

Model Laboratorium Lapangan Identifikasi Limbah Cair Menggunakan Metode *Cross-Hole* Geolistrik Resistivitas

Reza Devianta, Budi Legowo, Hery Purwanto

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret
Hieza51@gmail.com

Received 02-01-2013, Revised 25-03-2013, Accepted 01-04-2012, Published 13-10-2013

ABSTRACT

It has been done a cross-hole method of field laboratory geoelectrical resistivity to identify the wastewater in Grogol, Gatak, Delanggu, Jawa Tengah. Measurements were performed using McOHM 2119C-EL OYO Resistivity meter. The Anomaly of the object that has given of this research is wastewater. The data acquisition of cross-hole model use dipole-dipole geoelectrical configuration. The distance between the two boreholes is 3 m and spaced electrodes that used are 0,1 m; 0,2 m; 0,3 m and 0,4 m. The Data will be taken from the movement of saline water anomaly that mobiles on the ground and each taking every 4 days for 5 times of the data acquisition. A description of the result of the anomaly will be reviewed using RES2DINV 3.56 software. The visualization of the movement of wastewater model on day 4th is at a depth of 0,4 m – 0,6 m at a distance $x = 0,5 \text{ m} - 2,5 \text{ m}$ with resistivity $10 - 10,8 \Omega\text{m}$. On day 8th is located at a depth $x = 0,5 \text{ m} - 0,8 \text{ m}$, $x = 0,5 \text{ m} - 2,5 \text{ m}$ with resistivity $10 - 14 \Omega\text{m}$. And on day 12th is located at a depth of 0,8 m – 1,2 m at a distance $x = 0 \text{ m} - 0,5 \text{ m}$, $x = 2,5 \text{ m} - 3,0 \text{ m}$ and $x = 1,5 \text{ m} - 2,5 \text{ m}$ with a resistivity of $12,4 - 15 \Omega\text{m}$.

Keywords: Cross-hole, geoelectric, wastewater, resistivity

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian skala laboratorium lapangan identifikasi limbah cair menggunakan metode *cross-hole* geolistrik resistivitas di Dusun Grogol, Desa Gatak, Kecamatan Delanggu, Jawa Tengah. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat *Resistivity* meter OYO model 2119C McOHM-EL. Model anomali objek yang telah diberikan dari penelitian ini yaitu air garam. Akuisisi data metode *cross-hole* menggunakan konfigurasi geolistrik *dipole-dipole*. Jarak antara 2 *borehole* 3 m dan spasi elektroda yang digunakan 0,1 m; 0,2 m; 0,3 m dan 0,4 m. Pergerakan limbah cair yang bergerak di tanah akan di ambil datanya setiap 4 hari sekali selama 5 kali akuisisi data. Gambaran mengenai hasil anomali akan dilihat menggunakan *software RES2DINV* versi 3.56. Visualisasi pergerakan model limbah cair terlihat setelah 4 hari pada kedalaman 0,4 m – 0,6 m pada jarak $x = 0,5 \text{ m} - 2,5 \text{ m}$ dengan resistivitas $10 - 10,8 \Omega\text{m}$. Hari ke 8 terletak pada kedalaman 0,5 m – 0,8 m pada jarak $x = 0,5 \text{ m} - 2,5 \text{ m}$ dengan resistivitas $10 - 14 \Omega\text{m}$. Hari ke 12 terletak pada kedalaman 0,8 m – 1,2 m pada jarak $x = 0 \text{ m} - 0,5 \text{ m}$, $x = 2,5 \text{ m} - 3,0 \text{ m}$ dan $x = 1,5 \text{ m} - 2,5 \text{ m}$ dengan resistivitas $12,4 - 15 \Omega\text{m}$.

Kata kunci : *Cross-hole*, geolistrik, limbah cair, resistivitas.

