

# KAJIAN PENCEMARAN AIR TANAH OLEH LINDI MENGGUNAKAN METODA INVERSI SMOOTHNESS-CONSTRAINTS LEAST-SQUARE DATA GEOLISTRIK TAHANAN JENIS KONFIGURASI SCHLUMBERGER STUDI KASUS TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) SAMPAH AIR DINGIN KOTA PADANG

Yosi Permata Sari<sup>1)</sup> Nofi Yendri Sudiar<sup>2)</sup> Fatni Mufit<sup>2)</sup> Akmam<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

<sup>2)</sup>Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

[yosipermatasari6@gmail.com](mailto:yosipermatasari6@gmail.com)

## ABSTRACT

*The final processing place of waste that open, in generally result leachate. The leachate uncontrolled will leak everywhere, so that can affect condition of groundwater around the landfill. The aim of this research is to determine contamination of groundwater by leachate in that area. This research use resistivity geoelectrical method with Schlumberger configuration. Data are collected in four track by ARES (Automatic Resistivity meter). Data are interpreted by the Smoothness Constraints Least Squares inversion method to obtain models of 2D the earth's surface. The result of this research showed that there has been contamination of groundwater by leachate in Air Dingin landfilling. Groundwater contamination occurs on every track measurement, except on track 2. Contamination was identification in the depth of 5,00-23,30 m with resistivity value less 10  $\Omega$ m.*

**Keywords :** Groundwater, leachate, resistivity geoelectrical method, Schlumberger

## PENDAHULUAN

Padang merupakan ibu kota Provinsi Sumatera Barat. Sebagai ibu kota provinsi, Padang mempunyai masalah yang cukup kompleks diantaranya adalah jumlah penduduk yang cukup banyak, pemukiman penduduk yang cukup padat, dan migrasi yang bertambah tiap tahun seperti mahasiswa/siswa yang datang dari berbagai daerah ke Padang untuk menuntut ilmu di lembaga pendidikan yang ada di Kota Padang baik Negeri maupun Swasta, pencari kerja, dan pedagang yang datang untuk mendapatkan hidup yang layak. Akibatnya jumlah penduduk di kota Padang terus meningkat. Meningkatnya jumlah penduduk, secara langsung maupun tak langsung akan menyebabkan semakin meningkatnya jumlah sampah yang dihasilkan.

Sampah yang dihasilkan merupakan konsekuensi dari semua aktivitas yang dilakukan manusia. Sampah adalah sesuatu yang tidak digunakan, tidak dipakai, tidak disenangi, atau sesuatu yang dibuang yang berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya<sup>[3]</sup>. Apabila sampah tidak dikelola dengan baik, sampah dapat menimbulkan permasalahan lingkungan seperti munculnya berbagai penyakit, bau menyengat yang sangat mengganggu. Sampah menghasilkan lindi yang dapat menimbulkan pencemaran air permukaan dan air tanah. Sampah juga dapat menimbulkan masalah estetika dan terganggunya kenyamanan penduduk<sup>[5]</sup>. Untuk itu sampah harus dikelola dengan baik. Pengelolaan sampah di perkotaan biasanya diatasi dengan keberadaan sebuah TPA.

Tumpukan sampah di sebuah TPA dapat menghasilkan suatu cairan yang dikenal dengan Lindi. Lindi dapat didefinisikan sebagai cairan yang meresap melalui sampah yang mengandung unsur-unsur terlarut atau tersuspensi<sup>[15]</sup>. Lindi adalah limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah. Air eksternal yang masuk ke dalam timbunan sampah dapat melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk juga materi organik hasil proses dekomposisi Biologis. Jadi lindi dapat diartikan sebagai cairan yang dihasilkan dari air eksternal yang masuk ke tumpukan sampah dan bercampur dengan air yang dihasilkan dari sampah itu sendiri.

Lindi yang dihasilkan dari tumpukan sampah dapat mencemari air permukaan dan air tanah. Pencemaran air tanah oleh lindi dapat diketahui berdasarkan resistivitasnya. Air tanah memiliki nilai resistivitas 1-100  $\Omega$ m (batuan sedimen) dan 0.5-150  $\Omega$ m (batuan beku). Resistivitas *fresh Groundwater* adalah antara 10-100  $\Omega$ m<sup>[6]</sup>. Lindi merupakan cairan yang dihasilkan dari tumpukan sampah yang didalamnya terkandung banyak polutan yang berbahaya, salah satu dari polutan tersebut adalah logam berat. Logam berat mempunyai daya hantar listrik yang tinggi. Hubungan antara resistivitas dan daya hantar listrik suatu bahan dirumuskan pada persamaan (1)<sup>[16]</sup>:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (1)$$

Persamaan (1) menunjukkan bahwa material/bahan yang mempunyai daya hantar listrik besar, maka tahanan jenisnya kecil. Berdasarkan sifat inilah bisa

dilakukan penelitian untuk mengetahui letak akumulasi rembesan polutan cair di sekitar TPA dengan memanfaatkan perbedaan resistivitas tersebut. Limbah cair (lindi) memiliki nilai tahanan jenis 2,999  $\Omega\text{m}$  atau  $< 3,00 \Omega\text{m}$ <sup>[1][14]</sup>. Air tanah bersih memiliki nilai tahanan jenis 10-100  $\Omega\text{m}$ <sup>[6]</sup>. Jika air tanah tersebut terkontaminasi oleh lindi, maka nilai resistivitasnya dapat berubah menjadi lebih kecil. Hal ini disebabkan oleh kandungan logam berat yang terdapat pada lindi.

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah yang terbuka umumnya menghasilkan Lindi. Lindi yang tak terkelola dengan baik akan merembes kemana mana, sehingga dapat mempengaruhi kondisi air tanah di sekitar TPA. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metoda pengukuran Geofisika yaitu metoda Geolistrik.

