

**PENDUGAAN DISTRIBUSI PENCEMARAN AIRTANAH BEBAS DENGAN APLIKASI  
GEOLISTRIK METODE ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY (ERT) DI SEKITAR  
PABRIK GULA (PG) DAN PABRIK SPIRITUS (PS) MADUKISMO DI KECAMATAN KASIHAN,  
KABUPATEN BANTUL**

Sembodo Noviandaru Suhana  
sembodo.noviandaru@gmail.com

Tjahyo Nugroho Adji  
adji@geo.ugm.ac.id

**Abstract**

*Madukismo Sugar Factory (SF) / Methylated Spirit Factory (MSF) at Tirtonirmolo Village is manufacturing industry that moves on sugar cane processing. This industry activities are potentially produce waste. The waste, which is one of it is liquid waste, is disposed to irrigation channel. This waste potentially reduce the quality of environment, and one of the the impact is the decline of groundwater quality. The purpose of this research is to identify the distribution of contamination of unconfined groundwater around the Madukismo SF / MSF Factory by using geoelectric application with Electrical Resistivity Tomography (ERT) method. The method that is used in this research is measuring the geoelectric with ERT method by dipole-dipole configuration arrangement with 5 meters of spaces. The result of measurement show that range of the DHL value of groundwater in the research location was between 304-1050  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Then, based on the measurement on 3 lines in the zone, it was suspected that 2 lines was affected by waste. Resistivity value of groundwater contamination due to detected waste was value ranged between 5-18  $\Omega\text{m}$ , with depth between 5-6 meters in line 2 and 2-3 meters in line 3. It was evidenced by increasing TSS, TDS and COD parameter value, based on quality analysis of water. The value of COD that was a specific characteristic parameter of waste effect show the value above the standard and control point, which was 37,2 mg/l to 245 mg/l.*

**Keyword :** groundwater, groundwater contamination, geoelectrical ERT, resistivity

**Intisari**

Pabrik Gula (PG) / Pabrik Spiritus (PS) Madukismo di Desa Tirtonirmolo merupakan industri manufaktur yang bergerak di bidang pengolahan tebu. Aktivitas industri ini tentu berpotensi menghasilkan limbah. Limbah yang dihasilkan salah satunya adalah limbah cair yang dibuang melalui saluran irigasi. Limbah tersebut berpotensi menurunkan kualitas lingkungan salah satunya berupa penurunan kualitas airtanah. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi distribusi pencemaran airtanah bebas disekitar PG/PS Madukismo dengan menggunakan aplikasi Geolistrik metode *Electrical Resistivity Tomography (ERT)*. Metode yang digunakan dalam penelitian yaitu pengukuran geolistrik metode ERT dengan konfigurasi *dipole-dipole* yang disusun dengan spasi 5 meter. Hasil pengukuran menunjukkan rentang nilai DHL airtanah di lokasi penelitian berkisar antara 304-1050  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Kemudian berdasarkan pengukuran pada 3 lintasan di zona diduga terpengaruh limbah dengan rentang nilai DHL  $>550 \mu\text{S}/\text{cm}$ , terdapat 2 lintasan diduga terpengaruh limbah. Nilai resistivitas diduga pencemaran airtanah akibat limbah terideteksi memiliki rentang nilai 5-18  $\Omega\text{m}$  dengan kedalaman antara 5-6 meter pada lintasan 2 dan 2-3 meter pada lintasan 3. Hal ini dibuktikan dengan adanya peningkatan nilai parameter TSS, TDS, dan COD berdasarkan uji kualitas air. Nilai kadar COD yang merupakan parameter penciri pengaruh limbah menunjukkan nilai di atas baku mutu dan titik kontrol yaitu sebesar 37,2 mg/l hingga 245 mg/l.

