

## **IDENTIFIKASI PENCEMARAN AIR TANAH DENGAN METODE GEOLISTRIK DI WILAYAH NGRINGO JATEN KARANGANYAR**

Lean Wijaya<sup>1</sup>, Budi Legowo<sup>2</sup>, Ari Handono Ramelan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret Surakarta

<sup>2</sup> Dosen Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret Surakarta

<sup>3</sup> Dosen Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Email: lean\_wijaya@yahoo.co.id

### **ABSTRAK**

**IDENTIFIKASI PENCEMARAN AIR TANAH DENGAN METODE GEOLISTRIK DI WILAYAH NGRINGO JATEN KARANGANYAR.** Telah dilakukan survei geolistrik resistivitas sounding dengan konfigurasi Schlumberger sebanyak 4 titik sounding di Desa Ngringo Kecamatan Jaten Kabupaten Karanganyar. Pengukuran resistivitas menggunakan Resistivimeter OYO model 2119C. Pengolahan data dilakukan dengan IPI2Win Ver. 2.6.3a, dengan hasil pengolahan berupa kedalaman, ketebalan dan jumlah perlapisan serta harga resistivitasnya. Hasil pengolahan ditentukan berdasarkan rekomendasi model dengan persentase error terkecil yang mengacu pada informasi pemetaan isokonduktiviti, geologi, dan data sumur penduduk. Hasil penelitian yaitu persebaran pencemaran airtanah di Desa Ngringo tidak merata. Pencemaran diidentifikasi pada kedalaman 13,6 - 23,6 meter dengan arah aliran dari Utara ke Selatan dengan daerah persebaran di Selatan dan pada kedalaman 7,5 - 60 meter dengan arah aliran dari Barat ke Timur dengan daerah persebaran di Timur. Pencemaran airtanah tidak terjadi pada daerah persebaran sebelah Utara dengan akifer teridentifikasi pada kedalaman 157 meter. Persebaran pencemaran airtanah secara keseluruhan di Desa Ngringo Kecamatan Jaten tidak merata, pencemaran terjadi akibat rembesan pencemaran dari sungai pada daerah dengan radius kurang dari 1 km dari sungai.

*Kata kunci : resistivitas, isokonduktiviti, pencemaran airtanah, arah persebaran*

### **ABSTRACT**

**IDENTIFICATION CONTAMINATION GROUNDWATER WITH GEOELECTRICAL AT NGRINGO JATEN KARANGANYAR.** Geoelectrical resistivity surveys have been conducted using Schlumberger sounding configuration of 4 points at Ngringo Jaten Subdistrict Karanganyar District. Measurements were carried out using OYO model 2119C Resistivimeters. Data was processed using IPI2Win Ver. 2.6.3a, with the results of processing in the form of depth, thickness and number of layers and the resistivity value. Results of data processing was determined based on the recommendation percentage error model with the smallest to the mapping information isoconductivity, geology, and the information well. The distribution of research results of groundwater pollution in the Village Ngringo is not evenly distributed. Contamination was identified in the depth of 13.6 - 23.6 meters with a flow direction from North to South with the regional distribution in the southern and at depth of 7.5 - 60 meters with a flow direction from west to east with the regional distribution in the east. Groundwater pollution does not occur in the distribution area to the northern aquifer identified with the depth of 157 meters. Distribution of overall groundwater pollution Ngringo Village Jaten Subdistrict is uneven, contamination happens as a consequence of contamination seepage from river at area with neighbourhood of less than 1 km from river.

*Keywords: resistivity, isoconductivity, groundwater pollution, distribution direction*

## I. PENDAHULUAN

Sejak tahun 1992 sekitar 300 warga Desa Ngringo Kecamatan Jaten Kabupaten Karanganyar mengeluhkan limbah pabrik PT Palur Raya, industri pembuat bahan dasar penyedap masakan monosodium glutamate yang menyebarkan bau busuk. Pencemaran juga menyebabkan sebagian lahan sawah di Desa Ngringo tidak bisa lagi ditanami<sup>[1]</sup>.