Salah satu metode Geolistrik yang dapat digunakan untuk memperkirakan batuan penyusun lapisan bawah permukaan bumi adalah metoda Geolistrik Tahanan Jenis<sup>[2]</sup>. Metoda Geolistrik tahanan jenis mempelajari sifat tahanan jenis listrik pada lapisan batuan di bawah permukaan bumi. Adanya variasi tahanan jenis lapisan, dapat diketahui dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi dan mencatat beda potensial pada titik-titik pengamatan di permukaan bumi yang terukur melalui dua elektroda potensial<sup>[12]</sup>. Variasi nilai tahanan jenis material bumi ditunjukkan pada Tabel 1<sup>[1][16]</sup>.

Tabel 1. Resistivitas Materials

| Materials     | Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ ) |
|---------------|-----------------------------------|
| Batu pasir    | $1 - 6,4 \times 10^8$             |
| Batu gamping  | $50 - 10^7$                       |
| Dolomite      | $3,5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$ |
| Marls         | $3 - 70$                          |
| Lempung       | $1 - 100$                         |
| Surface Water | $10-100$                          |
| Natural Water | $1-100$                           |
| Lempung       | $1-100$                           |
| Lindi         | 2,994                             |
| Andesite      | $1,7 \times 10^2$                 |
| Limestone     | $50 - 10^7$                       |

Tahanan jenis yang terukur bukanlah nilai tahanan jenis sesungguhnya, tapi nilai tahanan jenis semu<sup>[6]</sup>. Hal ini disebabkan karena pada kenyataannya bumi merupakan medium tidak homogen yang terdiri dari banyak lapisan dengan tahanan jenis yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi potensial listrik yang terukur. Tahanan jenis semu dapat ditentukan menggunakan persamaan (2).

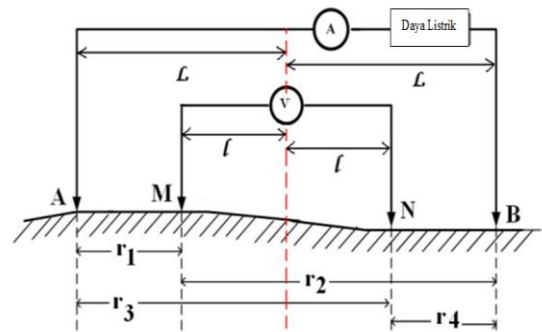
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

dimana

$$K = 2\pi \left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1} \quad (3)$$

$\Delta V$  dan  $I$  menyatakan beda potensial dan arus listrik yang terukur, sementara  $K$  menyatakan faktor geometri yang bergantung pada konfigurasi elektroda.

Konfigurasi Schlumberger merupakan metoda pengukuran geolistrik tahanan jenis dengan menggunakan empat buah elektroda, masing-masing dua elektroda arus dan dua elektroda potensial yang disusun dalam satu garis lurus, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi Schlumberger<sup>[11]</sup>

Jarak masing-masing elektroda pada Gambar 1 di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$r_1 = (L-l)$$

$$r_2 = (L+l)$$

$$r_3 = (L+l)$$

$$r_4 = (L-l)$$

Harga masing-masing jarak elektroda yang telah disederhanakan disubsitusikan ke persamaan (3) sehingga diperoleh harga  $K$  konfigurasi Schlumberger, sebagai berikut:

$$K = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l} \quad (4)$$

Berdasarkan harga  $K$  pada persamaan (4) dapat dihitung harga tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) untuk konfigurasi Schlumberger yaitu:

$$\rho_a = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l} \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

dimana,  $\rho_a$  adalah tahanan jenis semu,  $L$  adalah jarak elektroda arus,  $l$  adalah jarak elektroda potensial,  $\Delta V$  adalah beda potensial,  $I$  adalah kuat arus.

Data hasil pengukuran diinterpretasikan dengan menggunakan metoda Inversi *smoothness-constraints least squares* untuk memperoleh penampang model 2D di bawah permukaan bumi. Metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* merupakan metode inversi yang cenderung menghasilkan suatu model dengan variasi-variasi nilai resistivitas yang

smooth. Metode ini dirumuskan sesuai persamaan berikut:

$$(J^T J + uF) d = J^T g - uFr \quad (6)$$

Persamaan (6) mencoba untuk meminimalkan perbedaan antara nilai-nilai resistivitas diukur dan dihitung, serta kekasaran nilai resistivitas model. Faktor damping  $u$ , digunakan untuk mengontrol besar kehalusan yang diberikan model dalam proses inversi<sup>[6]</sup>. Metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* dapat meminimalkan perbedaan antara data lapangan dan model yang diprediksi melalui pemodelan 2D.

Hasil yang diperoleh dari proses inversi adalah nilai tahanan jenis sesungguhnya ( $\rho$ ) dan kedalaman ( $h$ ) lapisan penyusun bawah permukaan bumi TPA Sampah Air Dingin Kota Padang. Berdasarkan hal di atas telah dilaksanakan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui sejauhmana pencemaran air tanah oleh lindi yang terjadi di TPA Sampah Air Dingin Kota Padang, sehingga di dapat informasi mengenai sampai kedalaman berapa air tanah yang sudah tercemar di TPA Sampah Air Dingin Kota Padang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pencemaran air tanah oleh lindi di lingkungan TPA yang dapat membahayakan kesehatan masyarakat sekitar. Pemerintahan Kota Padang dan Dinas Kebersihan dan Pertamanan (DKP) Kota Padang dalam mengantisipasi dan menaggulangi pencemaran air tanah oleh lindi di TPA sampah Air Dingin.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian dasar yang bersifat deskriptif. Penelitian ini mendeskripsikan tentang kedalaman pencemaran air tanah oleh lindi di TPA Sampah Air Dingin Kelurahan Balai Gadang Kecamatan Koto Tangah Padang. Data penelitian diambil menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger*. Data dalam penelitian ini adalah data primer karena data diperoleh ketika melakukan penelitian.