PENDAHULUAN

Penelitian skala laboratorium dan laboratorium lapangan memiliki permasalahan dalam menginterpretasi data. Skala laboratorium memiliki permasalahan pada kehomogenan lapisan tanah yang berpengaruh pada nilai resistivitas dan tepi akuarium menghambat arus yang mengalir sehingga memerlukan ralat data^[1,2]. Skala laboratorium lapangan memiliki

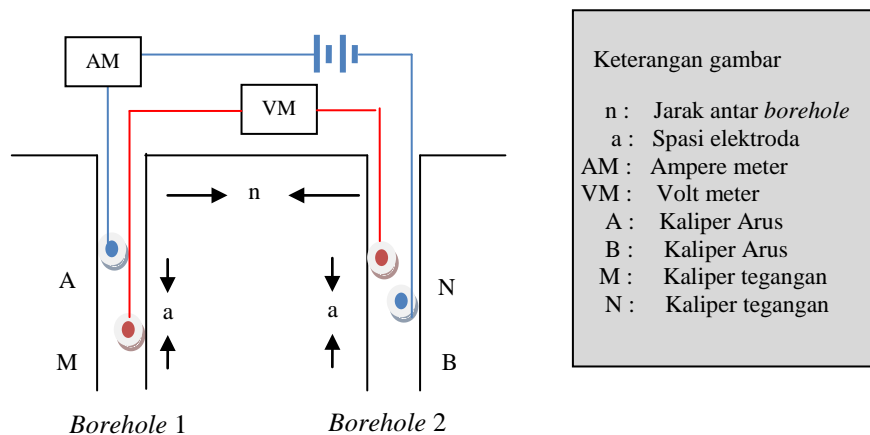
kekurangan dalam penggambaran kondisi visual distribusi resistivitas bawah permukaan tanah karena survei dilakukan di atas permukaan tanah^[3]. Sehingga diperlukan suatu metode yang dapat menggambarkan distribusi resistivitas untuk mengetahui kondisi bawah permukaan secara baik.

Prabowo dkk (2006)^[4] melakukan penelitian menganalisa anomaly besi beton silindris yang ditanam di dalam tanah menggunakan metode *cross-hole* geolistrik resistivitas. Interpretasi data menunjukkan visualisasi letak anomaly dan distribusi resistivitas tanah. Metode *cross-hole* geolistrik resistivitas yang digunakan dalam penelitian memiliki kelebihan dalam memberikan informasi mengenai distribusi resistivitas antara dua lubang *borehole*^[5].

Kelebihan metode *cross-hole* geolistrik dalam menentukan anomaly diterapkan pada penelitian ini untuk mengidentifikasi limbah cair. Limbah cair dituangkan pada permukaan tanah dan dibiarkan sampai meresap ke lapisan tanah. Setelah beberapa hari limbah cair akan bergerak ke lapisan bawah tanah. Metode *cross-hole* digunakan untuk mengidentifikasi visualisasi pergerakan limbah cair yang meresap di lapisan tanah setelah beberapa hari. Limbah cair digunakan karena memiliki nilai kontras resistivitas dengan lapisan tanah sehingga mudah dalam menginterpretasi.

METODE

Lokasi pengambilan data dilakukan di Dusun Grogol, Desa Gatak, Kecamatan Delanggu, Jawa Tengah. Model anomaly limbah cair berupa air garam sebanyak 33,2 liter dengan resistivitas $10 \Omega\text{m}$. Akuisisi data dilakukan 5 kali. Waktu setiap akuisisi data 4 hari sekali. Konfigurasi yang digunakan dalam penelitian adalah *cross-hole dipole-dipole* AM-NB dengan spasi antar elektrodanya adalah 0,1 m, 0,2 m, 0,3 m dan 0,4 m.



Gambar 1. (color online) Susunan elektroda *cross-hole* resistivitas^[4]

Konfigurasi *dipole-dipole* AM-BN menggunakan 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial (Gambar 1). Kaliper A dan M ditancapkan di *borehole* 1 sedangkan kaliper N dan B di *borehole* 2. *Borehole* 1 posisi kaliper A di atas kaliper M untuk setiap spasi elektroda dan pada *borehole* 2 kaliper N di atas kaliper B setiap spasi elektroda. Penempatan kaliper berfungsi mengambil data setiap spasi elektroda yang diberikan sampai pada batas kedalaman *borehole*. Hasil dari penempatan kaliper arus dan tegangan sesuai spasi elektroda yang digunakan akan memperoleh data berupa arus dan tegangan yang terukur pada alat *resistivity* meter. Ketika kaliper A dan M pada *borehole* 1 sudah tertancap dan kaliper N dan B pada *borehole* 2 sudah tertancap maka diperoleh nilai resistivitas semu dari titik itu. Interpretasi menggunakan *software RES2DINV* sehingga