Hasil uji laboratorium sampel limbah padat PT Palur Raya oleh laboratorium MIPA UNS adalah sebagai berikut; parameter pH dengan hasil 1,50, parameter Besi (Fe) hasil analisis 83,2 mg/100g, parameter Mangan (Mn) hasil analisis 71,3 mg/100g, parameter Tembaga (Cu) hasil analisis 0,602 mg/100g, parameter Kadmium (Cd) 0,011 mg/100g, Timbel (Pb) hasil analisis 0,099 mg/100g, Nikel (Ni) hasil analisis 0,079 mg/100g, Krom total (Cr) hasil analisis 0,024 mg/100g<sup>[2]</sup>.

Pada penelitian sebelumnya terbukti bahwa metode geolistrik dapat digunakan untuk menentukan pencemaran air tanah, seperti penelitian yang dilakukan Esthi, dkk., (2008) berhasil memetakan arah penyebaran pencemaran air tanah (lindi) di sekitar TPA Putri Cempo di Kota Surakarta<sup>[3]</sup>, Ngadimin dan Handayani (2000) melakukan penelitian monitoring rembesan limbah model fisik di laboratorium dan berhasil memperkirakan penyebaran kontaminan cair dalam tanah yang diasosiasikan sebagai fluida konduktif dengan anomali konduktif (resistivitas kurang dari  $10 \Omega m$ ) menunjukkan akumulasi rembesan limbah yang dapat mencemari air tanah<sup>[4]</sup>.

Metode geolistrik terbukti merupakan metode sederhana dalam pendeteksian kualitas air tanah. Dalam penelitian ini sebelum dilakukan metode geolistrik terlebih dahulu dilakukan pemetaan isokonduktivitas. Pemetaan isokonduktivitas dilakukan dengan mengambil air sumur penduduk kemudian mengukur nilai konduktivitasnya dengan alat ukur *Conductivity/TDS* meter dan pengolahan menggunakan program *Surfer versi 8.0*.

## II. TEORI

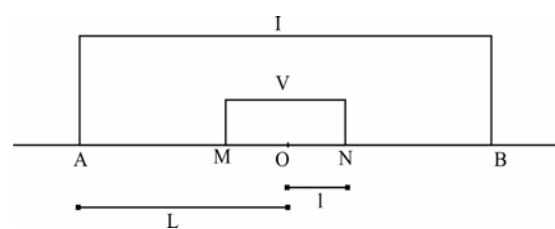
Media penyusun akifer dapat berupa pasir, kerikil, batupasir, batugamping rekahan. Terkait dengan porositas, lapisan akifer airtanah memiliki porositas yang relatif tinggi (10-40 %). Terkait dengan permeabilitas (kemampuan meloloskan air) lapisan akifer memiliki permeabilitas relatif besar (0,83-1875 cm/jam)<sup>[5]</sup>.

Terkait dengan sifat resistivitas listrik, lapisan akifer merupakan lapisan batuan yang

memiliki rentang nilai resistivitas  $1-10^8 \Omega.m$ <sup>[6]</sup>. Faktor-faktor yang berpengaruh antara lain: Komposisi litologi, kondisi batuan, komposisi mineral yang dikandung, kandungan benda cair.

Air alam mengandung zat padat terlarut yang berasal dari mineral dan garam-garam yang terlarut ketika air mengalir di bawah atau di permukaan tanah. Apabila air dicemari oleh limbah yang berasal dari industri pertambangan dan pertanian, kandungan zat padat tersebut akan meningkat. Jumlah zat padat terlarut ini dapat digunakan sebagai indikator terjadinya pencemaran air. Selain jumlah, jenis zat pencemar juga menentukan tingkat pencemaran. Air yang bersih adalah jika tingkat D.O atau *Dissolved Oxygen* (oksigen terlarut) tinggi, sedangkan B.O.D (*Biochemical Oxygen Demand*) dan zat padat terlarutnya rendah.

