

VISUALISASI TIGA DIMENSI KONTAMINAN MELAMIN DI AREA "X" BONTANG DENGAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI DIPOLE-DIPOLE DAN ANALISIS SAMPEL CORING

Tri Purwanti^{2,*}, Adrianus Inu Natalisanto¹, Djayus^{1,2}

¹Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

²Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

*Corresponding author: tri.purwanti2308@gmail.com

Abstrak Telah dilakukan pengukuran nilai resistivitas sampel coring dan telah dilakukan pengolahan data geolistrik mapping konfigurasi dipole-dipole di Area "X" Bontang. Pengukuran nilai resistivitas dan pengolahan data geolistrik ini dilakukan untuk mengetahui sebaran, luas, volume, dan nilai resistivitas kontaminan limbah melamin.

Tahap awal dalam penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan informasi mengenai sifat dan lokasi dari pembuangan limbah melamin di Area "X" Bontang. Setelah diketahui sifat dan lokasi pembuangannya, maka dilakukan pengambilan sampel coring dan pengukuran geolistrik mapping konfigurasi dipole-dipole. Sampel coring yang diperoleh, dilakukan pengukuran nilai resistivitas di laboratorium. Sedangkan, hasil dari pengukuran geolistrik mapping konfigurasi dipole-dipole dilakukan pengolahan dengan menggunakan software Res2dinv dan mendigitasinya persetiap kedalaman 0,5 m sehingga didapatkan kontur resistivitas dan chargeability per setiap kedalaman 0,5 m. Hasil kontur persetiap kedalaman 0,5 meter tersebut selanjutnya dapat dihitung luas dan volume dengan cara mencacah segmen-segmen daerah dalam kontur resistivitas dan chargeability yang diduga kontaminan. Sedangkan hasil pengolahan dari pengukuran nilai resistivitas sampel coring yang mengandung limbah melamin digunakan untuk mendapatkan nilai resistivitas dari kontaminan limbah melamin.

Hasil penelitian diperoleh arah penyebaran limbah melamin adalah dari timur laut menuju barat daya, luas daerah yang terkontaminasi melamin per setiap kedalaman 0,5 m adalah sebesar $(241,51 \pm 0,20) \text{ m}^2$ di permukaan, $(254,28 \pm 0,25) \text{ m}^2$ di kedalaman 0,5 m, $(259,29 \pm 0,25) \text{ m}^2$ di kedalaman 1 m, serta volume daerah yang terkontaminasi adalah sebesar $(632,77 \pm 0,13) \text{ m}^3$ dengan nilai resistivitas limbah melamin adalah sebesar $(4,22 \pm 0,04) \Omega\text{m}$.

Kata kunci: Resistivitas, chargeability, kontaminan, melamin.

PENDAHULUAN

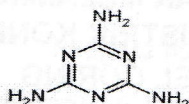
Kontaminan yang terdapat di suatu daerah dapat diketahui melalui pemeriksaan nilai resistivitasnya. Pemeriksaan tersebut dapat dilakukan dengan pengukuran tak langsung dan dengan pengukuran langsung. Pengukuran tak langsung dilakukan dengan memeriksa resistivitas sampel coring, sedangkan pengukuran langsung dilakukan di lapangan dengan menggunakan metode geolistrik *mapping*. Hasil metode geolistrik mapping berupa distribusi resistivitas semu dan distribusi chargeability, sedangkan hasil pengukuran sampel coring berupa nilai resistivitas sebenarnya.

Hasil pemeriksaan dengan kedua metode tersebut kemudian dikaitkan untuk

untuk mendapatkan gambaran nilai resistivitas limbah melamin, arah penyebaran limbah, dan volume daerah yang telah terkontaminasi limbah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai sarana pemantau sejauh mana kontaminasi limbah melamin di area X tersebut.

Melamin

Melamin adalah zat organik dengan nama kimia *melamina* dan rumus molekul $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$ atau dengan nama IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), yaitu: 1,3,5-triazina-2,4,6-triamina. Adapun rumus struktur dari melamin diperlihatkan dalam Gambar 1 dan sifat-sifat fisiknya diperlihatkan dalam Tabel 1.