diperoleh nilai distribusi resistivitas pada jarak dan kedalaman *borehole*. Resistivitas dari setiap titik ukur dapat dicari dengan menggunakan rumus^[4]:

$$\rho = K \frac{V}{I} \quad (1)$$

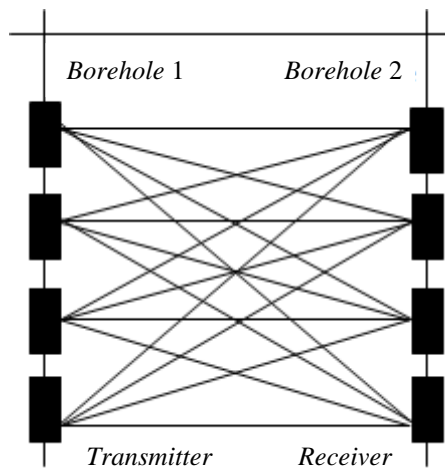
Besarnya nilai K ditentukan berdasarkan metode konfigurasi yang dipakai. Metode *cross-hole dipole-dipole* AM-NB memiliki nilai K adalah^[4]

$$K = \pi \left(\frac{a(n+a)}{n} \right) \quad (2)$$

dengan

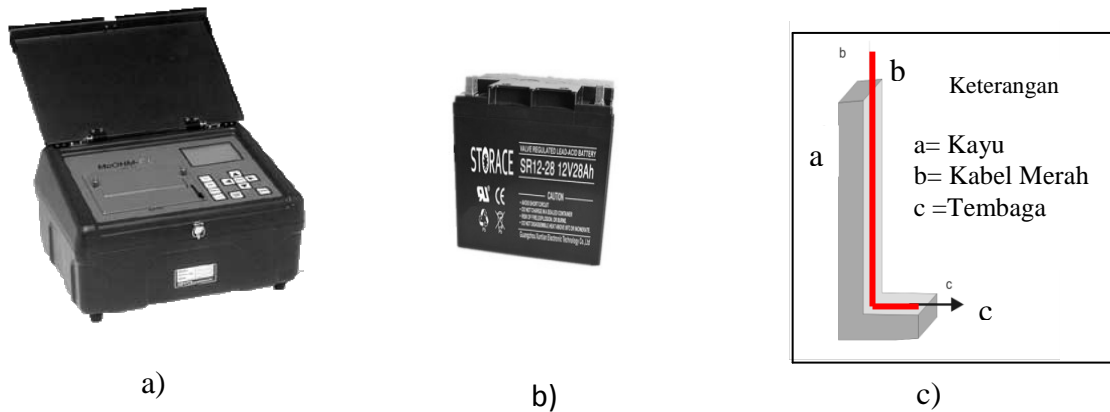
- ρ = Resistivitas bahan (Ωm)
- K = Faktor Geometri
- V = Tegangan terukur (mV)
- I = Arus (mA)
- a = Spasi Elektroda (m)
- n = Jarak antara *borehole* (m)

Cross-hole membutuhkan sumber (*source*) dan penerima (*receiver*) pada *borehole* (Gambar 2). Susunan konfigurasi *cross-hole* dengan menempatkan *receiver* di *borehole* kedua dan *transmitter* di *borehole* pertama. *Receiver* akan mengalirkan listrik dan hasilnya akan di tangkap oleh *transmitter*. *Receiver* akan berpindah-pindah posisinya dan *transmitter* akan menangkap hasilnya pada kedudukan yang berbeda-beda. Hasil tiap posisi *receiver* dan *transmitter* akan memberikan distribusi resistivitas^[6].



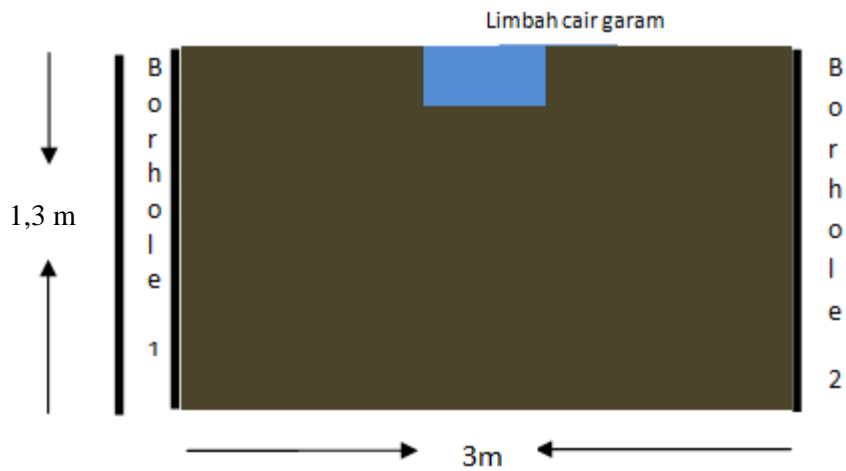
Gambar 2. Metode *cross-hole* resistivitas^[6]