Konduktivitas adalah sifat menghantarkan listrik dalam air. Konduktivitas atau lebih dikenal dengan sebutan daya hantar listrik (DHL) adalah suatu besaran yang menunjukkan banyaknya ion-ion terlarut dalam air yang dapat menghantarkan arus listrik sebesar 1  $\mu$  volt pada bidang lapisan metal seluas 1  $cm^2$ . Sifat ini dipengaruhi jumlah kandungan yang disebut sebagai ion bebas. Air murni adalah air yang bebas kandungan ion bebas sehingga tidak menghantarkan listrik. Tapi pengertian untuk air yang layak konsumsi bagi manusia justru bukan air murni, tapi air murni dengan sifat konduktivitas pada taraf wajar. Karena sifat konduktivitas wajar ini diperlukan bagi metabolisme makhluk hidup. Menurut standar pemerintah Republik Indonesia berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 416/Menkes/Per/IX/1990 batas ambang sifat konduktivitas wajar adalah 1000 ppm.



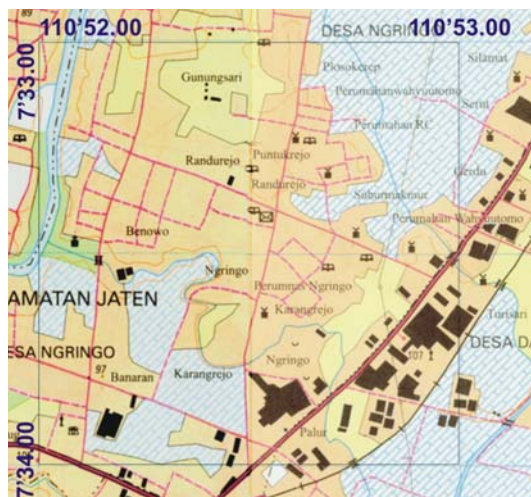
Gambar 1. Konfigurasi elektroda Schlumberger (Hendrajaya dan Arif, 1990)

Pendugaan geolistrik *sounding* dilakukan untuk perolehan data penelitian dengan menggunakan konfigurasi elektroda schlumberger dengan variasi bentangan (arus) AB/2 dari 1,5 sampai 350 m dengan bentangan elektroda potensial (MN/2) dengan variasi bentangan 0,5 sampai 25 m. Akuisisi pengambilan data survei geolistrik tahanan jenis dilakukan dengan cara arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui

dua elektroda arus, kemudian beda potensial diukur melalui dua elektroda potensial seperti pada Gambar 1. Dengan demikian resistivitas ditulis sebagai berikut<sup>[7]</sup>:

$$\rho_a = \pi \frac{(L^2 - l^2) \Delta V}{2l I} (\Omega.m) \quad (1)$$

Pengukuran dilakukan dengan mengubah-ubah jarak elektroda arus maupun potensial yang dilakukan dari jarak terkecil kemudian membesar secara gradual. Jarak elektroda ini sebanding dengan kedalaman lapisan batuan yang terdeteksi. Semakin besar jarak elektroda, semakin dalam lapisan batuan yang diselidiki. Pada Gambar 1, konfigurasi yang digunakan adalah *Schlumberger*. Penelitian ini dilakukan selama 3 bulan di wilayah Ngringo Jaten Karanganyar. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2. Peralatan yang digunakan adalah menggunakan OYO model 2119C *resistivitymeter* sebagai alat yang standard dalam eksplorasi geolistrik lapangan.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian di wilayah Desa Ngringo Kecamatan Jaten Kabupaten Karanganyar

### III. TATA KERJA (BAHAN DAN METODE)

#### III.1 Pemetaan isokonduktivitas

Dengan mengetahui koordinat titik sampel dari GPS (*Global Positioning System*) dan nilai konduktivitas air sumur sampel dari alat ukur *Conductivity/TDS* meter dapat dilakukan pemploting nilai isokonduktivitas dengan menggunakan program *Surfer versi 8.0*. Pemploting nilai isokonduktivitas dengan *Surfer versi 8.0* akan didapatkan pemetaan isokonduktivitas. Pemetaan isokonduktivitas selanjutnya digunakan untuk menentukan titik

pengukuran geolistrik. Penentuan titik pengukuran geolistrik didasarkan nilai konduktivitas tertinggi dari pemetaan isokonduktivitas.