Gambar 1 Rumus struktur melamin
(Situmorang, 2015)

Tabel 1 Sifat-sifat fisika melamin

No	Sifat	
1	Berat molekul	126,12 g/mol
2	Titik leleh	>345 °C
3	Suhu dekomposisi	>270°C
4	Densitas	1574 kg/m ³
5	Tekanan uap	4,7x10 ⁻⁸ Pa
6	Kelarutan dalam suhu 300°C dalam gr/100 ml	- 0.06 g/100 cc
	- Etanol	- 0.03 g/100 cc
	- Aceton	- 0.5 g/100 cc
	- Air	- 4,34 (udara=1)
	- Densitas uap	- 4,34 (udara=1)

Sumber: Sentra Informasi Keracunan Nasional, 2011

Pengukuran Resistivitas di Laboratorium

Ditinjau suatu medium homogen isotropik. Jika medium itu dialiri arus listrik searah I akibat kuat medan listrik \vec{E} (volt/m²), maka elemen arus dI yang melalui elemen luas $d\vec{A}$ (m²) dengan kerapatan arus \vec{j} (A/m²) adalah

$$dI = \vec{j} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

Rapat arus tersebut memenuhi hukum ohm, yaitu:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (2)$$

Diketahui bahwa konduktivitas listrik memenuhi:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\Omega m). \quad (3)$$

dan kuat medan listrik memenuhi:

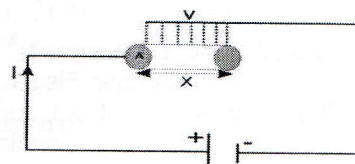
$$E = \frac{V}{x} \quad (\text{Volt/m}). \quad (4)$$

dengan x adalah panjang sampel coring yang diukur dalam rangkaian Gambar 2. Penggabungan persamaan (3) dan persamaan (4) memberikan persamaan:

$$I = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{V}{x} \cdot A. \quad (5)$$

Rangkaian dalam Gambar 2 memperlihatkan rangkaian pengukuran yang menggunakan dua multimeter pencatat arus dan tegangan. Kedua

multimeter tersebut dihubungkan dengan sumber arus dan media yang akan diukur (sampel coring).



Gambar 2 Rangkaian listrik pengukuran di laboratorium

Dari persamaan (5) dapat diperoleh nilai slope (kemiringan) dari pengambilan data kaitan V dan x . Dalam persamaan tersebut dapat diperoleh nilai resistivitas hasil pengukuran laboratorium, yaitu:

$$\rho = \frac{mA}{I} \quad (6)$$

dengan m adalah slope, A adalah luas penampang sampel coring (m²) dan I kuat arus listrik (ampere).

Dalam setiap pengukuran terdapat ketidakpastian. Karena itu, dihitung nilai ketidakpastian pengukuran tersebut dengan persamaan:

$$\Delta \rho = \sqrt{\left(\frac{A}{I} \Delta m\right)^2 + \left(\frac{m}{I} \Delta A\right)^2 + \left(\frac{mA}{I^2} \Delta I\right)^2} \quad (7)$$

dengan

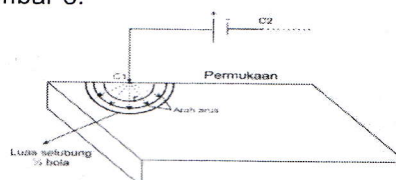
$$\Delta m = \sqrt{\frac{N(\sigma_v^2)}{\Delta}}, \Delta = N \sum X_i^2 - (\sum x_i)^2 \quad (8)$$

$$\Delta A = \frac{\pi}{2} |d \Delta d| \quad (9)$$

$$\Delta I = \frac{1}{2} nst \text{ multimeter} \quad (10)$$

Pengukuran Resistivitas di Lapangan

Andai sebuah elektroda tunggal yang dialiri arus listrik dipasang pada permukaan bumi yang batuan di bawah permukaannya dianggap homogen isotropis, maka akan menimbulkan aliran arus yang menyebar dalam tanah secara radial dan seragam. Apabila udara di atasnya memiliki konduktivitas nol, maka garis potensialnya akan berbentuk setengah bola seperti dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 3 Sumber arus berupa titik pada permukaan bumi homogen

Aliran arus yang keluar dari titik sumber C_1 seperti diperlihatkan dalam Gambar 3 akan membentuk medan potensial setengah bola di bawah permukaan tanah dengan kuat medan listrik memenuhi persamaan:

$$\vec{E} = -\nabla V = \frac{-dV}{dr} \quad (11)$$

Dengan memperhatikan batas ($r \rightarrow \infty, V=0$) dan (r, V_r) akan memberikan persamaan:

$$\int_0^{V_r} dV = \left(\frac{\rho}{2\pi}\right) \int_{\infty}^r d\left(\frac{1}{r}\right) \quad (12)$$

Persamaan (12) mengandung besaran resistivitas batuan bawah permukaan bumi. Adapun hubungan antara nilai resistivitas dan macam batuan diperlihatkan dalam Tabel 2.