Cross-hole resistivitas merupakan suatu teknik geofisika yang menggunakan sejumlah elektroda dalam *borehole* yang dapat menggambarkan distribusi resistivitas di dalam tanah. Konfigurasi yang digunakan dalam metode ini menggunakan berbagai susunan elektroda arus-potensial, seperti susunan *pole-pole*, *pole-bipole*, *bipole-pole*, *dipole-dipole*^[7]. Konfigurasi *dipole-dipole* menggunakan 4 elektroda, yaitu 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial. Konfigurasi *dipole-dipole* lebih sensitif dalam menggambarkan distribusi nilai resistivitas karena tidak memiliki *remote* elektroda. Konfigurasi *pole-pole*, *bipole-pole*, *pole-bipole* memiliki *remote* elektroda yang membuat data memiliki kesalahan dalam interpretasi^[8].



Gambar 3. (color online) a). Alat resistivity meter OYO McOHM-EL model 2119C , b). Accumulator 12 V c). Kaliper elektroda cross-hole

Gambar 3 menerangkan mengenai peralatan yang digunakan dalam penelitian *cross-hole* geolistrik. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Resistivity* meter OYO model 2119C McOHM-EL (Gambar 3.a), untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus listrik di lapisan tanah. *Accumulator* sebesar 12 V sebagai sumber tegangan (Gambar 3.b), untuk memberi tegangan pada alat *resistivity* meter sehingga dapat mengalirkan arus listrik ke lapisan tanah. Kaliper merupakan elektroda pada *borehole* yang terbuat dari kayu yang sudah terhubung dengan kabel dan di ujung kaliper terdapat tembaga (Gambar 3.c).

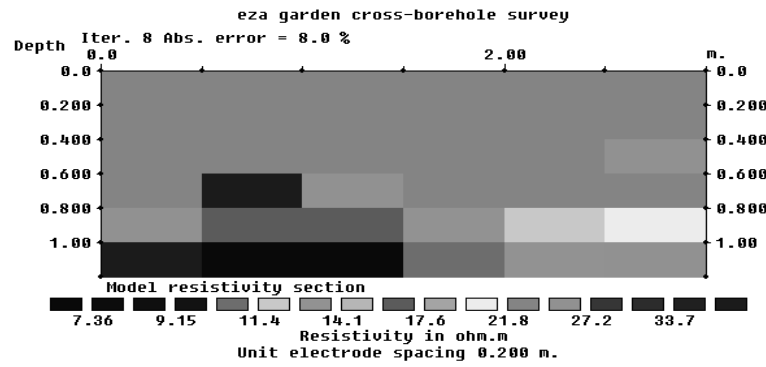


Gambar.4. (color online) Pemodelan penelitian *cross-hole* limbah cair

Pemodelan penelitian *cross-hole* limbah cair membutuhkan dua *borehole* (Gambar 4). *Borehole* memiliki kedalaman 1,3 m. Jarak antara *borehole* 1 dan *borehole* 2 adalah 3 m. Limbah cair dituangkan pada kedalaman 0,2 m dan jarak $x = 1,5 \text{ m} - 1,8 \text{ m}$.