Prosedur penelitian dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

### a. Tahap Persiapan

Tahap ini penulis melakukan kajian kepustakaan mengenai teori-teori yang mendukung penelitian, survei ke daerah pengukuran atau lokasi pengambilan data untuk menentukan lintasan pengukuran yang akan dilakukan dan mengetahui struktur Geologi daerah pengukuran.

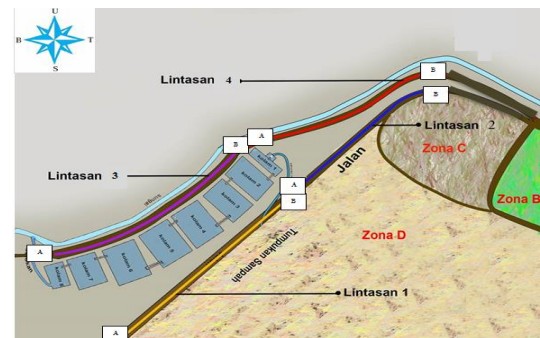
### b. Tahap Perencanaan

Tahap ini penulis merancang desain pengukuran yang akan dilakukan. Menentukan

konfigurasi yang akan digunakan, banyak lintasan, panjang lintasan yang akan diukur, spasi yang digunakan dan mempersiapkan segala hal yang akan dibutuhkan saat pengukuran dilakukan nantinya.

### c. Tahap Pengambilan Data

Pada tahap ini peneliti melakukan pengukuran atau pengambilan data sesuai dengan rancangan pengukuran yang telah dibuat. Gambar 2 menunjukkan lintasan pengukuran di daerah penelitian.



Gambar 2. Lintasan Pengukuran

Gambar 2 memperlihatkan lokasi lintasan di daerah pengukuran. Lintasan-1 merupakan lintasan pengukuran yang berada di dekat tumpukan sampah yang memiliki ketinggian 59-64 m di atas permukaan laut (mdpl) dengan panjang Lintasan 315 m. Lintasan ini terletak pada koordinat  $00^{\circ}49'29,7''$  LS dan  $100^{\circ}22'46,2''$  BT sampai koordinat  $00^{\circ}49'26,2''$  LS dan  $100^{\circ}22'55,8''$  BT. Lintasan-2 terletak pada koordinat  $00^{\circ}49'26,2''$  LS dan  $100^{\circ}22'55,8''$  BT sampai koordinat  $00^{\circ}49'26,5''$  LS dan  $100^{\circ}23'01,0''$  BT. Lintasan 2 merupakan lanjutan lintasan pengukuran 1 yang memiliki ketinggian 64-68 mdpl dengan panjang Lintasan 195 m.

Lintasan-3 terletak pada koordinat  $00^{\circ}49'24,8''$  LS dan  $100^{\circ}22'47,9''$  BT sampai koordinat  $00^{\circ}49'24,9''$  LS dan  $100^{\circ}22'57,2''$  BT. Lintasan-3 berada di antara kolam lindi dan sungai dengan ketinggian 50-56.5 mdpl dengan panjang Lintasan-315 m. Lintasan 4 merupakan lanjutan dari Lintasan-3 dengan ketinggian 56.5-65 mdpl dengan panjang Lintasan 195 m. Lintasan-4 terletak pada koordinat  $00^{\circ}49'27,7''$  LS dan  $100^{\circ}23'01,4''$  BT sampai koordinat  $00^{\circ}49'27,3''$  LS dan  $100^{\circ}23'01,5''$  BT.

Langkah-langkah yang dilakukan pada saat pengukuran :

- 1) Menentukan lintasan pengukuran yang akan dilakukan pada daerah pengukuran.
- 2) Mengukur panjang lintasan yang dapat dijadikan sebagai lintasan pengukuran.
- 3) Menentukan spasi elektroda yang akan dibuat pada lintasan pengukuran.

- 4) Mengukur lintasan pengukuran sesuai dengan panjang lintasan dan spasi elektroda yang telah ditentukan.
  - 5) Menanam elektroda pada setiap spasi elektroda yang telah ditentukan.
  - 6) Menghubungkan *T-Piece* dengan *Ares Multielectrode*.
  - 7) Mengaktifkan *ARES Multielectrode*.
  - 8) Memilih metoda pengukuran yang tersedia beserta konfigurasi, dalam hal ini metoda geolistrik tahanan jenis (*resistivity*) dan konfigurasi *Schlumberger*.
  - 9) Melakukan pengukuran.
  - 10) Data yang diperoleh langsung tersimpan pada *ARES Main unit*.
- d. Teknik Analisa Data dan Interpretasi Data

Data hasil pengukuran dilapangan diolah menjadi suatu data yang dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak. Nilai Tahanan Jenis semu dihitung dengan persamaan (2). Pada penelitian ini nilai tahanan jenis semu langsung diperoleh saat pengukuran pada alat ARES. Agar harga tahanan jenis sebenarnya dapat diketahui, maka perlu dilakukan interpretasi data.

Interpretasi data pada penelitian ini menggunakan metoda inversi *Smoothness-Constrained Least-Squares*. Inversi *Smoothness-Constrained Least-Squares* merupakan metoda inversi yang dapat meminimalkan perbedaan antara data lapangan dan model yang diprediksi melalui pemodelan 2D. Hasil interpretasi data diperoleh nilai tahanan jenis dan kedalaman material penyusun lapisan bawah permukaan bumi.