**Kata kunci :** airtanah, pencemaran airtanah, geolistrik ERT, resistivitas

## PENDAHULUAN

Industri manufaktur pada dasarnya memiliki peran yang positif terhadap kondisi ekonomi dan juga sosial. Namun, pertumbuhan industri manufaktur ini kerap menimbulkan permasalahan tersendiri yang berkaitan dengan aspek lingkungan. Industri kerap dikaitkan sebagai salah satu sumber terjadinya pencemaran. Umumnya, hal ini terjadi karena adanya proses operasional dari industri. Seperti yang dijelaskan pada Kep-51/MENLH/10/1995 yang menyatakan bahwa, *setiap industri memiliki potensi mencemari lingkungan hidup sehingga diperlukan upaya pengendalian terhadap proses pembuangan limbah.*

Pabrik Gula (PG) dan Pabrik Spiritus (PS) Madukismo merupakan salah satu industri manufaktur yang terletak di Dusun Padokan, Desa Tirtonirmolo, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul yang bergerak dibidang pengolahan tebu dengan produk utama yaitu berupa gula *Superiure Hoofd Suiker* (SHS) dan spiritus. PG/PS Madukismo dalam proses operasionalnya menghasilkan limbah yaitu sebesar 3000 ton dengan berbagai bentuk, baik padatan, cair ataupun gas buangan (Anantha, 2007).

Beberapa limbah tersebut sebagian dapat diolah dan dimanfaatkan kembali untuk proses produksi. Namun, terdapat beberapa limbah cair yang dibuang ke lingkungan setelah sebelumnya diolah terlebih dulu dengan unit pengolahan limbah cair (UPLC) Madukismo. Salah satu limbah ini yaitu limbah hasil proses penyulingan alkohol yang disebut dengan *vinasse*. Limbah cair ini dibuang melalui saluran irigasi dan kemudian disalurkan ke areal pertanian masyarakat yang berada di selatan wilayah industri. Berdasarkan Astuty (2011) dan Anantha (2007), limbah *vinasse* ini berpotensi mengganggu lingkungan karena memicu peningkatan beberapa parameter dalam air seperti TSS, TDS, COD, BOD, dan Sulfida. Melalui UPLC beberapa parameter tersebut dapat ditekan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Buangan limbah yang masuk areal pertanian dan bersinggungan dengan tanah secara langsung memungkinkan untuk terjadinya infiltrasi limbah cair ke dalam tanah. Kondisi ini tidak menutup kemungkinan akan

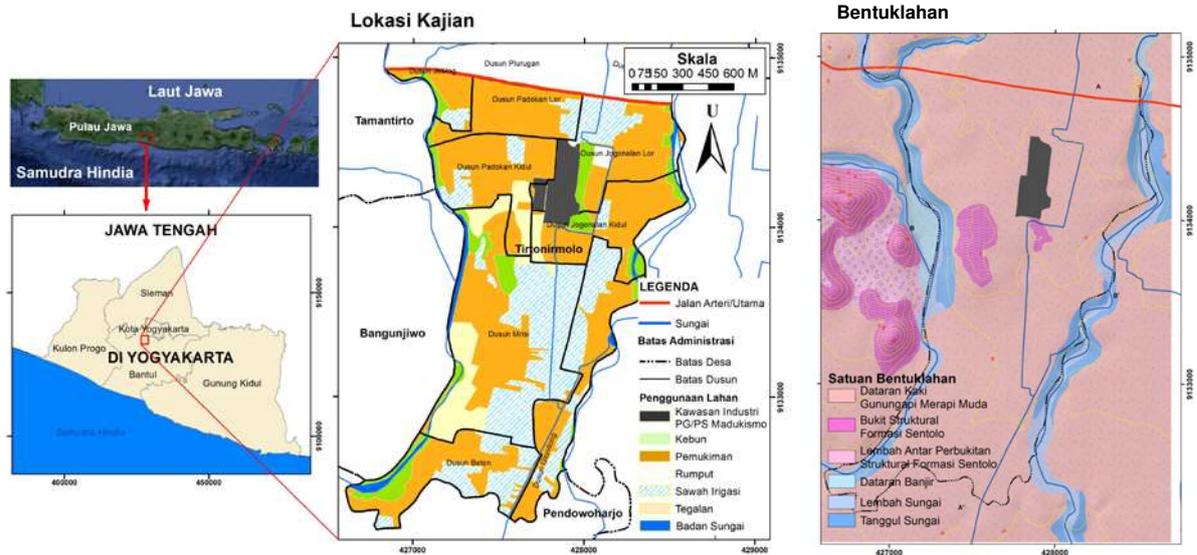
mempengaruhi kondisi airtanah bebas. Airtanah yang terimbas limbah dapat memicu penambahan konsentrasi ion dalam airtanah. Degradasi kualitas airtanah ini akan mengganggu lingkungan sekitar, dikarenakan di sekitar PG/PS Madukismo masih terdapat permukiman ataupun industri kecil yang membutuhkan suplai air dari airtanah. Hal ini yang mendasari perlunya kajian pemetaan distribusi pencemaran airtanah pada lokasi ini, secara lebih detail kondisi wilayah dapat dilihat pada Gambar 1.