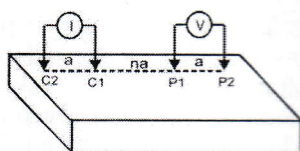
Tabel 2. Nilai resistivitas sebagian material-material bumi.

Material	Resistivity Range (ohm.meter)
Air (Udara)	0
Sands (Pasir)	1 – 1,000
Sandstone (Batu Pasir)	200 – 8,000
Clay (Lempung)	1 – 100
Ground Water (Air Tanah)	0,5 – 300
Sea Water (Air Asin)	0,2
Silt (Lanau)	20 – 200
Dry Gravel (Kerikil Kering)	600 – 10,000
Alluvium (Aluvium)	10 – 800
Gravel (Kerikil)	100 – 600

Sumber: Telford, 2004

Konfigurasi Dipole-Dipole

Susunan elektroda Konfigurasi *Dipole-Dipole* diperlihatkan dalam Gambar 4. Konfigurasi ini adalah konfigurasi yang dipergunakan dalam pengukuran resistivitas di lapangan.



Gambar 4 Elektroda arus dan potensial pada konfigurasi *dipole-dipole*

secara ringkas resistivitas memiliki persamaan berikut.

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K \quad (13)$$

dengan

$$K = \pi a n(n+1)(n+2) \quad (14)$$

dan K merupakan faktor geometri untuk konfigurasi *dipole-dipole*.

Penentuan Luas dan Volume Kontaminan Limbah

Luas dan volume kontaminan limbah dapat ditentukan dari tampilan data *Surfer*. Penentuan tersebut dilakukan dengan menggunakan *Software ImageJ*, yaitu fasilitas *Histogram Analyze*.

Luas kontaminan limbah $L_k(m^2)$ memenuhi persamaan:

$$L_k = L_t \left(\frac{j_k}{j_t}\right) \quad (15)$$

dengan L_t adalah luas daerah yang dipotong pada bagian gambar tampilan data *Surfer* (m^2), j_k adalah jumlah pixel gambar yang diduga kontaminan melamin, dan j_t adalah jumlah pixel gambar daerah yang dipotong pada bagian gambar tampilan data *Surfer*.

Volume N lapisan kontaminan V_N memenuhi persamaan:

$$V_N = h \sum_{i=1}^N L_{ki} \quad (16)$$

dengan L_{ki} adalah luas lapisan kontaminan ke-i.

Diketahui bahwa daerah kontaminan limbah ditandai dengan nilai resistivitas dan nilai *chargeability* yang rendah secara serentak (Arbi, 2012). Karena itu, dalam penentuan luas dan volume kontaminan harus mempertimbangkan kedua nilai tersebut.

Metodologi

Terdapat dua jenis data yang digunakan dalam penelitian ini, yakni: data primer dan sekunder. Data primer berupa data pengukuran nilai resistivitas dari sampel coring dan data sekunder berupa data resistivitas dan *chargeability* dari hasil pengukuran geolistrik *mapping* konfigurasi *dipole-dipole*.

Penentuan daerah kontaminan melamin

Diketahui bahwa melamin berwarna bening hingga putih dengan bentuk pasta (odol) dan sulit untuk larut dalam air, serta melamin dapat terdekomposisi dalam suhu tinggi dan mengering (Sentra Informasi Keracunan Nasional, 2011). Sifat inilah yang membuat melamin sulit untuk berpindah dan mencemari daerah yang lebih luas.



Gambar 5 Wujud melamin di lapangan

Dari parameter lainnya, yakni berdasarkan informasi letak dari penempatan limbah dan pemantauan lapangan, diketahui bahwa limbah berada dekat dengan posisi line 2 seperti diperlihatkan dalam Gambar 6. Karena itu, dilakukan pengambilan sampel coring (*bore hole* 2) pada posisi tersebut dan dilakukan pengambilan sampel coring di dua lokasi lainnya sebagai pembandingan (*bore hole* 1 dan *bore hole* 3).



Gambar 6 Posisi lintasan pengukuran

Pengukuran dan Pengolahan Data Resistivitas di Laboratorium Geofisika

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam pengukuran resistivitas di laboratorium, yakni: Pipa paralon (Ukuran 2,5 inci, panjang 10 cm), Sumber arus (baterai *charger*), 2 buah Multimeter Beberapa Jarum, Gergaji, Kabel penghubung, Sampel coring, dan ATK.