#### III.2 Pengolahan Data

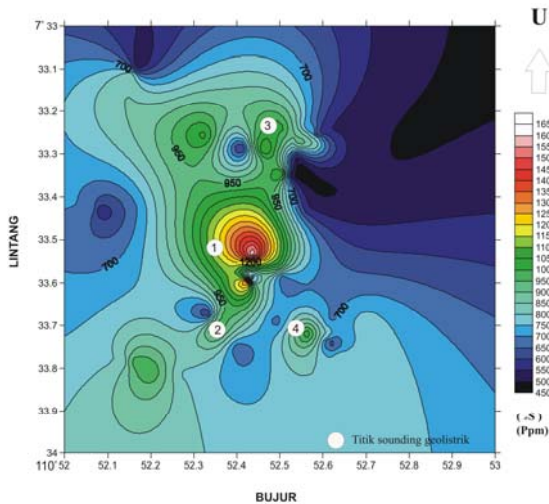
Penghalusan data program inversi *software IPI2Win Ver. 2.6. 3a* dilakukan secara otomatis tanpa harus dilakukan secara manual, namun demi mendapatkan akurasi yang tinggi perlu pencocokan antara kurva lapangan (●●) dengan kurva model (■) secara manual, lalu melakukan inversi dengan mengaktifkan tombol inversi yang ada di jendela program, langkah tersebut dilakukan secara berulang hingga kecocokan/*matching* > 90 %; setelah itu baru melakukan tahap interpretasi.

#### III.3 Interpretasi Data

Interpretasi dilakukan dengan mempertimbangkan korelasi hasil pengolahan data *software IPI2Win ver. 2.6. 3a* yang berupa informasi (nilai resistivitas, kedalaman, ketebalan) dengan pengetahuan dasar aspek-aspek tahanan jenis batuan, informasi geologi, informasi kondisi air sumur penduduk (kedalaman dan rasa) sekitar sehingga diperoleh gambaran informasi struktur batuan yang sebenarnya. Pada tahap interpretasi pencemaran air tanah memiliki nilai resistivitas yang rendah di bawah 10 ohm. meter.

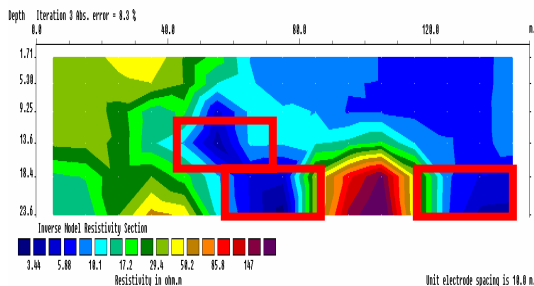
### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemetaan isokonduktivitas untuk mengetahui sebaran konduktivitas sumur permukaan secara arah lateral pada kedalaman tertentu. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan air sumur permukaan sejumlah 52 sampel. Kedalaman sumur penduduk bervariasi antara 10-30 meter. Pendeteksian konduktivitas sample air sumur dengan menggunakan alat ukur *Conductivity/TDS* meter. Dari sampel air sumur didapatkan nilai konduktivitas antara 450-1650  $\mu\text{S}$ . Data konduktivitas diolah dengan *software Surfer versi 8.0* untuk mendapatkan kontur pemetaan isokonduktivitas. Kontur isokonduktivitas menampilkan adanya anomali pada titik-titik tertentu. Karena air tercemar mempunyai nilai konduktivitas besar maka yang diperhatikan adalah anomali yang mempunyai nilai konduktivitas maksimum. Peta pemetaan isokonduktivitas dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar. 3 Kontur pemetaan isokonduktivitas

