

APLIKASI METODE GEOLISTRIK SKALA MODEL UNTUK MENENTUKAN NILAI RESISTIVITAS LAPISAN TANAH YANG MENGALAMI PENCEMARAN

Taufika Damayanti*, Supriyadi, Khumaedi

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Semarang (Unnes), Semarang, Indonesia

Diterima: 1 April 2011, Disetujui: 1 Mei 2011, Dipublikasikan: Juli 2011

ABSTRAK

Pemantauan tentang sebaran limbah cair dari industry di lingkungan pemukiman perlu dilakukan. Sulitnya mengamati secara langsung sebaran limbah dalam tanah menjadi persoalan yang harus diselesaikan. Pengukuran menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Schlumberger dengan alat resistivitymeter G-Sound. Pemodelan dibuat menggunakan ukuran panjang 200 cm dan lebar 100 cm kemudian pengukuran dilakukan sebelum penginjeksian dan setelah penginjeksian limbah kuning dan minyak jarak. Pengolahan data menggunakan software Res2Dinv32. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai resistivitas tanah sebelum diinjeksi limbah cair yaitu berkisar antara $47 \Omega\text{m} - 75 \Omega\text{m}$. Resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah minyak jarak dengan massa jenis 0,912, 0,918, dan $0,920 \text{ g/cm}^3$ berturut-turut adalah $47 - 71$, $47 - 63$, dan $47 - 55 \Omega\text{m}$. Sedangkan resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah kuning dengan massa jenis 1,018, 1,019, dan $1,020 \text{ g/cm}^3$ berturut-turut adalah $47 - 75$, $47 - 63$, dan $47 - 51 \Omega\text{m}$. Penginjeksian limbah cair pada lapisan tanah skala model mempengaruhi nilai resistivitas listrik tanah. Hal ini karena limbah yang bersifat konduktif mengisi ruang interfase tanah yang sebelumnya berisi udara.

ABSTRACT

Monitoring of liquid waste distribution is needed to be done. The difficulty of direct observation of waste distribution in the soil becomes a crucial problem should be solved. One of the solutions of that problem is by doing physical modelling to detect the distribution of the waste. The measurement used is geoelectricity method of Schlumberger configuration. The modelling uses length of 200 cm and width of 100 cm. The measurement was performed before and after injection of liquid and solid waste. The instrument used is G-Sound resistivitymeter. Data processing is performed using Res2Dinv32 software. The result shows that the resistivity value of the soil before injection is around $47 \Omega\text{m} - 75 \Omega\text{m}$, while the resistivity of soil after injection with solid waste is $47 - 75$, $47 - 63$, and $47 - 51 \Omega\text{m}$ respectively. Injection of liquid water into soil layer of model scale influences resistivity value of the soil since the conductive waste fulfil the interphase of soil. Based on the analysis, it is concluded that distribution of liquid waste can be detected using geoelectricity method of Schlumberger configuration.

© 2011 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: geoelectricity; physical modelling; liquid waste resistivity

PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan hidup akan muncul diberbagai pelosok bumi sepanjang penduduk bumi tidak segera memikirkan dan mengusahakan keselamatan dan keseimbangan lingkungan. Demikian juga di Indonesia, permasalahan lingkungan hidup yang disebabkan oleh limbah cair menggelembung sejalan dengan intensitas pertumbuhan industri. Pembuangan limbah cair akan menjadi persoalan besar bila air yang dikonsumsi oleh manusia, hewan, dan organisme tercemar oleh limbah yang mengandung senyawa berbahaya. Hal ini karena limbah cair tersebut meresap ke dalam tanah dan menyebar ke daerah pemukiman.