Sebelum dilakukan pengukuran nilai resistivitas, disiapkan wadah untuk peletakkan sampel. Wadah tersebut berupa pipa paralon dengan diameter 2,5 inci yang dipotong sepanjang 10 cm dan salah ujung pipa tersebut diberi pegas agar sampel tidak bergerak. Setelah pipa disiapkan, sampel *coring* dipotong sepanjang 10 cm sesuai panjang pipa yang telah dipersiapkan. Sampel tersebut kemudian diletakkan dalam pipa yang telah disiapkan.

Untuk mengalirkan arus listrik kedalam sampel, sampel itu dihubungkan dengan baterai *charger*. Nilai arus listrik dan tegangan listrik yang timbul dapat dibaca di monitor multimeter.

Chargeability dan Resistivitas dalam Perhitungan Luas dan Volume

Proses penentuan luas dan volume yang mempertimbangkan nilai *chargeability* dan resistivitas adalah sebagai berikut:

- (1) Membuka file hasil pengolahan data yang berekstensi SRF yang akan menampilkan gambar kontur resistivitas dan kontur *chargeability*;
- (2) Menyimpan gambar kontur resistivitas dan kontur *chargeability* dalam memori sementara komputer dengan menekan tombol *print screen*;
- (3) Membuka *software paint* kemudian menempelkan, serta menyimpan gambar kontur resistivitas dan kontur *chargeability*;
- (4) Membuka *software ImageJ* kemudian membuka file gambar yang tersimpan tersebut;
- (5) Memilih daerah pada gambar kontur resistivitas dan kontur *chargeability* yang diduga terkontaminasi limbah, melakukan proses menggandaan setiap gambar tersebut dengan fasilitas *duplicate* dan menyimpan keduanya dalam ekstensi TXT lewat fasilitas *text image* di menu *File*;
- (6) Membuka *software Excel*, kemudian kedua file berekstensi TXT tersebut digabungkan dan disimpan dalam file berekstensi XLS untuk diolah guna menentukan luas dan volume daerah kontaminasi limbah lewat persamaan (15) dan persamaan (16) dengan mempertimbangkan nilai resistivitas dan nilai *chargeability* yang rendah secara serentak.

Hasil Pengolahan Data dan Interpretasi Data

Setelah litologi batuan daerah penelitian diperoleh, data hasil pengukuran nilai resistivitas di laboratorium didapat, dan data resistivitas hasil pengukuran geolistrik mapping, maka didapatkan nilai resistivitas limbah, kontur resistivitas, luas dan volume kontaminasi melamin.

Hasil pengolahan data resistivitas pengukuran di laboratorium dan hasil dari pengolahan data geolistrik *mapping dipole-dipole* disajikan berturut-turut dalam Tabel 3 s.d. Tabel 5 dan Gambar 6 s.d. Gambar 15.

ISSN: 2528-0988

Hasil Pengolahan Data dan Interpretasi Data di Laboratorium

Hasil perhitungan nilai resistivitas yang telah dilakukan dengan persamaan (6) dan persamaan (7) disajikan dalam Tabel 3 s.d. Tabel 5.

Tabel 3 Hasil pengolahan resistivitas di laboratorium *Bore hole 1*

Kedalaman (cm)	$\rho \pm \Delta\rho$ (Ω m)	Ketidakpastian Relatif (%)
0 - 50	$1058 \pm 273,47$	25,85
	$34,34 \pm 2,50$	7,29
	$86,23 \pm 4,50$	5,22
	$3,33 \pm 0,22$	6,74
	$16,58 \pm 2,36$	14,24
	$19,92 \pm 1,46$	7,32
50 - 100	$2,65 \pm 0,09$	3,61
	$34,18 \pm 1,215$	3,55
	$26,01 \pm 0,416$	1,60
	$2,95 \pm 0,0424$	1,43
100 - 150	$3,19 \pm 0,046$	1,44
	$5,46 \pm 0,079$	1,45
	$7,78 \pm 0,111$	1,41
	$7,32 \pm 0,105$	1,43
150-200	$7,39 \pm 0,106$	1,43
	$16,4 \pm 0,236$	1,43
	$14,22 \pm 0,203$	1,427
	$14,98 \pm 0,214$	1,428
	$16,47 \pm 0,236$	1,433
	$12,07 \pm 0,18$	1,47