Estimasi dilakukan dengan cara membandingkan nilai tahanan jenis yang diperoleh dari *software Res2Dinv* dengan tabel tahanan jenis dari referensi. Tahanan jenis batuan memiliki rentangan nilai yang sangat luas, maka untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan kondisi lokasi penelitian dibutuhkan data geologi daerah penelitian. Sehingga pencemaran air tanah oleh lindi yang terjadi di TPA Sampah Air Dingin Kota Padang dapat diketahui.

Kedalaman maksimum yang dicapai dapat dihitung berdasarkan panjang lintasan pengukuran. Kedalaman maksimum untuk konfigurasi *Schlumberger* adalah  $1/5$  jarak C1C2. Kedalaman batuan didapatkan dengan cara menghitung selisih ketinggian permukaan dan ketebalan lapisan batuan.

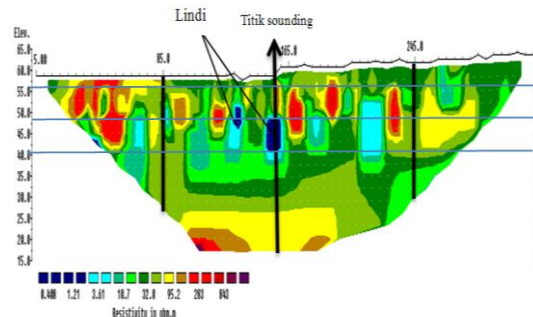
## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

#### Lintasan 1

Lintasan-1 memiliki panjang Lintasan 315 m dengan spasi elektroda 5 m. Lintasan-1 terletak pada koordinat  $00^{\circ}49'29,7''$  LS dan  $100^{\circ}22'46,2''$  BT

sampai koordinat  $00^{\circ}49'26,2''$  LS dan  $100^{\circ}22'55,8''$  BT. Titik sounding lintasan ini terletak antara elektroda ke 32 dan 33, tepatnya pada koordinat  $00^{\circ}49'27,9''$  LS dan  $100^{\circ}22'50,9''$  BT. Interpretasi data Lintasan-1 adalah seperti penampang model 2D Gambar 3.



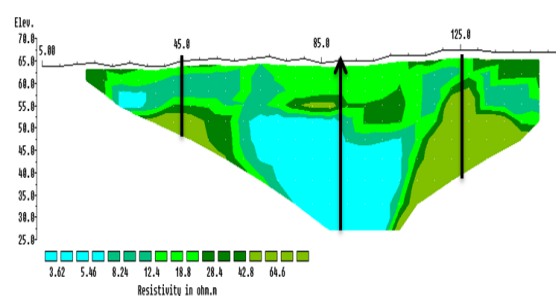
Gambar 3. Penampang Model 2D Lintasan-1 dengan Inversi *Smoothness-Constrain Least-Square*.

Pada Lintasan-1 lapisan lindi terdapat pada jarak 130,00 m dari titik awal dan pada titik sounding. Pada jarak 130,00 m lindi terdapat pada kedalaman 8,54-13,83 m dengan ketebalan lapisan 5,29 m. Pada titik sounding lapisan lindi terdapat pada kedalaman 12,25-19,75 m. Lapisan Lindi memiliki ketebalan 7,50 m. Lapisan *Groundwater* terdapat pada jarak 67,50 m, 130,00 m, titik sounding, 180,00 m dan pada jarak 210,00 m. Air tanah yang tercemar lindi terdapat pada kedalaman 11,00-12,25 dan pada kedalaman 19,75-21,00 dengan ketebalan 1,25 m.

Kedalaman maksimum lindi pada Lintasan-1 adalah 12,25-19,75 m pada koordinat  $00^{\circ}49'27,9''$  LS dan  $100^{\circ}22'50,9''$  BT. Kedalaman minimum lindi adalah 8,25-13,25 m pada jarak 130-135 m dari titik awal pengukuran. Lapisan Lindi pada Lintasan-1 memiliki kedalaman rata-rata 10,25-16,50 m.

#### Lintasan 2

Lintasan-2 memiliki panjang Lintasan 160 m dengan spasi elektroda 5 m. Lintasan-2 terletak pada koordinat  $00^{\circ}49'26,2''$  LS dan  $100^{\circ}22'55,8''$  BT sampai koordinat  $00^{\circ}49'26,5''$  LS dan  $100^{\circ}23'01,0''$  BT. Gambar 4 menunjukkan penampang model 2D hasil interpretasi data Lintasan-2.



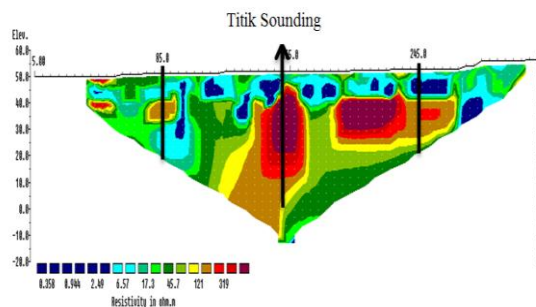
Gambar 4. Penampang Model 2D Lintasan-2 dengan Inversi *Smoothness-Constrain Least-Square*.

Gambar 4 memperlihatkan sebaran nilai tahanan jenis lapisan penyusun bawah permukaan bumi Lintasan-2 dengan rentangan nilai tahanan jenis berkisar 3,04-144,00  $\Omega$ m. Kedalaman maksimum yang dapat dicapai adalah 38,30 m dengan presentasi kesalahan 6,2%. Error adalah penyimpangan nilai yang diukur dari nilai sebenarnya. Error 6,2% artinya tingkat kepercayaan terhadap hasil pengukuran adalah 93,8%. Lintasan-2 memiliki ketinggian antara 64-68 mdpl.