Permukaan lapisan bagian bawah, sulit untuk mengamati secara langsung rembesan limbah dan sejauh mana limbah tersebut akan mengalir sehingga perlu dilakukan studi awal untuk penyelidikan masalah lingkungan yang nantinya akan mudah untuk mencari metode dan cara penanggulangan rembesan limbah cair

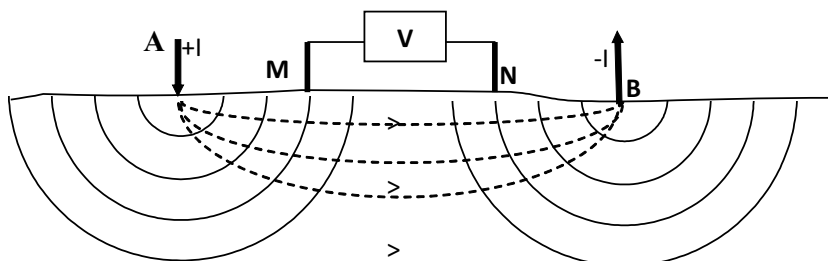
yang akhirnya dapat mengganggu keberadaan air tanah yang dikonsumsi secara langsung oleh masyarakat. Penelitian tentang identifikasi limbah cair pernah dilakukan oleh (Suhendra 2006) dan (Juandi 2003). Penelitian ini meninjau karakteristik limbah cair dari segi resistivitasnya. Berdasarkan penampang geolistrik tahanan jenis terlihat adanya polutan limbah cair yang ditunjukkan dengan nilai tahanan jenis yang rendah ini dikarenakan limbah bersifat konduktif. Hal ini disebabkan oleh zat-zat yang terkandung dalam limbah tersebut. Umumnya limbah mengandung berbagai jenis logam berat yang bersifat konduktif.

Identifikasi pencemaran limbah cair dapat dilakukan dengan metoda geolistrik. Dalam hal ini meliputi pengukuran potensial dan arus listrik yang terjadi, baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus di dalam bumi. Berdasarkan pada harga resistivitas listriknya, suatu struktur bawah permukaan bumi dapat diketahui material penyusunnya, sehingga kita juga dapat memahami tentang struktur lapisan tanah dibawah permukaan bumi yang tercemar oleh limbah cair yang mengandung senyawa organik dari berbagai jenis logam seperti Mg, Zn, Al, Mn, senyawa nitrogen dan sianida (Olivera et al. 2000). Limbah cair mempunyai konduktivitas lebih besar dibandingkan dengan air atau

*Alamat korespondensi:
Jl. Dewi Sartika VII/9 Semarang
Tlp. (024) 8501058

mempunyai resistivitas yang rendah.

Gambar 1. Pola Aliran Arus dan Bidang Ekipotensial Antara Dua Elektroda Arus dengan Polaritas Berlawanan.



Tabel 1. Nilai Resistivitas Material Bumi

Bahan	Resistivitas (Ωm)
Udara (dimuka bumi)	2×10^4 s/d 5×10^5
Pirit	2×10^{-5} s/d 9×10^{-2}
Galena	1×10^{-5} s/d 2.5×10^{-3}
Kwarsa	4×10^{10}
Kalsit	5.5×10^{13}
Batuan garam	10^2 s/d 10^5
Skis	10 s/d 3×10^7
Granit	5×10^3 s/d 5×10^7
Gabro	10^3 s/d 1×10^6
Gneis	2×10^5 s/d 2×10^7
Batu gamping	60 s/d 3×10^3
Batu pasir	1 s/d 10^3
Batu serpih	20 s/d 2×10^3
Lempung dan tanah	1 s/d 10^4
Air distilasi	2×10^5
Air permukaan	30 s/d 3×10^3
Air tanah	0.5 s/d 3×10^2
Air laut	0.21

Dalam penelitian ini, pemodelan fisis dilakukan langsung dilapangan menggunakan skala model. Pada media tersebut kemudian diinjeksikan arus dan diukur arus maupun potensialnya. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan 4 buah elektroda, yakni 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial. Konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi Schlumberger yang diharapkan dapat digunakan sebagai alat untuk mengetahui nilai resistivitas sebaran limbah cair.

Tujuan survai geolistrik tahanan jenis adalah untuk mengetahui resistivitas bawah permukaan bumi dengan melakukan pengukuran di permukaan bumi. Resistivitas bumi berhubungan dengan jenis mineral, kandungan fluida dan derajat saturasi air dalam batuan. Metode yang biasa digunakan pada pengukuran resistivitas secara umum yaitu dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi dengan menggunakan dua elektroda arus (A dan B), dan pengukuran beda potensial dengan menggunakan dua elektroda potensial (M dan N) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.

