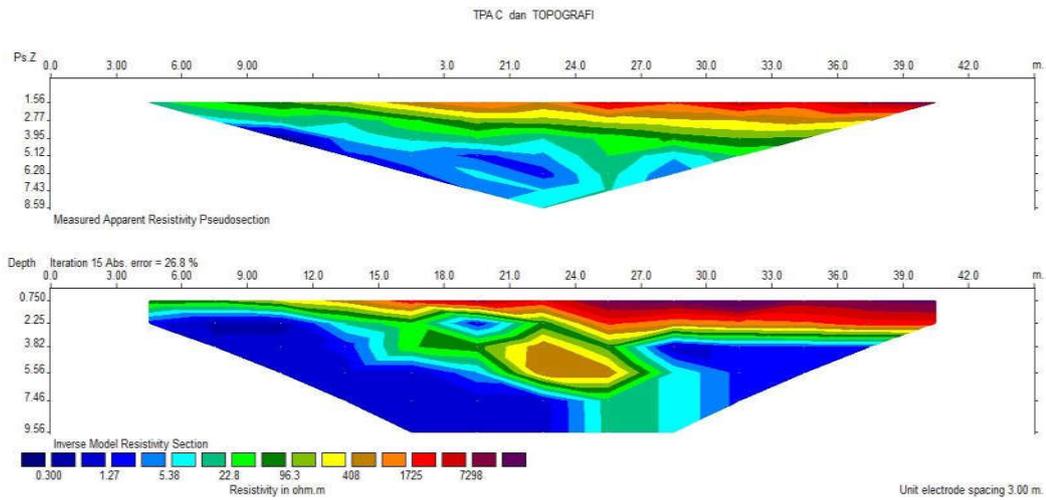
Pada pengukuran CC2' pada TPA C memiliki panjang lintasan 45 meter berarah utara ke selatan dengan spasi elektroda 3 meter. Setelah dilakukan inversi menggunakan least square inversion pada resistivitas yang dihasilkan menggunakan software RES2DINV dihasilkan penampang resistivitas CC2' Gambar 12. Pada penampang tersebut di dapatkan kedalaman sampai 9.56 meter. Penyebaran lindi berarah secara vertikal yang ditemukan pada meter ke-6 (enam) hingga ke-21 dengan rentang nilai resistivitas 0.133-3.08 ohm.meter dan kedalaman mulai dari 3.8 meter.



Gambar 10. Penampang Resistivitas2D BB' pada TPA B Sukolilo

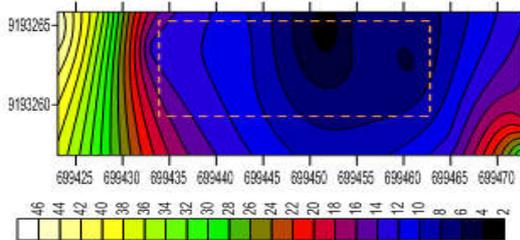


Gambar 11. Penampang Resistivitas2D Line CC1' pada TPA C



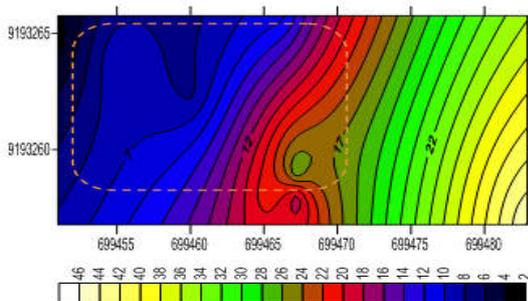
Gambar 12. Penampang Resistivitas2D Line CC2' pada TPA C

Pesebaran lindi pada masing-masing daerah penelitian menunjukkan perbedaan. Pada TPA A pesebaran resistivitas rendah (warna biru) yaitu 0,9-2,7 ohm meter berada dibagian barat, seperti yang ditunjukkan pada gambar 13 penampang kontur TPA A.



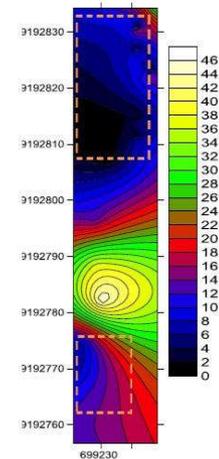
Gambar 13. Penampang kontur TPA A

Pada kontur penampang TPA B gambar 14, pesebaran resistivitas rendah yaitu 0,9-2,7 ohm meter berada di bagian barat dan utara. Bagian barat dekat dengan lokasi terminal angkutan kota dan Taman Tematik. Sementara kontaminasi lindi yang terdapat di bagian utara dekat dengan pemukiman.