Pada Lintasan-2 lapisan *Groundwater* terdapat pada jarak 20,00 m dan 90,00 m dari titik awal. Lapisan *Groundwater* terdapat pada kedalaman 18,75-38,30 m dengan ketebalan 19,55 m. Pada Lintasan-2 tidak terdapat lapisan lindi.

### Lintasan 3

Lintasan-3 memiliki panjang Lintasan 315 m dengan spasi elektoda 5 m. Lintasan-3 terletak pada koordinat 00°49'24,8" LS dan 100°22'47,9" BT sampai koordinat 00°49'24,9" LS dan 100°22'57,2" BT. Gambar 5 menunjukkan penampang model 2D hasil interpretasi data Lintasan-3.



Gambar 5. Penampang Model 2D Lintasan-3 dengan Inversi *Smoothness-Constrain Least-Square*.

Gambar 5 memperlihatkan sebaran nilai tahanan jenis lapisan penyusun bawah permukaan bumi Lintasan-3 dengan rentangan nilai tahanan jenis berkisar 0,792-213,00  $\Omega$ m. Kedalaman maksimum yang dapat dicapai adalah 68,10 m dengan presentasi kesalahan 13,6%. Error adalah penyimpangan nilai yang diukur dari nilai sebenarnya. Error 13,6% artinya tingkat kepercayaan terhadap hasil pengukuran adalah 86,4%. Lintasan-3 memiliki ketinggian antara 50-56.5 mdpl.

Pada Lintasan-3 lapisan *Groundwater* terdapat pada jarak 85,00 m dari titik awal. Lapisan *Groundwater* terdapat pada kedalaman 6,25-8,75 m dengan ketebalan 2,50 m. Lapisan *Groundwater* juga terdapat pada kedalaman 23,75-28,75 m dengan ketebalan 5,00 m.

Pada titik sounding lindi terdapat pada kedalaman 2,25-7,50 m. Lindi memiliki ketebalan 5,25 m. Lapisan *Groundwater* terdapat pada kedalaman 1,33-2,25 m dengan ketebalan 0,92 m.

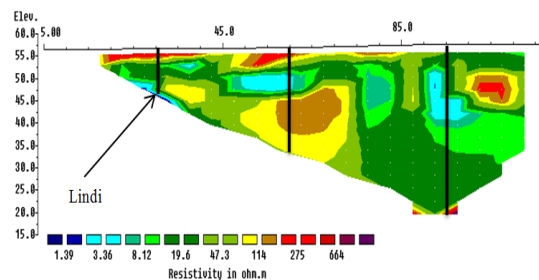
*Groundwater* juga terdapat pada kedalaman 7,50-10,00 m dengan ketebalan 2,50 m.

Pada jarak 245 m dari titik awal terdapat akumulasi Lindi pada kedalaman 4,08-7,75 m yang berada diantara *Groundwater*. Lapisan ini memiliki ketebalan 3,67 m. *Groundwater* terdapat pada kedalaman 2,75-4,08 m dengan ketebalan 1,33 m. Lapisan ini juga terdapat pada kedalaman 7,75-9,00 m dengan ketebalan 1,25 m.

Penampang 2D pada Lintasan-3 memperlihatkan keberadaan kolam lindi yang terdapat di TPA sampah Air Dingin. Kedalaman maksimum Lindi adalah 23,30 m pada Kolam-8. Kedalaman minimum Lindi adalah 12,50 pada Kolam-3. Keberadaan Lindi pada Lintasan-3 rata-rata mencapai kedalaman 18,41 m.

### Lintasan 4

Lintasan-4 memiliki panjang Lintasan 195 m dengan spasi elektoda 5 m. Lintasan-4 terletak pada koordinat 00°49'27,7" LS dan 100°23'01,4" BT sampai koordinat 00°49'27,3" LS dan 100°23'01,5" BT. Gambar 6 menunjukkan penampang model 2D hasil interpretasi data Lintasan-4.



Gambar 6. Penampang Model 2D Lintasan-4 dengan Inversi *Smoothness-Constrain Least-Square*.

Gambar 6 memperlihatkan sebaran nilai tahanan jenis lapisan penyusun bawah permukaan bumi Lintasan-4 dengan rentangan nilai tahanan jenis berkisar 1,56-1548,00  $\Omega$ m. Kedalaman maksimum yang dapat dicapai adalah 38,30 m dengan presentasi kesalahan 12,3%. Error adalah penyimpangan nilai yang diukur dari nilai sebenarnya. Error 12,3% artinya tingkat kepercayaan terhadap hasil pengukuran adalah 87,7%. Lintasan-4 memiliki ketinggian antara 56,50-65,00 mdpl.

Pada Lintasan-4 lapisan lindi terdapat pada jarak 130,00 m dan pada jarak 152,50 m dari titik awal. Pada jarak 130,00 m lindi terdapat pada kedalaman 10,25-10,50 m. Pada jarak 152,50 m dari titik awal terdapat lapisan lindi dengan ketebalan 6,25 m.

Lapisan *Groundwater* terdapat pada jarak 30,00 m, 57,50 m, 60,00 m dan pada jarak 95,00 m dari titik awal. Pada jarak 30,00 m dari titik awal terdapat lapisan *Groundwater* pada kedalaman 9,00-10,25 m. Pada jarak 60 m dari titik awal *Groundwater* terdapat

pada kedalaman 5,75-9,50 m dengan ketebalan lapisan 3,75 m. Pada jarak 95 m dari titik awal Lapisan *Groundwater* terdapat pada kedalaman 10,75-15,75 m dengan ketebalan lapisan 5,00 m.