Beda potensial yang terjadi antara MN yang diakibatkan oleh injeksi arus pada AB:

$$\Delta V = V_M - V_N$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]$$

$$\rho = 2\pi \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I}$$

$$= K \frac{\Delta V}{I}$$

Dengan:

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1}$$

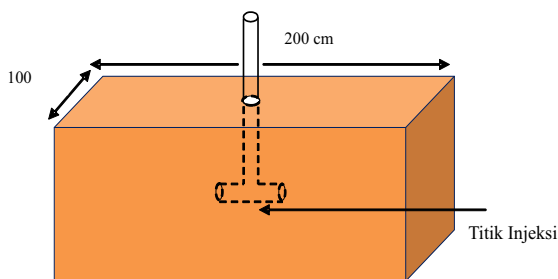
yang merupakan faktor koreksi karena letak atau konfigurasi elektroda potensial dan elektroda arus.

Lebar jarak AB menentukan jangkauan geolistrik ke dalam tanah. Ketika perbandingan jarak antar elektroda arus dengan elektroda potensial terlalu besar, elektroda potensial harus digeser, kalau tidak maka beda potensial yang terukur akan sangat kecil (Alile et al. 2007).

Dari semua sifat fisika batuan dan mineral, resistivitas memperlihatkan variasi harga yang sangat banyak. Dari semua sifat fisika batuan dan mineral, resistivitas memperlihatkan variasi harga yang sangat banyak. Pada mineral-mineral logam, harganya berkisar antara $10^{-8} \Omega\text{m}$ hingga $10^7 \Omega\text{m}$. Begitu juga pada batuan-batuan lain, dengan komposisi yang bermacam-macam akan menghasilkan *range* resistivitas yang bervariasi pula. Sehingga *range* resistivitas maksimum yang mungkin adalah dari $1.6 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ (perak asli) hingga $10^{16} \Omega\text{m}$ (belerang murni). Konduktor biasanya didefinisikan sebagai bahan yang memiliki resistivitas kurang dari $10^{-8} \Omega\text{m}$, sedangkan isolator memiliki resistivitas lebih dari $10^7 \Omega\text{m}$. Dan di antara keduanya adalah bahan semikonduktor. Dan di antara keduanya adalah bahan semikonduktor. Isolator dicirikan oleh ikatan ionik sehingga elektron-elektron valensi tidak bebas bergerak. Kebanyakan mineral membentuk batuan penghantar listrik yang tidak baik walaupun beberapa logam asli dan grafit menghantarkan listrik. Resistivitas yang terukur pada material bumi utamanya ditentukan oleh pergerakan ion-ion bermuatan dalam pori-pori fluida. Air tanah secara umum berisi campuran terlarut yang dapat menambah kemampuannya untuk menghantarkan listrik, meskipun air tanah bukan

konduktor listrik yang baik. Variasi resistivitas material bumi ditunjukkan dalam Tabel 1. Nilai tahanan jenis batuan bergantung dari macam-macam materialnya, densitas, porositas, ukuran, dan bentuk pori-pori batuan, kandungan air, kualitas dan suhu.

Geolistrik metode tahanan jenis adalah metode yang paling sering digunakan dari sekian banyak metode geofisika yang diterapkan dalam eksplorasi sumber daya alam. Metode ini pada prinsipnya bekerja dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui dua elektroda arus sehingga menimbulkan beda potensial. Dan beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial. Metode ini lebih efektif dan cocok digunakan untuk eksplorasi yang sifatnya dangkal, jarang memberikan informasi lapisan di kedalaman lebih dari 300 m sampai 450 m. Metode ini jarang digunakan untuk eksplorasi minyak tetapi lebih banyak digunakan dalam bidang *engineering geology* seperti penentuan kedalaman batuan dasar, pencarian tandon air, dan eksplorasi panas bumi.