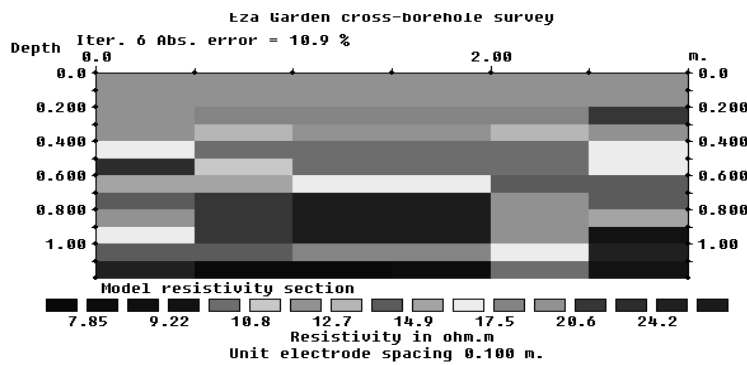
HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi nilai resistivitas dari penelitian ini terlihat dari warna antara lubang *borehole*. Warna biru diidentifikasi sebagai resistivitas yang mudah menghantarkan arus listrik sehingga memiliki nilai resistivitas kecil. Struktur tanah lanau penelitian memiliki distribusi resistivitas dari warna hijau sampai ungu dengan resistivitas 17,6 – 40 Ωm . Struktur tanah dari penelitian ini memiliki struktur tanah lanau dengan nilai resistivitas yang sesuai dengan penelitian Telford et al (1990)^[9] berkisar dari 15 – 150 Ωm .



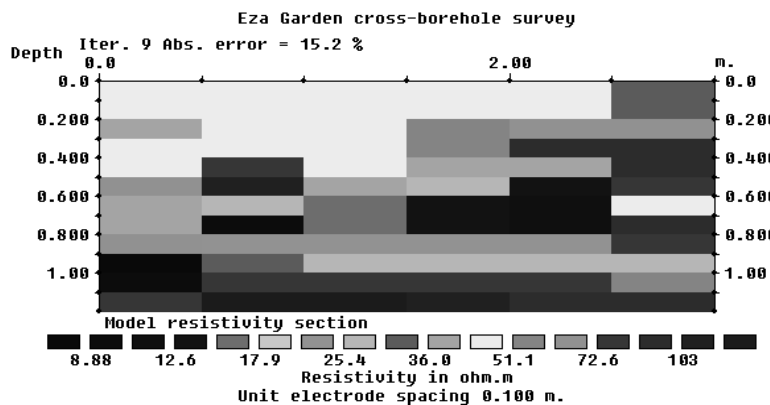
Gambar 5. (color online) Distribusi resistivitas hasil penelitian sebelum terdapat anomali

Gambar 5 menjelaskan distribusi resistivitas sebelum terdapat limbah cair dengan nilai resistivitas yang diperoleh dari 7,36 Ω m sampai 33,7 Ω m. Kondisi tanah kering berkisar pada resistivitas 21,8 Ω m sampai pada kedalaman 0,6 m. Kedalaman 0,6 m sampai 1,2 m kondisi tanah sudah bervariasi. Terdapat kondisi tanah yang lembab pada kedalaman 0,8 m sampai 1,2 m dengan resistivitas dari 7,36 Ω m sampai 17,6 Ω m.



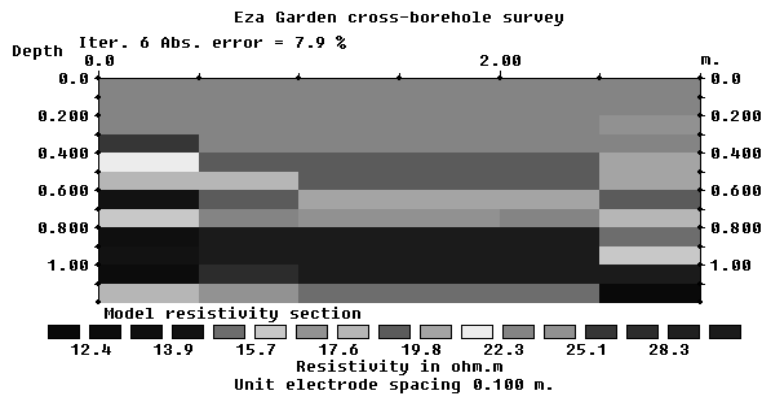
Gambar 6. (color online) Distribusi resistivitas hasil penelitian setelah 4 hari terdapat anomali

Gambar 6 menjelaskan pergerakan limbah cair terdapat pada kedalaman 0,4 m – 0,6 m pada jarak $x = 0,5$ m – 2,5 m. Resistivitas yang diperoleh bernilai 10,8 Ω m yang teridentifikasi sebagai limbah cair. Limbah cair telah turun dari posisi mula-mula 0,2 m sampai pada kedalaman 0,6 m. Keadaan tanah pada jarak $x = 0,5$ m – 1,5 m lebih tidak kompak daripada di jarak $x = 1,8$ m – 2,5 m sehingga limbah cair lebih bergerak ke arah samping kiri sampai jarak 0,5 m. Terdapat nilai resistivitas sekitar 10,8 Ω m pada kedalaman 0,5 m – 0,6 m pada jarak posisi $x = 0,5$ m – 1,0 m limbah cair mengalami kenaikan nilai resistivitas dari pendugaan awal sekitar 10 Ω m.