### Pembahasan

Hasil analisis data menggunakan metoda inversi *Smoothness-Constraint Least-Square* menunjukkan bahwa lapisan penyusun bawah permukaan bumi TPA Sampah Air Dingin Kota Padang ada lima lapisan yaitu lindi, *Groundwater*, Clay, Limestone, dan Andesite. Kelima lapisan tersebut sesuai dengan kondisi geologi TPA Sampah Air Dingin.

Keberadaan *groundwater* pada Lintasan-1 ditemukan pada kedalaman 7,75-11,25 m dengan nilai tahanan jenis 3,00-7,00  $\Omega\text{m}$ . *Groundwater* pada lintasan ini diduga telah tercemar oleh lindi. Pencemaran yang terjadi diduga berasal dari rembesan lindi karena lintasan ini berada di dekat tumpukan sampah dan tempat saluran lindi. Rembesan ini diduga terjadi karena lapisan geotekstil yang digunakan sudah robek, sehingga lindi yang dihasilkan dari tumpukan sampah terinfiltrasi ke air tanah. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7 berikut:

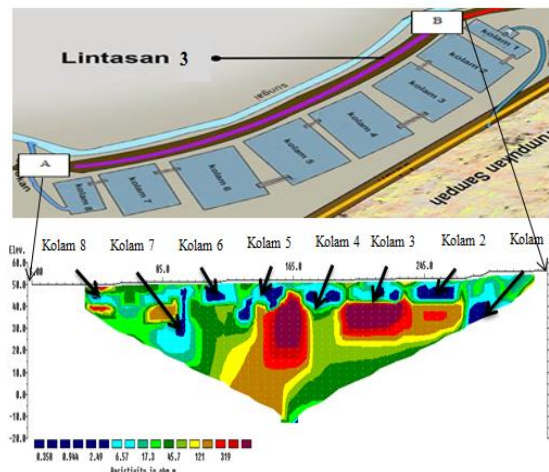


Gambar 7. Cairan Lindi yang Dihasilkan dari Tumpukan Sampah

Penampang 2D pada Lintasan-1 menunjukkan bahwa akumulasi cairan lindi terdapat pada lapisan *groundwater*. Cairan lindi yang terinfiltrasi ke lapisan *groundwater* menyebabkan tahanan jenis *groundwater* menurun. Penurunan nilai resistivitas terjadi karena polutan (cairan lindi) mengandung logam berat yang memiliki konduktivitas yang besar.

*Groundwater* pada Lintasan-2 terdapat pada kedalaman 18,75-38,30 m. Pada Lintasan-2 tidak ditemukan akumulasi lindi pada lapisan *groundwater*. Namun nilai tahanan jenis *groundwater* pada lintasan ini  $<10,00 \Omega\text{m}$ . *Fresh groundwater* memiliki nilai tahanan jenis 10-100  $\Omega\text{m}^{[6]}$ . Artinya air tanah pada Lintasan-2 sudah tercemar, ditambah lagi lintasan ini berada dekat dengan tumpukan sampah. Namun dari analisa data tidak ditemukan cairan lindi pada Lintasan-2.

Pengukuran pada Lintasan-3 dilakukan untuk mengetahui keefektifan dari kolam lindi. Dengan adanya kolam lindi diharapkan lindi tidak mencemari air bawah tanah dan air permukaan. Lindi dari tumpukan sampah diolah terlebih dahulu kemudian baru di buang ke lingkungan. Keberadaan kolam lindi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Penampang 2D Lintasan-3

Penampang 2D pada Lintasan-3 memperlihatkan keberadaan kolam lindi yang terdapat di TPA sampah Air Dingin. Dari penampang dapat dilihat ada 8 kolam lindi yang direpresentasikan dengan warna biru tua dengan nilai tahanan jenis  $<3,00 \Omega\text{m}$ . Pada Kolam-1 keberadaan lindi terdeteksi sampai kedalaman 22,50 m. Lindi yang terdapat pada Kolam-1 merupakan cairan yang langsung berasal dari tumpukan sampah. Pada penampang 2D terlihat akumulasi Lindi pada Kolam-1 berada pada jarak 272,50-285,00 m dengan ketebalan 10,00 m.

Keberadaan lindi di Kolam-2 mencapai kedalaman 21,50 m. Lindi pada Kolam-2 terletak pada jarak 240,00-262,50 m. Artinya tumpukan Lindi pada Kolam-2 lebih Banyak dari Kolam-1. Hal ini disebabkan oleh Kolam-2 lebih besar dari Kolam-1.

Pada Kolam-3 terlihat ada 2 tumpukan Lindi. Lindi pada Kolam-3 terdeteksi sampai kedalaman 12,50 m. Lindi pada Kolam-3 terletak pada jarak 215,00-220,00 dan pada jarak 123,30-128,67 m. Lindi pada Kolam-3 lebih sedikit dari pada Lindi yang ada Kolam-2.

Pada Kolam-4 lindi terdapat pada kedalaman 2,50-15,00 m. Pada Kolam-4 juga terdapat 2 akumulasi Lindi. Berdasarkan penampang 2D Lintasan-3 Lindi pada Kolam-4 lebih banyak dari Kolam-3. Hal ini terjadi karena Kolam-4 lebih besar dari Kolam-3.

Pada Kolam-5 lindi terdapat pada kedalaman 1,60-15,00 m. Lindi pada Kolam-5 terdapat pada jarak 145,00-157,50 m dari titik awal. Dari penampang 2D Lintasan-3 terlihat akumulasi Lindi

cukup banyak. Hal ini terjadi karena ukuran Kolam-5 cukup besar.