**Tabel 1.** Hasil Analisis Lab. Limbah *Vinasse*

No.	Sumber <i>Vinasse</i>	Suhu (°C)	pH	BOD (ppm)	COD (mg/l)
	Baku Mutu Kelas 1	-	-	2	10
1	<i>Vinasse</i> dari PS	95	4	57.875	115.750
2	Limbah masuk UPLC	85	4	53.940	107.880
3	Limbah keluar UPLC	29	4,6	5.023	10.044

Analisis kualitas airtanah dapat dilakukan dengan banyak metode. Pemetaan distribusi pencemaran airtanah dalam penelitian ini dilakukan dengan membuat zonasi nilai DHL airtanah serta menggunakan aplikasi geolistrik untuk mengetahui persebaran vertikal pencemaran. Aplikasi geolistrik sendiri dapat diterapkan dengan berbagai metode, salah satunya yaitu *Electrical Resistivity Tomography (ERT)*. ERT merupakan metode geolistrik multi elektroda yang dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang kondisi material bawah permukaan bumi berdasarkan pola distribusi dari nilai resistivitas (Lowrie, 2007).

Nilai resistivitas memiliki variasi yang berbeda-beda untuk formasi yang ada, hal ini dipengaruhi oleh beberapa aspek antara lain, yaitu : jenis material, densitas, porositas, ukuran dan bentuk pori dari material, kadar dan kualitas air yang terkandung, serta temperatur. Selain itu, nilai resistivitas juga dapat dikontrol oleh kondisi air yang berada di dalam tanah, termasuk kualitas air yang dapat dipengaruhi oleh formasi batuan maupun pengaruh dari luar lainnya (Todd, 1980). Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi distribusi pencemaran airtanah bebas di sekitar Pabrik Gula (PG) dan Pabrik Spiritus (PS) Madukismo dengan menggunakan aplikasi Geolistrik metode *electrical resistivity tomography (ERT)*.



Gambar 1. Peta Administrasi dan Bentuklahan Lokasi Kajian

## METODE PENELITIAN

### Data, Alat dan Bahan

Terdapat beberapa data yang diperlukan untuk menjawab tujuan dari penelitian ini, yaitu terdiri dari data primer dan data sekunder, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data yang Dibutuhkan

Data	
Tinggi muka airtanah (TMA)	Data bor litologi
Pengukuran nilai DHL airtanah	Parameter COD, TSS, TDS dari sampel kualitas airtanah
Pengukuran DHL irigasi	Pengukuran nilai resistivitas metode ERT konfigurasi <i>dipole-dipole</i>

Alat yang digunakan dalam proses pengumpulan dan pengolahan data ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Alat Penelitian

Nama Alat	
Pita ukur	Kompas geologi
<i>Electrical Conductivity meter</i> (EC meter)	Botol sampel
<i>Global Positioning System</i> (GPS)	Checklist
Alat tulis	Laptop
Kamera	<i>Ms. Office</i>
<i>Software</i> RockWork	<i>Software</i> X2IPI
<i>Software</i> Corel Draw	<i>Software</i> RES2Dinv

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini secara rinci ditunjukkan pada Tabel 3, bahan ini diperoleh dari berbagai sumber.