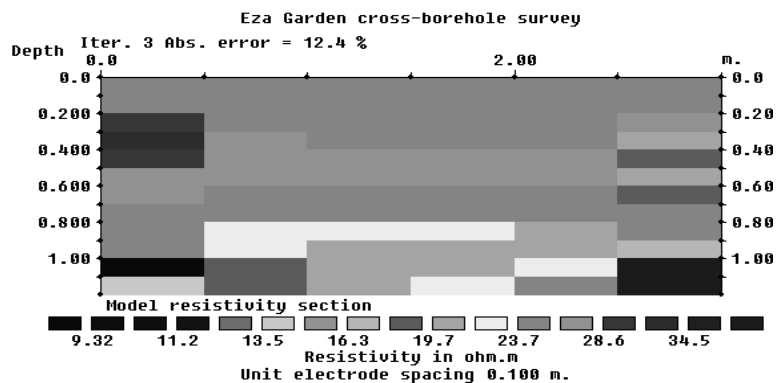
Gambar 7. (color online) Distribusi resistivitas hasil penelitian setelah 8 hari terdapat anomali

Setelah 8 hari teridentifikasi keberadaan limbah cair yang terletak pada kedalaman 0,5 m sampai 0,8 m (Gambar 7). Variasi dari distribusi limbah cair terlihat terbagi dari 5 bagian. Bagian pertama pada kedalaman 0,5 m sampai 0,6 m jarak $x = 2,0$ m sampai 2,5 m dengan nilai resistivitas $12 \Omega\text{m}$. Bagian kedua pada kedalaman 0,6 m sampai 0,8 m jarak $x = 2,0$ m sampai 2,5 m dengan nilai resistivitas $11 \Omega\text{m}$. Bagian ketiga pada kedalaman 0,6 m sampai 0,8 m jarak $x = 1,5$ m sampai 2,0 m dengan nilai resistivitas $12 \Omega\text{m}$. Bagian keempat pada kedalaman 0,6 m sampai 0,8 m jarak $x = 1,0$ m sampai 1,5 m dengan nilai resistivitas $14 \Omega\text{m}$. Bagian kelima pada kedalaman 0,7 m sampai 0,8 m jarak $x = 0,5$ m sampai 1,0 m dengan nilai resistivitas $10 \Omega\text{m}$.



Gambar 8. (color online) Distribusi resistivitas hasil penelitian setelah 12 hari terdapat anomali

Gambar 8 menjelaskan mengenai distribusi resistivitas limbah cair yang bergerak setelah 12 hari di lapisan tanah. Nilai resistivitas struktur tanah setelah 12 hari memiliki nilai resistivitas yang bervariasi. Bagian atas kondisi tanah memiliki nilai resistivitas $22,3 \Omega\text{m}$. Nilai resistivitas ini sampai pada kedalaman 0,4 m. Kedalaman 0,4 m – 0,7 m memiliki resistivitas dari $17,6 - 19,8 \Omega\text{m}$. Kedalaman 0,7 m – 0,8 m memiliki nilai resistivitas $22,3 - 25,1 \Omega\text{m}$. Kedalaman 0,8 m – 1,1 m memiliki nilai resistivitas $29 \Omega\text{m}$. Kedalaman 1,1 m - 1,2 m memiliki nilai resistivitas $15 \Omega\text{m}$ yang merupakan indikasi limbah cair pada jarak $x = 1,0$ m – 2,5 m.