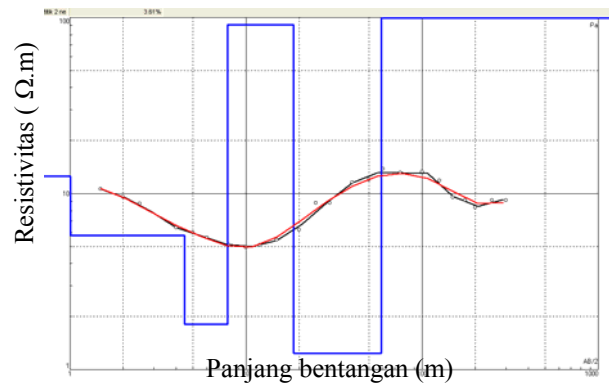
Pada lintasan *sounding* 1 pada koordinat Lintang Selatan 07°33'550" dan koordinat Bujur Timur 110°52'344" terletak di Dusun Banaran Desa Ngringo, panjang lintasan 180 m dan melewati konduktivitas tinggi 1350  $\mu\text{S}$ . Hasil dari pengolahan data *sounding* 1 di tunjukkan pada Gambar 4.



Gambar. 4 Penampang *sounding* 1

Dari Gambar 4 terlihat bahwa pada titik yang ada tanda kotak warna merah adalah daerah yang mempunyai resistivitas 3,44–5,88  $\Omega\text{m}$  (warna biru) terletak pada titik 40-80 meter dari titik awal pengukuran. Pencemaran airtanah terjadi pada kedalaman antara 8–18,4 meter di sepanjang titik 40–60 meter dari titik awal pengukuran dan kedalaman antara 17–23,6 meter di sepanjang titik 60–80 meter serta kedalaman 18,4-23,6 meter di sepanjang titik 130–145 meter. Kedalaman lapisan akifer dangkal sesuai dengan data kedalaman sumur penduduk yaitu antara 12–20 meter. Arah aliran cenderung keselatan dari titik pusat pengukuran (titik 0 meter). Titik pusat berada disebelah selatan sungai dan berjarak 30 meter dari sungai. Persebaran aliran pencemaran

airtanah terjadi pada lapisan akifer tanah dangkal dengan arah aliran utara ke selatan. Pencemaran airtanah diduga akibat rembesan limbah dari sungai.



Gambar. 5 Kurva resistivitas batuan terhadap kedalaman di titik *sounding* 2

Tabel. 1 Informasi pelapisan di titik *sounding* 2

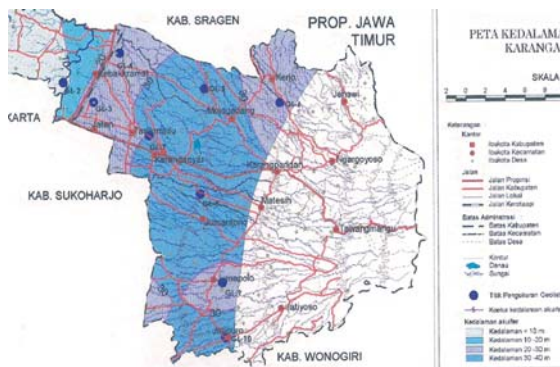
LAPISAN	RESISTIVITAS (Ohm · m)	KEDALAMAN (m)	KET.
I	12,5	1,01	Lapisan penutup
II	5,78	4,49	Lempung pasiran
III	1,81	7,89	Akifer tercemar
IV	91,1	18,6	Batu Pasir
V	1,23	58,8	Akifer tercemar