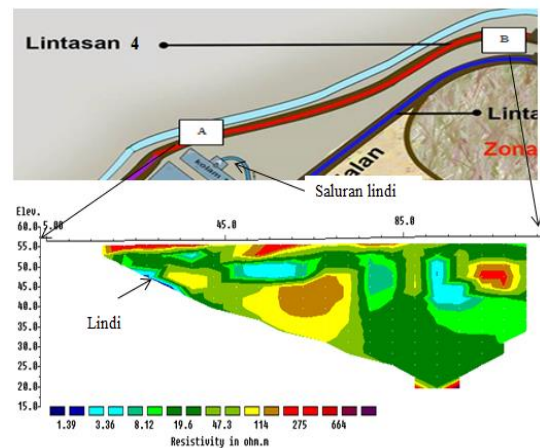
Pada Kolam-6 keberadaan lindi mencapai kedalaman 20,00 m. Lindi terdapat pada jarak 131,25-140,00 m dari titik awal. Keberadaan Lindi pada Kolam-6 lebih sedikit dari Kolam-5.

Pada Kolam-7 Lindi terdapat pada jarak 112,50-122,50 m dari titik awal. Keberadaan Lindi di Kolam-7 mencapai kedalaman 17,50 m. Pada Kolam-8 Kedalaman lindi mencapai 23,30 m. Lindi yang terdapat pada Kolam-8 merupakan tumpukan Lindi yang paling dalam. Dilihat dari keadaan Kolam pada TPA Sampah Air Dingin, Kolam-7 dan 8 merupakan kolam yang bagian pinggirnya tidak dibeton dan Lindi sudah bercampur dengan lumpur. Dengan demikian Lindi akan lebih mudah telinfiltrasi ke *Groundwater*. Dari kedalaman Lindi yang terdapat pada ke-8 kolam maka diduga *Groundwater* yang terdapat pada Lintasan-3 sudah tercemar sampai kedalaman 23,30 m. Jadi dapat disimpulkan bahwa sistem pengelolaan Lindi di TPA Sampah Air Dingin belum berfungsi dengan baik. Keberadaan *groundwater* pada lintasan ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Sumur Pantau

Gambar 9 menunjukkan bahwa terjadi perubahan warna pada air sumur. Hal ini diduga terjadi karena rembesan lindi dari kolam lindi, karena keadaan kolam lindi yang retak. Maka pada Lintasan-3 diduga terjadi pencemaran air tanah, karena nilai tahanan jenis *groundwater* pada Lintasan-3  $< 10,00 \Omega\text{m}$ . Resistivitas *fresh groundwater* adalah antara  $10-100 \Omega\text{m}^{[6]}$ . *Groundwater* yang tercemar memiliki resistivitas kecil dari  $10,00 \Omega\text{m}$ . Untuk cairan lindi memiliki nilai tahanan jenis  $< 3,00 \Omega\text{m}$ . Hal ini disebabkan oleh lindi memiliki konduktivitas yang tinggi, akibatnya resistivitas lindi kecil. Lindi pada area TPA memiliki konsentrasi yang tinggi, yang akan bersesuaian dengan nilai konduktivitas yang sangat tinggi dan nilai resistivitas yang sangat rendah<sup>[8]</sup>. Sehingga, apabila lindi bercampur dengan air tanah maka resistivitas akan menurun atau semakin kecil. Air tanah yang terdapat di sekeliling TPA memiliki konduktivitas yang tinggi<sup>[9]</sup>. Keberadaan *Groundwater* pada Lintasan-4 dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Keberadaan Lindi pada Lintasan-4

Pada Lintasan-4 di kedalaman 10,25-1050 m terdapat akumulasi cairan lindi pada lapisan *Groundwater* dengan nilai tahanan jenis  $< 3,00 \Omega\text{m}$ . Berdasarkan nilai tahanan jenis lindi yang terdapat pada Lintasan-3 yaitu  $0,792-3,00 \Omega\text{m}$  maka *Groundwater* pada lintasan ini juga diduga tercemar oleh lindi. Lindi memiliki nilai tahanan jenis  $2,999 \Omega\text{m}$  atau  $< 3,00 \Omega\text{m}^{[1][14]}$ . Zona resistivitas rendah ( $< 10,00 \Omega\text{m}$ ) merupakan lapisan batuan yang terinfiltrasi *leachate*<sup>[13]</sup>. Air tanah yang tercemar oleh lindi memiliki nilai resistivitas dibawah  $10,00 \Omega\text{m}^{[7]}$ .

Lapisan *Clay* pada penelitian ini memiliki nilai tahanan jenis  $7,20-79,80 \Omega\text{m}$ . *Clay* memiliki rentangan nilai tahanan jenis  $1-100 \Omega\text{m}$ . Keberadaan *Clay* dibuktikan dengan terdapatnya singkapan di daerah penelitian seperti pada Gambar 11. Lapisan *Clay* terdapat pada tiap lintasan pengukuran. Pada Lintasan-1 *Clay* terdapat di permukaan sampai kedalaman 32,00 m dengan ketebalan 32,00 m. Lapisan *Clay* lebih dominan terdapat pada Lintasan-2, hal ini dapat dilihat pada penampang 2D yang direpresentasikan dengan warna hijau. Lapisan *Clay* pada Lintasan-3 terdapat di permukaan sampai kedalaman 1,33 m dan pada kedalaman 65,00-68,10 m pada titik sounding. Pada Lintasan-4 lapisan *Clay* tersebar dari permukaan sampai kedalaman 20,50 m pada jarak 90 m dari titik awal.