Gambar 9. (color online) Distribusi hasil penelitian setelah 16 hari terdapat anomali

Identifikasi pergerakan limbah cair di bawah titik pemberian anomali sampai kedalaman 1,2 m tidak terlihat pada Gambar 9. Resistivitas limbah cair dengan nilai $10 - 15 \Omega\text{m}$ yang merupakan identifikasi dari limbah sudah tidak terlihat pada jarak $x = 0,5$ m – 2,5 m. Limbah cair teridentifikasi terlihat di dekat *borehole* pertama pada jarak $x = 0$ m – 0,5 m kedalaman 1,1 m - 1,2 m dengan resistivitas $9,32 - 13,5 \Omega\text{m}$. Distribusi nilai resistivitas dari struktur tanah memiliki nilai resistivitas $9 - 35 \Omega\text{m}$. Resistivitas lapisan tanah bernilai $23,7 \Omega\text{m}$ terdapat pada kedalaman 0 m – 0,4 m. Kedalaman 0,4 m – 0,6 m memiliki nilai

resistivitas 28,6 Ω m. Kedalaman 0,6 m – 0,8 m memiliki nilai resistivitas 23,7 Ω m. Kedalaman 0,8 m – 1,2 m memiliki variasi distribusi nilai resistivitas dari 19,7 – 23,7 Ω m.

Limbah cair dari penelitian hari ke-1 sampai hari ke-16 telah memberikan pergerakan kelapisan bawah tanah. Gerak limbah cair dalam tanah melalui pori – pori tanah dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya kapiler. Gaya gravitasi menyebabkan aliran selalu menuju ke tempat yang lebih rendah, sementara gaya kapiler menyebabkan limbah cair bergerak ke segala arah. Air kapiler selalu bergerak dari daerah basah menuju daerah yang lebih kering. Tanah kering mempunyai gaya kapiler lebih besar daripada tanah basah. Gaya tersebut berkurang dengan bertambahnya kelembaban tanah^[10]. Gaya kapiler yang bekerja terlihat pada pergerakan limbah cair yang bergerak kesamping dari posisi awal $x = 1,5$ m – 1,8 m telah bergerak sampai jarak $x = 0,5$ m dan $x = 2,5$ m. Gaya gravitasi yang bekerja terlihat pada pergerakan limbah cair kebawah dari kedalaman 0,2 m sampai 1,2 m setelah beberapa hari.

Tabel 1. Kecepatan pergerakan limbah cair

Tahap	Waktu (s)	Jarak (m)	Kecepatan (m/s)
4 Hari	345600	0,4	$1,1 \times 10^{-6}$
8 Hari	691200	0,6	$8,68 \times 10^{-7}$
12 Hari	1036800	1,0	$7,23 \times 10^{-7}$

Hasil penelitian hari ke-4 sampai hari ke-12 telah memperoleh visualisasi pergerakan limbah cair. Pergerakan limbah cair memiliki kecepatan tersendiri untuk sampai pada kedalaman tertentu hal ini terlihat pada Tabel 1. Kecepatan pergerakan limbah cair yang melalui tanah untuk bergerak ke bawah dipengaruhi oleh keadaan tanah itu mudah atau tidak dalam mengalirkan air. Permeabilitas tanah ini akan membuat limbah cair bergerak kebawah karena dapat melalui pori pori tanah. Semakin dalam posisi limbah cair di lapisan tanah maka memerlukan waktu yang lama juga. Penelitian pergerakan limbah cair ini akan membantu dalam mengidentifikasi kecepatan fluida yang bergerak kebawah tanah. Kecepatan limbah cair untuk sampai pada kedalaman 0,6 m adalah $1,1 \times 10^{-6}$ m/s yang mana ini diperoleh 4 hari setelah air bergerak dari posisi awal. Limbah cair kemudian sampai kedalaman 0,8 m setelah 8 hari yang mana ini mempunyai kecepatan $8,68 \times 10^{-7}$ m/s. Kecepatan limbah cair sampai kedalaman 1,2 m adalah $7,23 \times 10^{-7}$ m/s setelah 12 hari. Hasil kecepatan pergerakan limbah cair dari penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Wirosodarmo dkk (2000)^[11] yang mengidentifikasi kecepatan pergerakan air di tanah lanau yang memiliki kecepatan 10^{-8} - 10^{-4} m/s untuk turun ke lapisan tanah. Sehingga struktur tanah yang digunakan dari penelitian cross-hole ini adalah tanah lanau.