Tabel 4 Hasil pengolahan resistivitas di laboratorium *Bore hole 2*

Kedalaman (cm)	$\rho \pm \Delta\rho$ (Ω m)	Ketidakpastian Relatif (%)
0 - 50	$15,96 \pm 0,24$	25,85
	$7,68 \pm 0,12$	7,29
	$4,09 \pm 0,06$	5,22
	$4,63 \pm 0,07$	6,74
	$10,86 \pm 0,26$	14,24
50 - 100	$54,75 \pm 0,26$	7,32
100 - 150	$4,28 \pm 0,06$	3,61
	$4,17 \pm 0,06$	3,55
	$8,64 \pm 0,12$	1,60
150 - 200	$9,82 \pm 0,14$	1,43
	$8,74 \pm 0,12$	1,44
	$15,7 \pm 0,23$	1,45

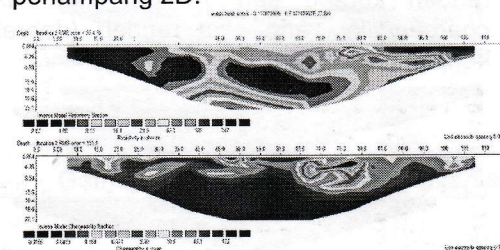
Tabel 5 Hasil pengolahan resistivitas di laboratorium pada *Bore hole 3*

Kedalaman (cm)	$\rho \pm \Delta\rho$ (Ω m)	Ketidakpastian Relatif (%)
0 - 50	$57,84 \pm 0,94$	1,62
	$271,5 \pm 4,28$	1,57
	$438,8 \pm 1,92$	0,44
50 - 100	$102,8 \pm 1,92$	1,87
	$62,87 \pm 0,97$	1,55
	$118,7 \pm 1,76$	1,48
100 - 150	$21,28 \pm 0,41$	1,93
	$85,79 \pm 1,27$	1,48
	$3369 \pm 56,51$	1,68
150 - 200	$80,68 \pm 1,38$	1,71
	$1094,5 \pm 24,05$	2,20

Hasil Pengolahan Data dan Interpretasi Data Geolistrik mapping

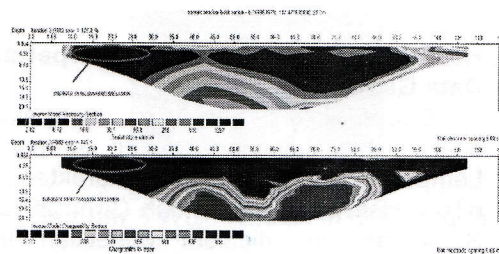
Deerah lokasi penelitian merupakan daerah yang didominasi oleh lempung. Lempung diketahui memiliki karakteristik nilai resistivitas yang rendah (Arbi, 2012). Sementara itu didalam penelitian ini, dilakukan penentuan lapisan kontaminan yang memiliki karakteristik nilai resistivitas yang juga rendah. Untuk dapat menentukan bahwa suatu lapisan tersebut merupakan suatu kontaminan maka diperlukan data pendukung lain, yaitu: *chargeability*. Data pendukung tersebut dibutuhkan karena lempung memiliki nilai *chargeability* yang tinggi akibat mineral-mineral bijih (*ore*) yang terdapat pada lempung mudah terpolarisasi (Arbi, 2012).

Berikut adalah hasil dari pengolahan *Res2dinv* berupa sebaran nilai-nilai resistivitas (Gambar 7 s.d. Gambar 16 atas) dan sebaran nilai-nilai *chargeability* (Gambar 7 s.d. Gambar 16 bawah) berdasarkan perbedaan warna dari penampang 2D.

**Gambar 7** Hasil permodelan inversi Lintasan 1

Gambar 7 merupakan hasil inversi data pada lintasan 1 yang terdiri dari 24 elektroda dengan jarak antar elektroda berkisar 5 m. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa rentang nilai resistivitas pada lintasan 1 adalah 2,07 s.d. 247 Ω m dan rentang nilai *chargeability* pada lintasan 1 adalah 0,0105 s.d. 172 Ω m serta kedalaman maksimum yang didapatkan ialah 23,1 m.

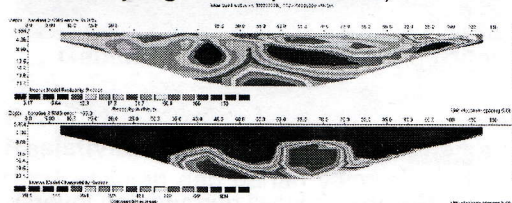
Pada hasil permodelan inversi lintasan 1 tersebut tidak ditemukan adanya indikasi kontaminan yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas dan *chargeability* yang sama-sama rendah.