Tabel 3. Bahan Penelitian

Bahan	Sumber
Peta RBI Skala 1 : 25.000 lembar Yogyakarta	Badan Informasi Geospasial (BIG)
Peta Geologi Bersistem Jawa Lembar Yogyakarta skala 1:100.000	Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi
Peta Geologi dan Tata Lingkungan Lembar Yogyakarta (Jawa) skala 1:100.000	Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan
Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar Yogyakarta (Jawa) skala 1:250.000	Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan
Base Map Imagery	Google Earth
Literatur	Berbagai sumber
Baku Mutu Air Peraturan Gubernur No. 20 Tahun 2008	Peraturan Gubernur

### Teknik sampling, Pengumpulan, Pengolahan, dan Analisis Data

#### a. Pembuatan Peta Aliran Airtanah (*Flownets*)

Pemetaan arah aliran airtanah (*flownets*) di lokasi kajian dilakukan dengan mengambil data kedalaman muka airtanah (MAT) dan elevasi pada beberapa sumur pengamatan. Titik sumur pengamatan ditentukan secara *systematic sampling* melalui pembuatan *grid* dengan ukuran 300x300 meter dalam peta survei. Setiap kotak *grid* nantinya akan diambil satu sampel sumur secara acak. Sementara itu, untuk memperoleh data TMA, hasil dari data

pengukuran di lapangan diolah secara matematis dengan rumus perhitungan sebagai berikut :

$$TMA = \text{elevasi-kedalaman muka airtanah} \dots\dots(1)$$

Data ketinggian muka airtanah yang telah diperoleh kemudian diubah menjadi kontur airtanah dengan memanfaatkan metode *three point problem*. Selanjutnya, dibuat pola arah aliran airtanah (*flownets*) yang memotong tegak lurus kontur airtanah. Teknik analisis data yang digunakan untuk menganalisis hasil dari peta *flownets* yaitu analisis deskriptif.

b. Pembuatan Peta Persebaran Nilai Daya Hantar Listrik (*iso-DHL*)

Pembuatan peta *iso-DHL* dilakukan dengan pengukuran daya hantar listrik (DHL) pada sampel airtanah dengan menggunakan alat EC meter. Teknik *sampling* yang digunakan adalah *systematic sampling* dengan memanfaatkan *grid* ukuran 300x300 meter. Nilai DHL diolah dengan menggunakan metode *three point problem* yang bertujuan untuk membuat interpolasi nilai dan menghasilkan kontur persebaran nilai DHL atau *iso-DHL*. Metode analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif dan analisis komparatif.

c. Pembuatan Peta Persebaran Pencemaran Airtanah Bebas

Klasifikasi tingkat pencemaran airtanah didasarkan atas nilai DHL pada beberapa titik saluran irigasi tercemar dan tidak tercemar. Hasil pengukuran tersebut kemudian dapat diklasifikasikan menjadi kelas tidak tercemar, tercemar ringan, tercemar sedang, dan tercemar berat. Metode analisis yang digunakan dalam menganalisis persebaran pencemaran airtanah yaitu dengan teknik analisis deskriptif dan komparatif.

d. Identifikasi Pencemaran Berdasarkan Nilai Resistivitas

Pengambilan titik lintasan geolistrik ERT digunakan untuk mengidentifikasi pencemaran berdasarkan nilai resistivitas. Metode *sampling* yang digunakan yaitu *purposive sampling*. Pengukuran ini dilakukan dengan konfigurasi *dipole-dipole* dan spasi antar elektroda 5 meter. Penentuan panjang lintasan ERT dilakukan dengan mempertimbangkan tujuan pengukuran dan kedalaman observasi yang diinginkan. Panjang dan kedalaman observasi saling

berkaitan, kedua data ini dapat diketahui dengan rumus :

$$AB = \frac{z}{ze/L} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

AB = Panjang lintasan ERT (m)

z = Kedalaman observasi (m)

ze/L = Faktor kedalaman.

Selain itu jumlah elektroda juga perlu diperhatikan dalam pengukuran geolistrik metode ERT. Jumlah elektroda ini dapat diketahui menggunakan rumus :

$$\sum n = (AB/a) + 1 \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan

$\sum n$  = Jumlah elektroda AB = Panjang Lintasa (m)

a = Spacing

Nilai yang didapatkan dalam pengukuran geolistrik (*electrical sounding*) yaitu berupa data arus (I) dan beda potensial (V). Kedua nilai ini dapat diubah menjadi nilai resistivitas melalui perhitungan dengan persamaan berikut :

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

R = Resistensi ( $\Omega$ ) V = Beda potensial (V)

I = Arus (A)