Tabel 4.2. Pergerakan Limbah Cair

Tahap	Posisi Limbah Cair (m)	Pergerakan Limbah Cair (m)
4 Hari	0,4 – 0,6	0,4
8 Hari	0,6 – 0,8	0,2
12 Hari	0,8 – 1,2	0,4

Penurunan perpindahan pergerakan limbah cair terlihat pada Tabel 4.2. Pada tahap hari ke-4 perpindahan limbah cair sejauh 0,4 m sedangkan pada tahap hari ke-8 perpindahan limbah cair sejauh 0,2 m. Penurunan perpindahan ini dikarenakan dengan bertambahnya waktu, permukaan bawah tanah lanau menjadi basah yang membuat gaya kapiler berkurang,

sehingga laju infiltrasi berkurang^[11]. Pada tahap hari ke-12 diketahui pergerakan limbah cair sejauh 0,4 m. Peningkatan pergerakan limbah cair di tahap hari ke-12 diduga karena struktur tanah di kedalaman 0,8 – 1,2 m memiliki permeabilitas yang lebih baik dalam proses infiltrasi daripada permeabilitas di kedalaman 0,6 – 0,8 m.

KESIMPULAN

Limbah cair teridentifikasi terlihat setelah 4 hari pada kedalaman 0,4 m – 0,6 m pada jarak $x = 0,5 \text{ m} - 2,5 \text{ m}$ dengan resistivitas $10 - 10,8 \Omega\text{m}$. Hari ke 8 terletak pada kedalaman $0,5 \text{ m} - 0,8 \text{ m}$ pada jarak $x = 0,5 \text{ m} - 2,5 \text{ m}$ dengan resistivitas $10 - 14 \Omega\text{m}$. Hari ke 12 terletak pada kedalaman $0,8 \text{ m} - 1,2 \text{ m}$ pada jarak $x = 0 \text{ m} - 0,5 \text{ m}$, $x = 2,5 \text{ m} - 3,0 \text{ m}$ dan $x = 1,5 \text{ m} - 2,5 \text{ m}$ dengan resistivitas $12,4 - 15 \Omega\text{m}$. Pergerakan air ke dalam lapisan tanah menyesuaikan topografi daerah. Limbah cair dari penelitian ini memiliki kecepatan yang sesuai dengan kecepatan pergerakan di struktur tanah lanau.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Kanata, B dan T. Zubaidah. 2008. Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner-Schlumberger untuk Survey Pipa Bawah Permukaan. *Tekhnologi Elektro*, Vol.7 No.2, pp. 84-91.
- 2 Azhar dan G. Handayani. 2004. Penerapan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger untuk Penentuan Tahanan Jenis Batubara. *Jurnal Natur Indonesia*, Vol.6 No.2, pp. 122-126.
- 3 Priyono, J. 2009. *Pembuatan Model Lapangan untuk Pengukuran Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner*. Skripsi, Jurusan Fisika, FMIPA, UNS.
- 4 Prabowo, R.E., G. Yuliyanto dan M.I. Nurwidyanto. 2006. Pemodelan Cross-Hole Metode Geolistrik Resistivitas (Bentuk Anomali Silindirs). *Berkala Fisika*, Vol.9 No.1, pp. 26-30.
- 5 Hagrey, S.A.A. 2011. CO₂ Plume Modeling in Deep Saline Reservoirs by 2D ERT in Boreholes. *The Leading Edge*, Vol.30 No.1, pp. 24-33.
- 6 Dhu, T and G. Helnson. 2004. Numerical and laboratory investigations of electrical resistance tomography for environmental monitoring. *Mulli-Tamsa*, Vol.7 No.1, pp. 33-40.
- 7 Zhou, B and S.A. Greenhalg. 2000. Cross-hole Resistivity Tomography Using Different Electrode Configurations. *Geophysical Prospecting*, Vol. 48 No.5, pp. 887-912.
- 8 Dahlin, T., B. Zhou and P. Sjobahl. 2006. 2.5D resistivity modeling of embankment dams to assess influence from geometry and material properties. *Geophysics*, Vol.71 No.3, pp. 107-114.
- 9 Telford, W.M., L.P. Gedaart and R.E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics*, New York: Cambridge.
- 10 Wibowo, H. 2010. Laju Infiltrasi pada Lahan Gambut yang Dipengaruhi Air Tanah. *Jurnal Belian*, Vol.9 No.1, pp. 90-103.
- 11 Wirosoedarmo, R., B. Suharto dan W.R. Hijriyati. 2009. Evaluasi Laju Infiltrasi pada Beberapa Penggunaan Lahan Menggunakan Metode Infiltrasi Horton Di Sub Das Coban Rondo Kecamatan Pujon Kabupaten Malang. *Jurnal Teknologi Pertanian*, Vol.10 No.2, pp. 88-96.