Gambar 8 Hasil permodelan inversi
Lintasan 2

Gambar 8 merupakan hasil inversi data pada lintasan 2 yang terdiri dari 24 elektroda dengan jarak antar elektroda berkisar 5 m. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa rentang nilai resistivitas pada lintasan 2 adalah $2,82 \Omega\text{m}$ s.d. $1227 \Omega\text{m}$ dan rentang nilai *chargeability* pada lintasan 2 adalah $0,123 \Omega\text{m}$ s.d. $814 \Omega\text{m}$ serta kedalaman maksimum yang didapatkan ialah 23,1 m.

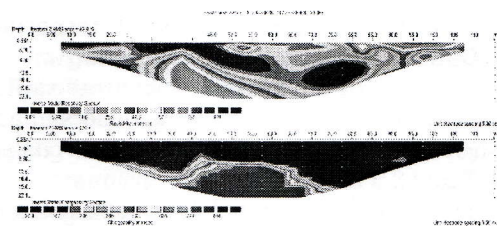
Pada hasil permodelan inversi pada lintasan 2 ditemukan adanya indikasi kontaminan limbah melamin yang terlihat pada titik-titik awal lintasan. Daerah tersebut memiliki nilai resistivitas yang rendah kurang dari $10 \Omega\text{m}$ dan nilai *chargeability* yang juga rendah (daerah konduktif yang sulit terpolarisasi).



Gambar 9 Hasil permodelan inversi
Lintasan 3

Gambar 9 merupakan hasil inversi data pada lintasan 3 yang terdiri dari 24 elektroda dengan jarak antar elektroda berkisar 5 m. berdasarkan hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa rentang nilai resistivitas pada lintasan 3 adalah $28,1 \Omega\text{m}$ s.d. $178 \Omega\text{m}$ dan rentang nilai *chargeability* pada lintasan 3 adalah $28,1 \Omega\text{m}$ s.d. $838 \Omega\text{m}$ serta kedalaman maksimum yang didapatkan ialah 23,1 m.

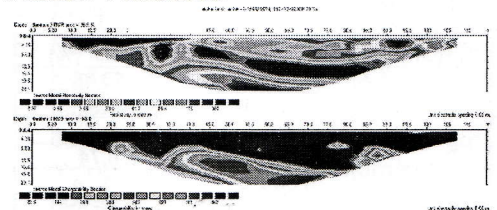
Pada hasil permodelan inversi lintasan 3 tersebut tidak ditemukan adanya indikasi kontaminan yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas dan *chargeability* yang sama-sama rendah.



Gambar 10 Hasil permodelan inversi
Lintasan 4

Gambar 10 merupakan hasil inversi data pada lintasan 3 yang terdiri dari 24 elektroda dengan jarak antar elektroda berkisar 5 m. berdasarkan hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa rentang nilai resistivitas pada lintasan 4 adalah $2,81 \Omega\text{m}$ s.d. $401 \Omega\text{m}$ dan rentang nilai *chargeability* pada lintasan 4 adalah $27 \Omega\text{m}$ s.d. $864 \Omega\text{m}$ serta kedalaman maksimum yang didapatkan ialah 23,1 m.

Apabila dilihat sekilas pada lintasan 4 terdapat daerah yang memiliki nilai resistivitas dan *chargeability* yang sama-sama rendah. Namun nilai yang menunjukkan nilai yang sama rendah ini bukan berarti merupakan indikasi dari kontaminan melainkan merupakan indikasi dari aliran air yang mengalir di daerah lintasan 4 tersebut.

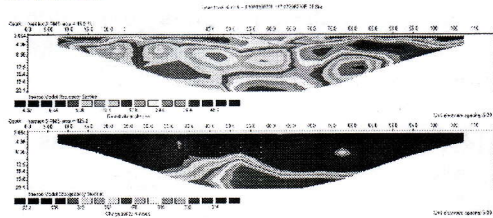


Gambar 11 Hasil permodelan inversi
Lintasan 5

Gambar 11 merupakan hasil inversi data pada lintasan 5 yang terdiri dari 24 elektroda dengan jarak antar elektroda berkisar 5 m. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa rentang nilai resistivitas pada lintasan 5 adalah $2,37 \Omega\text{m}$ s.d. $358 \Omega\text{m}$ dan rentang nilai *chargeability* pada lintasan 5 adalah $23,6 \Omega\text{m}$ s.d. $863 \Omega\text{m}$ serta kedalaman maksimum yang didapatkan ialah 23,1 m.