Gambar 2. Medium Penelitian

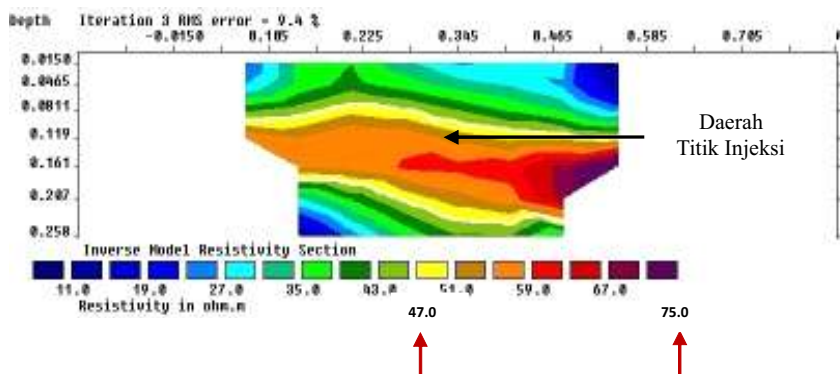
METODE

Dalam penelitian ini, pemodelan fisis dilakukan langsung dilapangan menggunakan skala model dengan ukuran panjang 200 cm dan lebar 100 cm disusun seperti pada Gambar 2. Limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi industri dan rumah tangga dengan metodologi penelitian sebagai berikut:

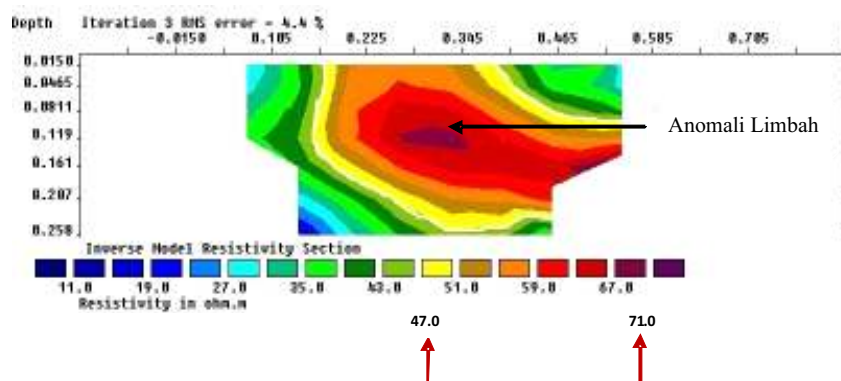
- 1)Menyiapkan model.
- 2)Menyusun rangkaian alat resistivitymeter .
- 3)Mengaktifkan resistivitymeter, kemudian mengalirkan arus listrik ke medium.
- 4) Mencatat arus listrik (I) dan beda potensial (V) antara 2 titik elektroda.
- 5)Menginjeksi medium pengukuran dengan limbah minyak jarak konsentrasi 1.
- 6)Melakukan pengukuran seperti langkah 1 sampai 4 kira-kira 15 menit setelah penginjeksian limbah.
- 7) Mengulangi langkah 5 sampai 6 dengan konsentrasi limbah minyak jarak yang berbeda.
- 8)Melakukan pengukuran seperti langkah 5 sampai 7 dengan menggunakan limbah kuningin.
- 9)Dalam melakukan analisis dan interpretasi data dilakukan dengan komputer menggunakan software Res 2D inv 32.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

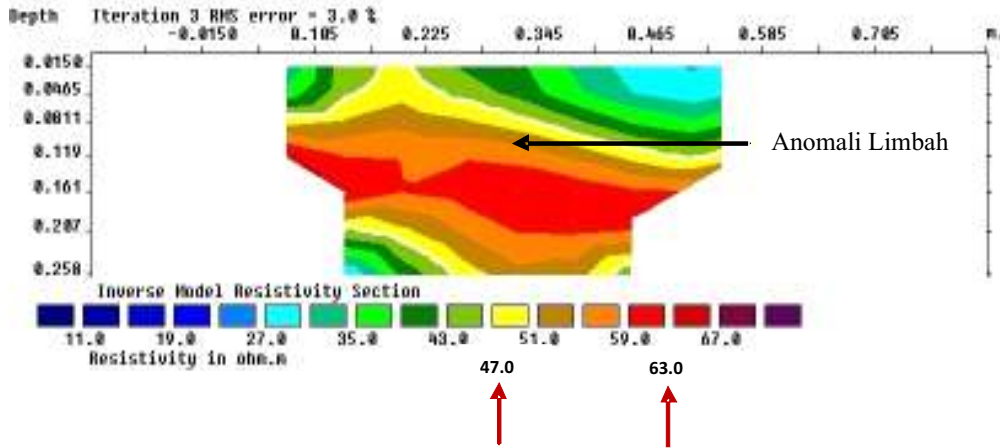
Gambar 3 merupakan model inversi hasil pengolahan data dengan *software Res 2D inv 32* yang memperlihatkan penampang resistivitas *tanah sebelum*