Perhitungan Nilai Resistivitas Semu

$$\rho_a = R k \dots\dots\dots (5)$$

$$k = \pi n (n+1)(n+2) a \dots\dots\dots (6)$$

$$\rho_a = R (\pi n (n+1)(n+2) a) \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

k = Faktor geometri  $\rho_a$  = resistivitas semu ( $\Omega m$ )

a = jarak antar elektroda (m)  $\pi = 3.14$

n = Jumlah elektroda R = Resistensi (ohm/ $\Omega$ )

Setelah didapatkan nilai resistivitas kemudian dilakukan proses *iterasi*, *trimming*, dan *inversi* dengan memanfaatkan *software* RES2Dinv, sehingga menghasilkan data penampang *resistivity pseudosection*. Berdasarkan pola nilai resistivitasnya, penampang ini diinterpretasi dengan memanfaatkan klasifikasi dari Loke (2000), Milsom (2003), Telford *et al* (2004), dan Lowrie (2007). Metode analisis yang digunakan untuk menganalisis hasil dari interpretasi penampang *resistivity pseudosection* yaitu metode deskriptif-komparatif.

#### e. Pengambilan Sampel Kualitas Air

Metode *purposive sampling* digunakan dalam pengambilan sampel airtanah bebas untuk diuji di laboratorium. Beberapa parameter yang dianalisis yaitu *total suspended solid (TSS)*, *total dissolved solid (TDS)*, dan *chemical oxygen demand (COD)*. Teknik analisis yang digunakan untuk mengetahui apakah kadar pencemar yang ada telah melebihi baku mutu air atau belum adalah teknik analisis komparatif. Teknik ini juga digunakan untuk membandingkan antara titik pengambilan satu dengan yang lainnya.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pemetaan Distribusi Pencemaran Airtanah Berdasarkan Nilai Daya Hantar Listrik (DHL)

##### a. Tinggi Muka Airtanah (MAT) dan Arah Aliran Airtanah (Flownets)

Secara umum daerah penelitian merupakan bagian dari CAT Sleman-Yogyakarta memiliki material dominan berupa pasir kasar hingga halus, kerikil, lempung, dan material alluvium (Formasi Gunungapi Merapi Muda). Hal ini mempengaruhi pola aliran airtanah, sehingga memiliki sifat aliran terjadi ke segala arah dengan kecepatan penyaluran yang homogen (isotropik). Kondisi ini memungkinkan airtanah untuk dipetakan pola alirannya.

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, persebaran kedalaman MAT di lokasi kajian berada pada rentang 2 m hingga kedalaman 11,38 m. Sebarannya semakin dalam ke arah barat dan secara gradual berkurang ke arah timur menuju Sungai Winongo. Sementara itu, sebagian lainnya menuju ke arah tenggara. Bertambahnya kedalaman MAT di bagian barat diakibatkan oleh pengaruh keberadaan Perbukitan Struktural Formasi Sentolo yang memiliki litologi berupa batuan gamping berlapis.

Rata-rata kedalaman MAT di lokasi kajian berkisar pada kedalaman  $\leq 6$  m dan tersebar hampir di seluruh satuan bentuklahan Dataran Kaki Gunungapi Merapi Muda. Wilayah dengan MAT yang dangkal akan menyebabkan airtanah lebih rentan untuk tercemar. Hal ini dikarenakan bahan-bahan yang potensial mencemari, baik melalui saluran irigasi, sungai, ataupun limbah domestik akan dengan mudah masuk dalam

sistem airtanah. Sebaran kedalaman MAT di lokasi kajian dapat dilihat pada Gambar 2a.

Sebaran TMA di lokasi kajian menghasilkan nilai dengan rentang antara 71,2 mdpal hingga 54,6 mdpal. Pembuatan kontur TMA di wilayah ini dibatasi oleh Sungai Winongo dan Bedog di bagian timur dan barat. Sementara itu, di zona tengah singkapan batuan gamping Formasi Sentolo menjadi zona airtanah non potensial, sehingga tidak dapat dilakukan pembuatan kontur airtanah.