Apabila dilihat sekilas pada titik-titik awal lintasan 5 terdapat daerah yang memiliki nilai resistivitas dan *chargeability* yang sama-sama rendah. Namun, nilai yang menunjukkan nilai yang sama rendah ini bukan merupakan indikasi dari kontaminan melainkan indikasi dari aliran

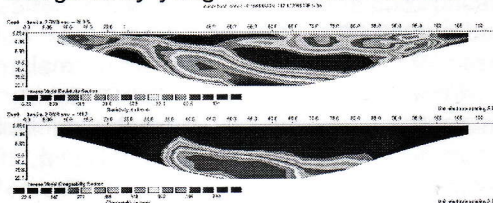
air yang mengalir di daerah lintasan 5 tersebut.



Gambar 12 Hasil permodelan inversi Lintasan 6

Gambar 12 merupakan hasil inversi data pada lintasan 6 yang terdiri dari 24 elektroda dengan jarak antar elektroda berkisar 5 m. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa rentang nilai resistivitas pada lintasan 6 adalah 4,60 Ωm s.d. 48,1 Ωm dan rentang nilai *chargeability* pada lintasan 3 adalah 22,4 Ωm s.d. 816 Ωm serta kedalaman maksimum yang didapatkan ialah 23,1 m.

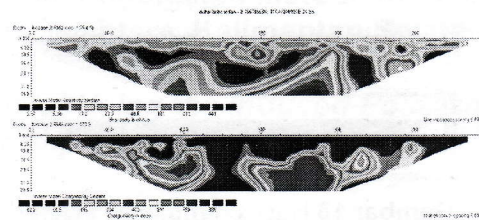
Pada hasil permodelan inversi lintasan 6 tersebut tidak ditemukan adanya Indikasi kontaminan yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas dan *chargeability* yang sama-sama rendah.



Gambar 13 Hasil permodelan inversi Lintasan 7

Gambar 13 merupakan hasil inversi data pada lintasan 7 yang terdiri dari 24 elektroda dengan jarak antar elektroda berkisar 5 m. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa rentang nilai resistivitas pada lintasan 7 adalah 5,23 Ωm s.d. 131 Ωm dan rentang nilai *chargeability* pada lintasan 7 adalah 23,8 Ωm s.d. 890 Ωm serta kedalaman maksimum yang didapatkan ialah 23,1 m.

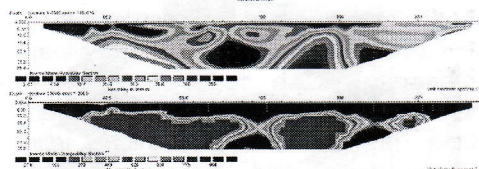
Apabila dilihat sekilas pada titik-titik pertengahan lintasan 7 terdapat daerah yang memiliki nilai resistivitas dan *chargeability* yang sama-sama rendah. Namun, nilai yang menunjukkan nilai yang sama rendah ini bukan merupakan indikasi dari kontaminan melainkan indikasi dari aliran air yang mengalir di daerah lintasan 7 tersebut.



Gambar 14 Hasil permodelan inversi Lintasan 8

Gambar 14 merupakan hasil inversi data pada lintasan 8 yang terdiri dari 48 elektroda dengan jarak antar elektroda berkisar 5 m. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa rentang nilai resistivitas pada lintasan 8 adalah 2,58 Ωm s.d. 497 Ωm dan rentang nilai *chargeability* pada lintasan 8 adalah -82,2 Ωm s.d. 889 Ωm serta kedalaman maksimum yang didapatkan ialah 35,8 m.

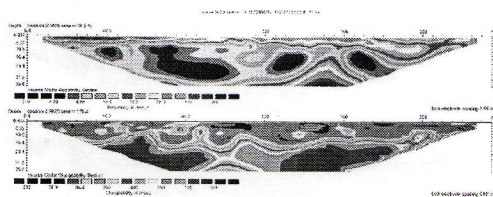
Pada hasil permodelan inversi lintasan 8 tersebut tidak ditemukan adanya indikasi kontaminan yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas dan *chargeability* yang sama-sama rendah.



Gambar 15 Hasil permodelan inversi Lintasan 9

Gambar 15 merupakan hasil inversi data pada lintasan 9 yang terdiri dari 48 elektroda dengan jarak antar elektroda berkisar 5 m. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa rentang nilai resistivitas pada lintasan 2 adalah 2,56 Ωm s.d. 305 Ωm dan rentang nilai *chargeability* pada lintasan 2 adalah 27,6 Ωm s.d. 904 Ωm serta kedalaman maksimum yang didapatkan ialah 35,8 m.