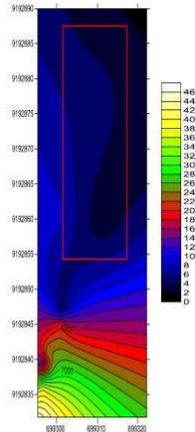


Gambar 14. Penampang Kontur TPA B

Pada TPA C dilakukan pengukuran di 2 (dua) tempat yang berbeda dengan panjang lintasan yang juga berbeda. Pada penampang kontur TPA C1 gambar 15, memperlihatkan kontaminasi air lindi ada di bagian barat dan timur. Distribusi resistivitas yaitu 0,9-3,1 ohm m. Pesebaran resistivitas rendah juga bergerak ke arah timur dengan nilai resistivitas 0,9-2,7 ohm m.



Gambar 15. Peta Kontur TPA C1



Gambar 16. Peta Kontur TPA C2

Pada penampang kontur gambar 16, persebaran resistivitas rendah dominan di bagian barat dengan nilai resistivitas antara 0,2– 8 ohm m. Pada rentang resistivitas ini daerah TPA C2 ini diinterpretasikan sebagai akuifer dangkal yang tercemar oleh lindi.

## KESIMPULAN

Pengukuran persebaran air lindi berdasarkan nilai resistivitas dengan menggunakan metode Resistivity 2D dan *Vertical Electric Sounding* dapat disimpulkan bahwa:

1. Interpretasi peta kontur pada TPA A, pada bagian barat memiliki nilai resistivitas yaitu 0,9-2,7 ohm m. Sedangkan penampang resistivity 2D diduga air lindi berada dibagian barat pada kedalaman 3.75m – 9.2m dengan nilai resistivitas 0,213-1,78 ohm m. Nilai resistivitas tersebut diinterpretasikan sebagai air lindi.
2. Pada TPA B yang telah beralih fungsi menjadi balai kelurahan, terminal angkutan umum dan taman sakura, air lindi diduga pada kedalaman 8-10 m dengan nilai resistivitas 1 ohm m, sedangkan dari analisis peta kontur interpretasi lindi memiliki nilai resistivitas

yaitu 0,9-2,7 ohm m.

3. TPA daerah C1 ditemukan adanya kontaminasi air lindi di sepanjang titik pengukuran 10-90 meter dengan tren penurunan nilai resistivitas(0.56-3 ohm.m) pada kedalaman 3.75 meter samapai 7 meter, sedangkan pada analisis peta kontur lindi memiliki resistivitas 0,9-3,1 ohm m.
4. Pada daerah TPA C2, pada analisis peta kontur, lindi dominan memiliki nilai resistivitas antara 0,2 – 8 ohm m.
5. Litologi daerah penelitian TPA Sukolilo berupa lapisan tanah lapuk yang bercampur dengan sampah organik maupun non organik dan lapisan clay diarea penelitian umumnya menjadi tempat air lindi terkumpul.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atekwa E.A., Sauck., W.A and Werkema, D.D., (2000) *Investigations of Geoelectrical Signatures at a hydrocarbon Contaminated Site. J*, 167-180.
- Bahri, A. (2000). Interpretasi Data Resistivitas di TPA sukolilo. *Journal Purifikasi*.
- Bengston,L (1994). *Water Balance for Landfills of Different age. Journal of Hydrology*, 203-217.
- Grandis, H dan Yudistira, T. 2002. Pencitraan Konduktivitas Bawah Permukaan dan APLikasinya untuk Identifikasi Penyebaran Kontaminan.
- Kelly, W. (1976). *Geoelectrical Sounding for Delineating groundwater contamination. 14*, hal. 1-10.
- Koefoed. (1976). *Resistivity Sounding Measurements. Elsevier Science Publising Company*.

- Porsani L, F. W. (2004). *The use of GPR & VES in delineating a Contamination Plume in a Landfill Site . A case study in SE Brazil. Journal of Applied Geophysics* , 155-199.
- Pusat Sumber Daya Geologi (1992). *Peta Geologi Daerah Surabaya*. Robert, D.S. and David, E.S. (1997). *Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. Current Opinion in Biotechnology*. 1997, 8:221–226.
- Sauck, W. A., 2000: A model for the resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sandy sediments. *J. App. Geophys.*, 44, P. 151 – 165.
- Sunarto. 1992. *Analisa Pengukuran dan Interpretasi Data pada Metode Resistivity Sounding Surabaya . Jurusan Fisika*.
- Suparmanto. (2010). *Kajian Penyebaran Limba Cair ,Bawah Permukaan Berdasarkan Sifat Kelistrikan Batuan di Lokasi Pembuangan Akhir (LPA) Benowo Surabaya*.
- Telford, W.M.. 1990. *Applied Geophysics. London Cambridge University Press*