Pada titik *Sounding* 2 berada di Dusun Banaran Desa Ngringo. Hasil inversi menunjukkan 5 lapisan batuan. Hasil dari pengolahan data *sounding* 2 ditunjukkan pada Gambar 5 sedangkan interpretasi ditunjukkan pada Tabel 1. Lapisan ketiga dengan resistivitas 1,81 Ohm.m dengan kedalaman 4,49–7,89 meter dan ketebalan 3,4 meter diinterpretasikan sebagai akifer yang tercemar. Pencemaran pada lapisan ketiga terjadi akibat pembuangan limbah rumah tangga atau limbah dari pertanian mengingat pengambilan data berada pada tanah persawahan. Lapisan kelima dengan resistivitas 1,23 Ohm.m dengan kedalaman 18,6–58,8 meter diinterpretasikan sebagai akifer yang tercemar. Pada lapisan kelima pencemaran akifer terjadi pada lapisan akifer atau air tanah dangkal. Sesuai dengan data sumur penduduk sekitar dengan nilai konduktivitas tinggi dan kedalaman sumur berkisar 15-20 meter serta sesuai dengan peta *iso-resistivity* dari Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karanganyar pada Gambar 6 [8].

**Tabel. 2 Informasi pelapisan di titik sounding 4**

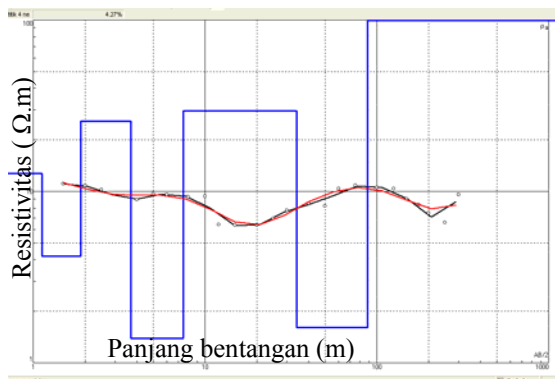
LAPISAN	RESISTIVITAS ( $\Omega \cdot m$ )	KEDALAMAN (m)	KET.
I	12,7	1,12	Lapisan penutup
II	4,19	1,89	Lempung pasiran
III	25,7	3,7	Pasir tufaan
IV	1,39	7,44	Akifer tercemar
V	29,4	34,2	Pasir tufaan
VI	1,61	88,5	Akifer tercemar

Lapisan keempat dengan resistivitas 1,39 Ohm.m yang kedalamannya 3,7 – 7,44 meter dan ketebalan 3,74 diinterpretasikan sebagai akifer tercemar. Pada lapisan keempat pencemaran diakibatkan limbah rumah tangga atau limbah pertanian mengingat pengambilan data di dekat persawahan. Pada lapisan keenam dengan resistivitas 1,61 Ohm.m dengan kedalaman 34,2 - 88,5 meter diinterpretasikan sebagai lapisan airtanah tercemar. Lapisan keenam merupakan lapisan pencemaran air tanah dangkal, mengingat kedalaman sumur penduduk berkisar antara 15 – 20 meter. Kedalaman akifer sesuai dengan peta *isoresistivity* dari Dinas Lingkungan Hidup ditunjukkan Gambar 8 [8].

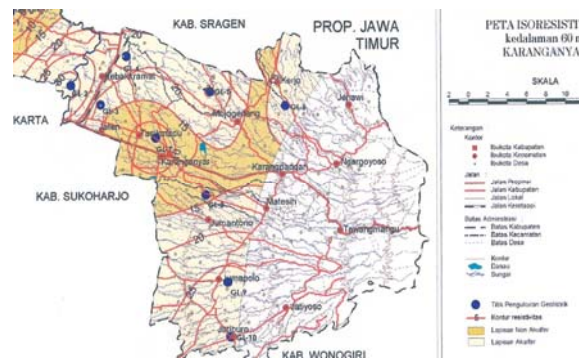


**Gambar. 6 Peta Kedalaman Akuifer Karanganyar (Dinas Lingkungan Hidup Karanganyar, 2004)**

Pada titik *Sounding* 4 berada di Dusun Karangrejo Desa Ngringo. Hasil inversi menunjukkan 6 lapisan batuan. Hasil dari pengolahan data *sounding* 4 ditunjukkan pada Gambar 7 sedangkan interpretasi ditunjukkan pada Tabel 2.