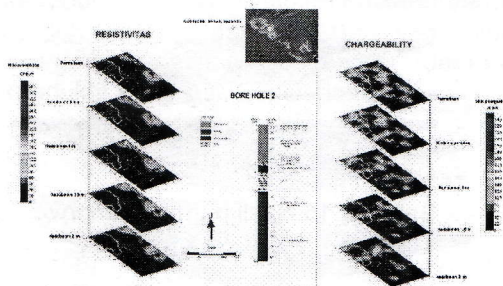
Pada hasil permodelan inversi pada lintasan 9 ditemukan adanya indikasi kontaminan limbah melamin yang terlihat pada jarak antara 40 s.d. 120 m. Daerah tersebut memiliki nilai resistivitas yang rendah kurang dari 10 Ωm dan nilai *chargeability* yang juga rendah (daerah konduktif yang sulit terpolarisasi).



Gambar 16 Hasil permodelan inverse lintasan 10

Gambar 16 merupakan hasil inversi data pada lintasan 10 yang terdiri dari 48 elektroda dengan jarak antar elektroda berkisar 5 m. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa rentang nilai resistivitas pada lintasan 10 adalah 2,81 Ω m s.d. 212 Ω m dan rentang nilai *chargeability* pada lintasan 10 adalah -232 Ω m s.d. 876 Ω m serta kedalaman maksimum yang didapatkan ialah 35,8 m.

Pada hasil permodelan inversi lintasan 10 tersebut tidak ditemukan adanya indikasi kontaminan yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas dan *chargeability* yang sama-sama rendah.



Gambar 17 Penampang horizontal resistivitas dan chargeability setiap kedalaman 0.5 m

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa dalam menentukan daerah yang terkontaminasi melamin sangat perlu dilakukan pengaitan empat parameter. Setelah mengaitkan keempat parameter tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa daerah yang diindikasikan sebagai daerah kontaminasi melamin terdapat daerah yang ditandai kotak merah sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 16. Daerah yang diduga kontaminasi limbah mencapai kedalaman 1 m dengan semakin berkurang persetiap kedalaman.

Setelah daerah yang diduga sebagai kontaminasi diperoleh, maka dilakukan pengerjaan tahap terakhir, yaitu: menghitung luas dan volume kontaminasi melamin dengan persamaan (15) s.d persamaan (16) dan tahapan dalam

perhitungannya seperti dijelaskan dalam materi *Chargeability* dan Resistivitas dalam Perhitungan Luas dan Volume. Luas dan volume hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 16.

Tabel 16 Hasil perhitungan Luas dan volume Kontaminasi Melamin

Kedalaman (m) ($\pm 0,2$ m)	0	0,5	1	Total
Luas (m^2) ($\pm 0,25$ m^2)	241,51	254,28	259,29	755,08
Volume (m^3) ($\pm 0,13$ m^3)	120,75	127,14	129,64	377,53

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Penyebaran limbah melamin di Area "X" Bontang adalah dari arah timur laut menuju barat daya.
2. Luas daerah kontaminasi melamin di permukaan adalah sebesar $(241,51 \pm 0,25) m^2$.
Luas daerah kontaminasi melamin di kedalaman 0.5 m adalah sebesar $(254,28 \pm 0,25) m^2$.
Luas daerah kontaminasi melamin di kedalaman 1 m adalah sebesar $(259,29 \pm 0,25) m^2$.
Volume daerah kontaminasi melamin adalah sebesar $(377,53 \pm 0,13) m^3$.
3. Nilai resistivitas limbah melamin adalah sebesar $(4,22 \pm 0,04) \Omega$ m.

Ucapan Terimakasih

Penulis berterimakasih kepada Pemerintah 'Provinsi Kalimantan Timur atas pemberian beasiswa Kaltim Cemerlang.

DAFTAR PUSTAKA

- Arbi, Sulistyo yan. 2012. *Pemetaan sebaran air lindi di daerah TPA Depok dengan menggunakan metode resistivity dan IP*. Universitas Indoneia: Depok.
- Sentra Informasi Keracunan Nasional. 2011. *Melamin*.
- Situmorang, Adil. 2015. *Pra-Rancangan Pabrik Melamin dari Urea dengan Proses Chemie Linz dengan Kapasitas 40.000 ton/tahun*. Universitas Sumatra Utara: Medan.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.C. 2004. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press: USA.