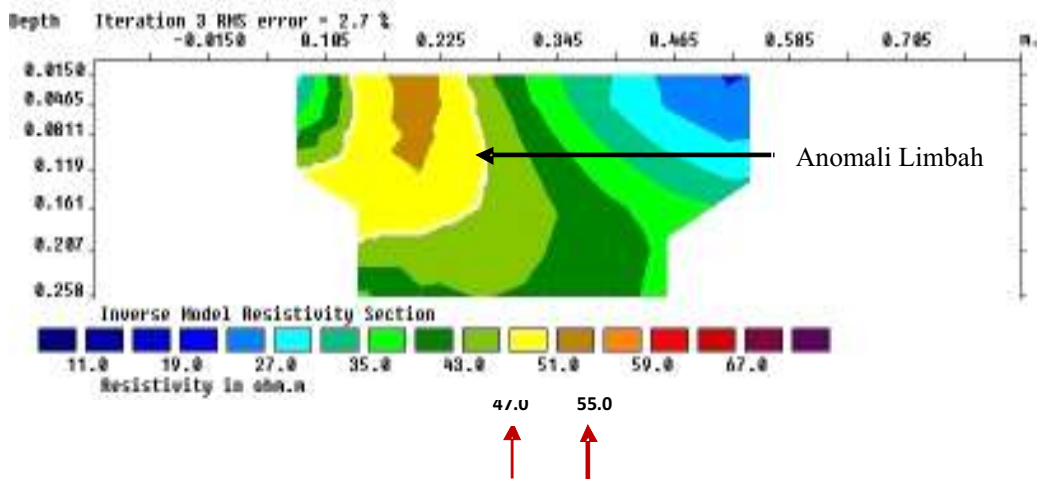
Gambar 3. Penampang Resistivitas Tanah Sebelum Diinjeksi Limbah



Gambar 4. Penampang Resistivitas Tanah Setelah Diinjeksi Limbah Minyak Jarak dengan Massa jenis 0,912 g/cm³.



Gambar 5. Penampang Resistivitas Tanah Setelah Diinjeksi Limbah Minyak Jarak dengan Massa jenis 0,918 g/cm³



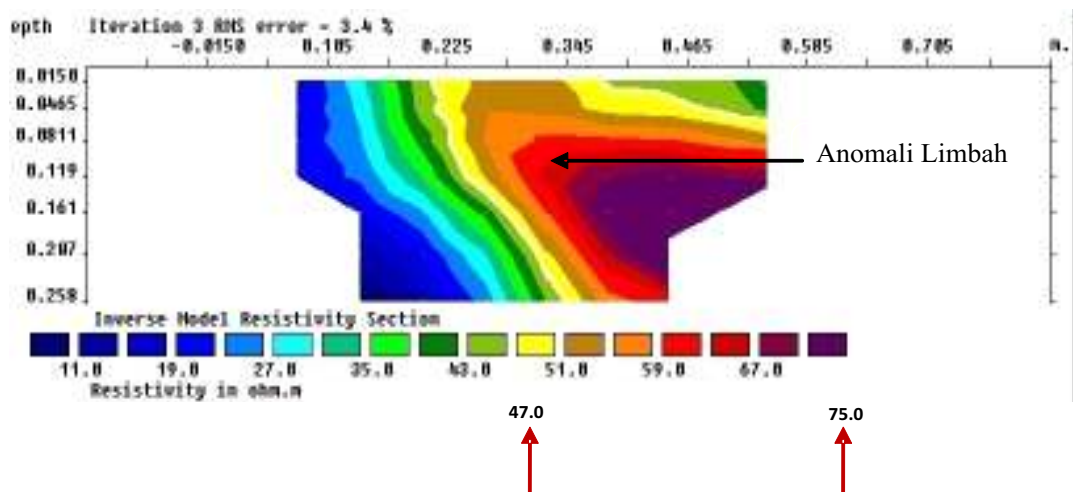
Gambar 6. Penampang Resistivitas Tanah Setelah Diinjeksi Limbah Minyak Jarak dengan Massa jenis 0,920 g/cm³

diinjeksi limbah. Hasil pengukuran resistivitas tanah skala model sebelum diinjeksi limbah menggunakan geolistrik diperoleh harga tanah yaitu sekitar 47 Ωm – 75 Ωm dengan kesalahan iterasi 9,4%.