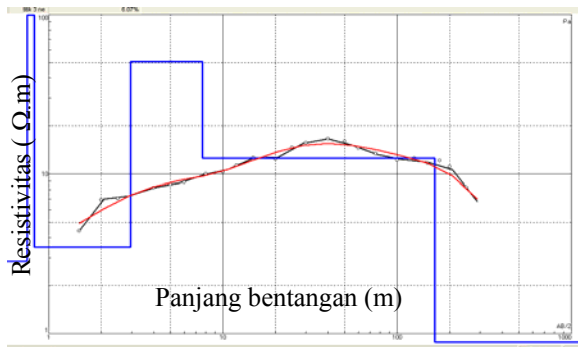
**Gambar. 7 Kurva resistivitas batuan terhadap kedalaman di titik sounding 4**



**Gambar. 8 Peta Isoresistivitas Kedalaman 60 m Karanganyar (Dinas Lingkungan Hidup Karanganyar, 2004)**

Berdasarkan penampang lateral arah Barat–Timur yang diwakili oleh titik *sounding* 2 dan titik *sounding* 4 menunjukkan pelapisan batuan menyebar tidak merata terutama lapisan batu pasir terjadi penipisan bahkan menghilangkan kearah Timur, demikian juga untuk lapisan pasir tufaan terjadi penipisan ke arah Barat. Kedalaman akifer airtanah titik *sounding* 2 yaitu 7,89 meter dan 58,8 meter sedangkan kedalaman akifer airtanah titik *sounding* 4 yaitu 7,44 meter dan 88,5 meter. Berdasarkan data kedalaman akifer tercemar maka arah aliran persebaran pencemaran air tanah diduga menyebar dari titik Barat ke Timur. Titik *sounding* 2 berada 150 meter di barat sungai dan titik *sounding* 4 berada 100 meter di timur sungai. Pencemaran akifer diduga akibat rembesan limbah dari aliran sungai.

Pada Titik *Sounding* 3 berada di Dusun Puntukrejo Desa Ngringo. Hasil inversi menunjukkan 5 lapisan batuan. Hasil dari pengolahan data *sounding* 3 ditunjukkan pada Gambar 9 sedangkan interpretasi ditunjukkan pada Tabel 3.



**Gambar. 9** Kurva resistivitas batuan terhadap kedalaman di titik *sounding* 3

**Tabel. 3** Informasi perlapisan di titik *sounding* 3

LAP ISA N	RESISTIVI TAS (Ohm · m)	KEDALA MAN (m)	KET.
I	2,85	0,75	Lapisan penutup
II	364	0.825	Batu pasir tufaan
III	3.5	2,96	Lempung
IV	50,8	7,66	Batu Pasir
V	12,5	165	Akifer

Lapisan kelima dengan resistivitas 12,5 Ohm.m dengan kedalaman 7,66-165 meter diinterpretasikan sebagai akifer. Lapisan akifer pada titik *sounding* 3 tidak terjadi pencemaran hal ini dikarenakan posisi atau koordinat daerah Puntukrejo jauh dari sungai.

Titik *sounding* 3 berada 1 km jauh dari sungai dan titik *sounding* 1, 2, dan 4. Pada titik *sounding* 3 tidak terjadi pencemaran airtanah karena tidak terjadi rembesan limbah dari sungai. Airtanah diduga berada pada kedalaman 165 meter. Persebaran pencemaran limbah tidak sampai pada titik *sounding* 3, hal ini menunjukkan bahwa pencemaran airtanah terjadi pada daerah sekitar sungai karena rembesan limbah dari sungai tersebut. Arah persebaran pencemaran airtanah menyebar di daerah sekitar sungai. Pencemaran airtanah diduga diakibatkan oleh rembesan pencemaran yang berasal dari sungai.