Gambar 11. Clay

*Limestone* memiliki nilai tahanan jenis  $50-10^7 \Omega\text{m}^{[16]}$ . Lapisan *Limestone* terdapat pada 3 lintasan pengukuran yaitu Lintasan-1, Lintasan-3 dan

Lintasan-4. *Andesite* memiliki rentangan nilai tahanan jenis  $1,70 \times 10^2 - 4,5 \times 10^4 \Omega m^{[16]}$ . Berdasarkan estimasi data, lapisan *Andesite* tidak terdeteksi pada Lintasan-2.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, dapat disimpulkan, bahwa:

1. Nilai tahanan jenis bawah permukaan bumi TPA Sampah Air Dingin Kota Padang berkisar antara 0,358-843,00  $\Omega m$ .
2. Lapisan penyusun bawah permukaan bumi TPA Sampah Air Dingin Kota Padang, yaitu: *lindi, Groundwater, Clay, Limestone* dan *Andesite*.
3. Pencemaran air tanah terjadi pada setiap Lintasan pengukuran. Pencemaran air tanah terjadi karena nilai tahanan jenis air tanah setiap lintasan  $< 10,00 \Omega m$  yaitu 3,00-7,00  $\Omega m$  dan terdapatnya akumulasi cairan lindi pada lapisan *groundwater* di lintasan pengukuran kecuali pada Lintasan-2. Pada Lintasan-1, pencemaran air tanah terjadi pada kedalaman 6,54-20,10 m. Lintasan-3, pencemaran air tanah terjadi pada kedalaman 6,25-23,30 m. Pencemaran air tanah terjadi pada Lintasan-3 karena pengelolaan Lindi di TPA belum berfungsi dengan baik. Hal ini dapat dilihat dari masih terdapatnya Lindi disemua Kolam Lindi. Lintasan-4, pencemaran air tanah terjadi pada kedalaman 5,00-15,00 m.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Drs. Mahrizal, M.Si sebagai anggota penelitian yang telah melibatkan penulis dalam penelitian dengan judul "Penentuan Zona Pencemaran Air Tanah dan Karakterisasi Magnetik Logam Berat Sebagai Polutan Pada Lindi (*Leachate*) TPA Sampah Menggunakan Metoda Kemagnetan Batuan (*Rock Magnetic Methods*) dan Geolistrik (Studi Kasus pada TPA Sampah Air Dingin Kota Padang)" yang didanai oleh DP3M Dikti melalui BOPTN UNP Padang. Terima kasih juga kepada rekan-rekan yang telah membantu selama pengambilan data.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adeoti, L, Oladele, S; Ogunlana, F O. (2011). "Geo-electrical investigation of Leachate Impact on Groundwater: A Case Study of Ile-Epo Dumpsite, Lagos, Nigeria". J. Appl. Sci. Environ. Manage. June, 2011 Vol. 15 (2) 361 – 364
- [2] Akmam dan Nofi Yendri S. (2013). "Analisis Struktur Batuan dengan Metoda Inversi Smoothness-Constrained Least Squares Data Geolistrik Konfigurasi Schlumberger di Universitas Negeri Padang Kampus Air Tawar".

- Jurnal Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, ISBN 978-602-98559-2-0
- [3] Budiman, Chandra. (2007). "Pengantar Kesehatan Lingkungan". Jakarta: EGC.
  - [4] Chay, Asdak. (2010). "Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai". Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
  - [5] Kuncoro, Sejati. (2009). "Pengolahan Sampah Terpadu". Yogyakarta: Kanisius.
  - [6] Loke, H.M. (2004). "2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys". Revision. Malaysia: Minden Heights.
  - [7] M Juandi. (2009). "Analisa Pencemaran Air Tanah Berdasarkan Metode Geolistrik Studi Kasus Tempat Pembuangan Akhir Sampah Muara Fajar Kecamatan Rumbai". Jurnal Program Studi Ilmu Lingkungan PPS Universitas Riau.
  - [8] Obi D. A., Ekspo B. O., and Harry J. A., (2013). "Electrical resistivity survey of a waste dumpsite at uyo, akwa ibom state, Nigeria". Advances in Applied Science Research, 2013, 4(6):307-317.
  - [9] Omolayo, Dare and Tope, Fatoba Julius. (2014). "2D Electrical Imaging Surveys for Leachate Plume Migration at an Old Dump Site in Ibadan South Western Nigeria: A Case Study". International Journal of Geophysics Volume 2014, Article ID 879530.
  - [10] Peraturan Daerah Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Padang Tahun 2010-2030, pasal 1 ayat 53.
  - [11] Reynolds, J.M. (1997). "An Introduction to Applied and Environmental Geophysics". New York: John Willey and Sons
  - [12] Rustadi. (2005). "Penerapan Metode Geolistrik Untuk Pemetaan Akuifer Air Tanah Di Kabupaten Lampung Tengah". J. Sains Tek., Agustus 2005, Vol. 11, No. 2
  - [13] Sismanto dan Eddy Hartantyo. (2005). "Distribution Of Leachate Polution In The Final Disposal Of Piyungan, Bantul, Yogyakarta, By Using The Electromagnetic Method". Proceedings Joint Convention Surabaya – Hagi-Iagi-Perhapi, JCS2005-T032.
  - [14] Sri, Cahyo W., Rifkiati, Zulfian ME., Faisal, A. (2010). "Penentuan Lapisan Bawah Permukaan di Tempat Pengolahan Akhir Sampah (TPAS) Banjarbaru dengan Metode Geolistrik". Jurnal Fisika FLUX, Vol. 7 No.2.
  - [15] Tchobanoglous G and Frank Kreith. (2002). "Handbook of solid waste management second edition". New York: McGraw-Hill, Inc. Diunduh dari: en.bookfi.com.
  - [16] Telford, W.M. Geldart, L.P, Sheriff R.E and Keys, D.A. (1990). "Applied Geophysics Second Edition". USA: Cambridge University Press. Diunduh dari: en.bookfi.com