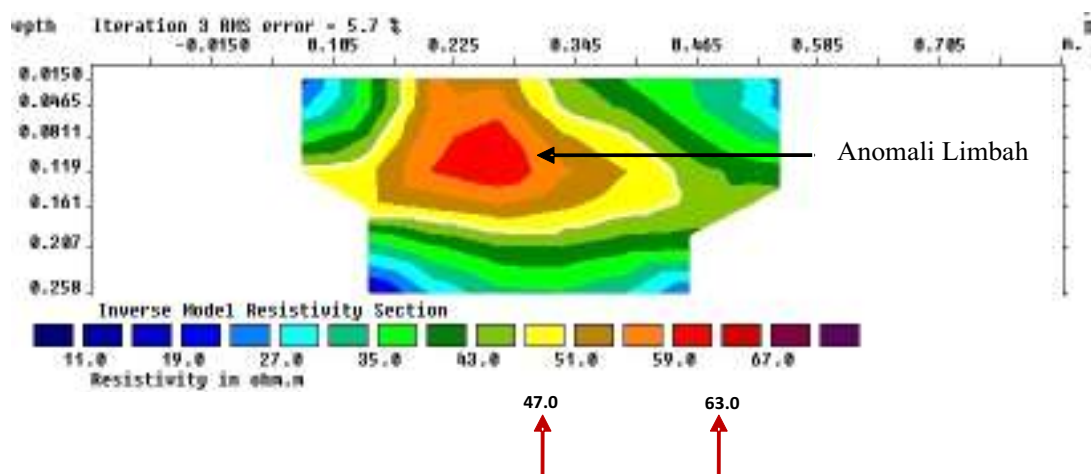
Gambar 4 sampai 6 merupakan model inversi hasil pengolahan data dengan *software Res 2D inv 32* yang memperlihatkan penampang resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah minyak jarak. Gambar 4 menggambarkan penampang resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah tahap pertama dengan massa jenis limbah 0,912 g/cm³ yang menunjukkan nilai resistivitas tanah yaitu sekitar 47 Ωm – 71 Ωm dengan kesalahan iterasi 4,4 %. Gambar 5 menggambarkan penampang resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah tahap ke dua dengan massa jenis limbah 0,918 g/cm³ yang menunjukkan nilai resistivitas tanah yaitu sekitar 47 Ωm – 63 Ωm dengan kesalahan iterasi 3,0 %. Gambar 6 menggambarkan penampang resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah tahap ke tiga dengan massa jenis limbah 0,920 g/cm³ yang menunjukkan nilai resistivitas tanah yaitu sekitar 47 Ωm – 55 Ωm dengan kesalahan iterasi 2,7%. Berdasarkan pembahasan di

atas, nilai resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah minyak jarak dapat dituliskan seperti pada tabel 2.