Persebaran pencemaran airtanah secara keseluruhan di Desa Ngringo tidak merata. Persebaran pencemaran airtanah teridentifikasi pada kedalaman 13,6–23,6 meter terletak di sebelah selatan dengan arah orientasi aliran dari Utara menuju ke Selatan. Persebaran pencemaran airtanah teridentifikasi pada kedalaman 7,5–60 meter terletak di sebelah Timur dengan arah

orientasi aliran dari Barat ke Timur. Akifer pada daerah sebelah Utara teridentifikasi pada kedalaman 157 meter dan pada daerah persebaran Utara tidak terjadi pencemaran airtanah. Dengan demikian persebaran pencemaran airtanah terletak di sebelah Selatan dan Timur dan tidak terjadi di sebelah Utara, dengan arah orientasi aliran dari Utara ke Selatan dan dari Barat ke Timur.

## V. KESIMPULAN

Hasil penelitian pendugaan pencemaran airtanah dengan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Schlumberger di Desa Ngringo, Kecamatan Jaten, Kabupaten Karanganyar dapat disimpulkan bahwa:

Persebaran Pencemaran airtanah di Desa Ngringo tidak merata. Pencemaran diidentifikasi pada kedalaman 13,6-23,6 meter dengan arah aliran dari Utara ke Selatan dengan daerah persebaran di Selatan dan pada kedalaman 7,5–60 meter dengan arah aliran dari Barat ke Timur dengan daerah persebaran di Timur. Pencemaran airtanah tidak terjadi pada daerah persebaran sebelah Utara dengan akifer teridentifikasi pada kedalaman 165 meter.

Persebaran pencemaran airtanah secara keseluruhan di Desa Ngringo Kecamatan Jaten tidak merata, pencemaran terjadi pada daerah dengan radius kurang dari 1 km dari sungai, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pencemaran airtanah terjadi akibat rembesan pencemaran dari sungai.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

1. KOMPAS, 2004, Korban Pencemaran Limbah Dapat Ganti Rugi Rp 1,1 Miliar, Diakses 1 Februari 2009, <http://www2.kompas.com/kompas-cetak/0204/06/IPTEK/korb10.htm>
2. SUARA MERDEKA, 2003, Racun Limbah Palur Raya Sulit Diurai, Diakses 1 Februari 2009, [www.terranet.or.id/goto\\_berita.php?id=5747](http://www.terranet.or.id/goto_berita.php?id=5747)
3. ESTHI, DKK., 2008, Penelitian Pencemaran Air Tanah Di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir Putri Cempo Mojosongo Surakarta Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole, Program Kreativitas Mahasiswa Penelitian Universitas Sebelas Maret.
4. NGADIMIN DAN GUNAWAN HANDAYANI, 2000, Aplikasi Metode Geolistrik Untuk Alat Monitoring Rembesan Limbah, Diakses 1 Februari 2009,

[www.fmipa.itb.ac.id/jms/file/JMS%20Vol%206-1%20Ngadimin.pdf](http://www.fmipa.itb.ac.id/jms/file/JMS%20Vol%206-1%20Ngadimin.pdf)

5. VERHOEF, P.N.W., 1992, Geologi Untuk Teknik Sipil, Erlangga, Jakarta.
6. TELFORD, W.M., GELDART, L.P., SHERIFF, R.E., KEYS, D.A., 1976, Applied Geophysics, Edisi 1, Cambridge University Press, Cambridge.
7. LILIK HENDRAJAYA DAN IDAM ARIF, 1990, Geolistrik Tahanan Jenis, Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika FMIPA ITB, Bandung.
8. DINAS LINGKUNGAN HIDUP KARANGANYAR, 2004, Peta Zonasi Tata Guna Air Bawah Tanah (ABT) Kabupaten Karanganyar, Karanganyar.