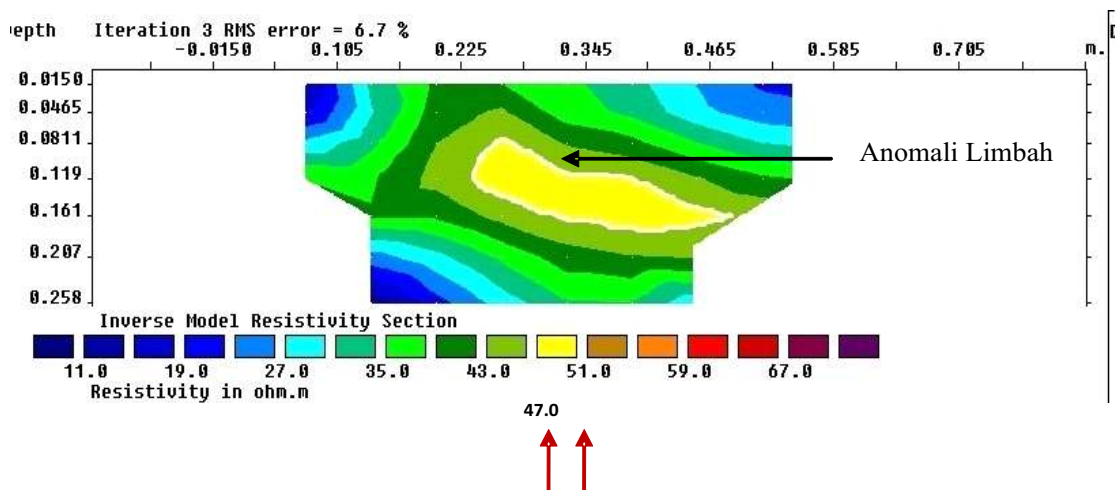
Gambar 7 sampai 9 merupakan model inversi hasil pengolahan data dengan *software Res 2D inv 32* yang memperlihatkan penampang resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah kuningin. Gambar 7 menggambarkan penampang resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah tahap pertama dengan massa jenis limbah 1,018 g/cm³ yang menunjukkan nilai resistivitas tanah yaitu sekitar 47 Ωm – 75 Ωm dengan kesalahan iterasi 3,4 %. Gambar 8 menggambarkan penampang resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah tahap ke dua dengan massa jenis 1,019 g/cm³ yang menunjukkan nilai resistivitas tanah yaitu sekitar 47 Ωm – 63 Ωm dengan kesalahan iterasi 5,7 %. Gambar 9 menggambarkan penampang resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah tahap ke tiga dengan massa jenis 1,020 g/cm³ yang menunjukkan nilai resistivitas tanah yaitu sekitar 47 Ωm – 51 Ωm dengan kesalahan iterasi 6,7%. Berdasarkan pembahasan di atas, nilai resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah kuningin dapat dituliskan seperti pada tabel 3.



Gambar 7. Penampang Resistivitas Tanah Setelah Diinjeksi Limbah Kuningan dengan Massa jenis $1,018 \text{ g/cm}^3$.



Gambar 8. Penampang Resistivitas Tanah Setelah Diinjeksi Limbah Kuningan dengan Massa jenis $1,019 \text{ g/cm}^3$.



Gambar 9. Penampang Resistivitas Tanah Setelah Diinjeksi Limbah Kuningan dengan Massa jenis $1,020 \text{ g/cm}^3$.

Tabel 2. Nilai Resistivitas Tanah Setelah Diinjeksi Limbah Minyak Jarak

Resistivitas Tanah Sebelum Diinjeksi Limbah (Ωm)	Massa Jenis Limbah (g/cm^3)	Resistivitas Tanah (Ωm)
	0,912	47 - 71
47 - 75	0,918	47 - 63
	0,920	47 - 55

Tabel 3. Nilai Resistivitas Tanah Setelah Diinjeksi Limbah Kuningan.

Resistivitas Tanah Sebelum Diinjeksi Limbah (Ωm)	Massa Jenis Limbah (g/cm^3)	Resistivitas Tanah (Ωm)
	1,018	47 - 75
47 - 75	1,019	47 - 63
	1,020	47 - 51

Berdasarkan pada Gambar 3 sampai 9 dapat dijelaskan bahwa nilai massa jenis limbah dalam tanah mempengaruhi nilai resistivitas listrik tanah. Hal ini terlihat pada perbedaan resistivitas listrik medium sebelum diinjeksi dan setelah diinjeksi limbah. Nilai resistivitas tanah sebelum diinjeksi yang digunakan adalah pada daerah sekitar titik injeksi yang diasumsikan sebagai daerah yang paling terpengaruh oleh adanya penginjeksian limbah ke dalam tanah. Tabel 2 dan 3 menunjukkan bahwa semakin besar nilai massa jenis limbah yang diinjeksikan maka nilai resistivitas tanah semakin menurun. Sifat fisika batuan dan mineral selalu memperlihatkan variasi harga yang sangat banyak, dan salah satu di antaranya adalah resistivitas (tahanan jenis). Resistivitas menyatakan sifat khas dari suatu bahan, yaitu besarnya hambatan suatu bahan yang memiliki panjang dan luas penampang tertentu (Chitea et al. 2009).

Menurunnya nilai resistivitas tanah tersebut dikarenakan limbah bersifat konduktif, hal ini disebabkan oleh zat-zat yang terkandung dalam limbah tersebut. Umumnya limbah mengandung berbagai jenis logam berat yang bersifat konduktif. Limbah yang diinjeksikan kedalam medium tanah tersebut akan mengisi ruang interfase tanah yang sebelumnya berisi udara.

Pengukuran dilakukan menggunakan konfigurasi *Schlumberger*. Dimana elektroda potensial pada konfigurasi *Schlumberger* relatif jarang dirubah, sehingga dapat menyebabkan perbedaan data relatif kecil antara titik yang satu dengan titik yang lainnya. Pada pengukuran resistivitas medium untuk mengetahui struktur yang lebih dalam, maka spasi elektroda arus dan potensial harus ditambah secara

bertahap, semakin besar spasi elektroda maka efek penembusan arus kebawah semakin dalam.

Pada penelitian ini, spasi elektroda terkecil yang digunakan adalah 0,03 m, spasi ini adalah spasi terkecil yang memungkinkan dilakukannya penelitian skala model. Karena jika spasi elektroda diperkecil lagi dikhawatirkan akan terjadi konsleting sehingga akan merusak alat resistivitymeter. Perubahan spasi elektroda arus AB juga dibuat sekecil mungkin, hal tersebut dimaksudkan agar data informasi bawah permukaan tanah yang diperoleh lebih teliti dan akurat.

PENUTUP

Metode geolistrik konfigurasi *Schlumberger* dapat digunakan untuk mendeteksi sebaran limbah cair pada lapisan tanah skala model yang menyebabkan nilai resistivitas listrik tanah menurun. Hal ini karena limbah bersifat konduktif mengisi ruang interfase tanah yang sebelumnya berisi udara.

Nilai resistivitas tanah sebelum diinjeksi limbah cair yaitu berkisar antara 47 Ωm – 75 Ωm . Resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah minyak jarak dengan massa jenis 0,912, 0,918, dan 0,920 g/cm^3 berturut-turut adalah 47 – 71, 47 - 63, dan 47 – 55 Ωm . Sedangkan resistivitas tanah setelah diinjeksi limbah kuningan dengan massa jenis 1,018, 1,019, dan 1,020 g/cm^3 berturut-turut adalah 47 – 75, 47 – 63, dan 47 – 51 Ωm .

Penelitian ini belum mencakup tentang pendektasian sampai sejauh mana aliran limbah dalam tanah karena difokuskan untuk pendektasian pencemaran dalam tanah. Untuk penelitian lanjutan agar mendapatkan informasi yang lengkap maka perlu diadakan penelitian dengan skala yang lebih besar agar diperoleh jangkauan pengukuran geolistrik yang lebih luas baik secara horizontal maupun vertical untuk mendapatkan informasi yang lengkap mengenai aliran limbah dalam tanah.

DAFTAR PUSTAKA

Alile, O. M., Molindo, W. A., and Nwachokor, M.A. 2007. Evaluation of Soil Profile on Aquifer Layer of Three Location in Edo State. *International Journal of Physical Sciences*. 2 (9) :249-253.
 Chitea, F., Ioane, D., and Kodom, K. 2009. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 11, EGU2009-11624-4.
 Juandi. M, 2003. Aplikasi Metode Geolistrik dalam Menganalisis Distribusi Limbah Kelapa Sawit. *Jurnal Natur Indonesia* 5(2): 119-123 (2003).
 Olivera, M.A., Reis E.M., and Nozaki, J. 2001. Biological Treatment of Wastewater From the

- cassava meal industry. *Environmental Reasearch Section*. 85. 117-183.
- Santoso, D. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: Departemen Teknik Geofisika ITB.
- Suhendra. 2006. Pencitraan Konduktivitas Bawah Permukaan dan Aplikasinya Untuk Identifikasi Penyebaran Limbah Cair Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis 2-D. *Jurnal Gradien* Vol. 2(1): 105-108.