Sebaran nilai TMA tinggi di lokasi kajian teridentifikasi di bagian utara dan barat lokasi kajian. Kemudian, nilai TMA secara gradual mengalami penurunan ke arah selatan dan tenggara. Hal ini menunjukkan adanya heterogenitas arah aliran airtanah di lokasi kajian yang terbagi menjadi 2 pola arah aliran airtanah utama. Kondisi aliran airtanah pertama mengalir dari tengah wilayah kajian yaitu di sekitar PG/PS Madukismo menuju ke arah barat, tenggara dan juga selatan untuk kemudian masuk dalam sistem aliran dari Sungai Bedog. Sementara itu, sebagian lainnya memiliki pola aliran airtanah dari tengah wilayah kajian menuju aliran dari Sungai Winongo yang berada di sebelah timur lokasi kajian.

Merujuk pada kondisi tersebut, kemungkinan arah aliran airtanah yang melewati kawasan industri PG/PS Madukismo dapat mengalir ke tiga arah yang berbeda. Arah aliran airtanah di bagian tengah kawasan industri memungkinkan untuk mengalir ke arah timur dan barat, sedangkan di bagian selatan tempat saluran buangan limbah berada, aliran airtanah mengarah ke selatan dan secara gradual menuju ke arah barat daya (ke arah Sungai Bedog) dan ke arah tenggara (ke arah Sungai Winongo). Distribusi arah aliran airtanah di lokasi kajian selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2b.

Secara umum, berdasarkan arah alirannya kondisi airtanah di wilayah kajian bersifat effluent artinya airtanah mensuplai aliran sungai, baik ke Sungai Bedog ataupun Winongo. Hal ini dibuktikan dengan karakteristik kedua sungai ini yang memiliki debit aliran sepanjang tahun.

##### b. Pemetaan Sebaran Nilai Konduktivitas/Daya Hantar Listrik (DHL)

Pemetaan sebaran nilai konduktivitas atau daya hantar listrik (DHL) di wilayah kajian dilakukan pada 48 titik sumur pengamatan.

Hasil pengukuran menunjukkan wilayah ini memiliki rentang nilai DHL berkisar antara 1050  $\mu\text{S}/\text{cm}$  hingga 304  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Besaran nilai DHL dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah konsentrasi zat terlarut dalam air/*total dissolve solid* (TDS). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Majumdar (2006), nilai DHL selalu berbanding lurus dengan nilai dari TDS. Selain itu, banyaknya ion-ion terlarut dalam air juga mempengaruhi besaran nilai DHL.

Lokasi kajian memiliki distribusi nilai DHL yang cukup heterogen. Di bagian utara, nilai berkisar antara 304-575  $\mu\text{S}/\text{cm}$  yang ditunjukkan dengan warna merah (sebagai batas nilai terendah) hingga kuning pada peta *iso-DHL*, lihat Gambar 2c. Wilayah ini menjadi zona dengan rentangan nilai DHL terendah sehingga kawasan ini dijadikan sebagai titik kontrol airtanah. Kecenderungan yang berbeda ditunjukkan di beberapa wilayah yang berada pada zona dengan warna hijau hingga ungu pada peta *iso-DHL*. Besaran nilai pada kawasan yang memiliki rentang warna hijau ke biru muda ini memiliki nilai antara 597-686  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Warna tersebut menunjukkan perubahan nilai DHL ke arah yang lebih besar. Perubahan ini dapat dipicu oleh berbagai faktor. Namun, pada zona tengah ini, peningkatan nilai DHL lebih disebabkan oleh kondisi geologi. Hal ini dikarenakan zona ini dekat dengan singkapan perbukitan gamping Formasi Sentolo.

Wilayah dengan rentangan nilai DHL yang terbesar di wilayah kajian dapat dijumpai di sebagian Dusun Mrisi dan juga bagian tengah Dusun Beton. Rentangan nilai DHL ini yaitu sebesar 717-1050  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Wilayah demikian secara geomorfologi berada pada bentuklahan Dataran Kaki Gunungapi Merapi yang dilewati oleh aliran airtanah yang mengalir dari utara ke selatan. Sebarannya pun hanya memusat pada satu wilayah. Berdasarkan kondisi geologinya dan material bawah permukaan, kondisi DHL tinggi di zona ini tidak mungkin disebabkan oleh aspek geologi, namun lebih disebabkan oleh faktor eksternal. Faktor eksternal dalam penelitian ini diduga sebagai pengaruh limbah PG/PS Madukismo yang dibuang melalui saluran irigasi ke areal pertanian warga.

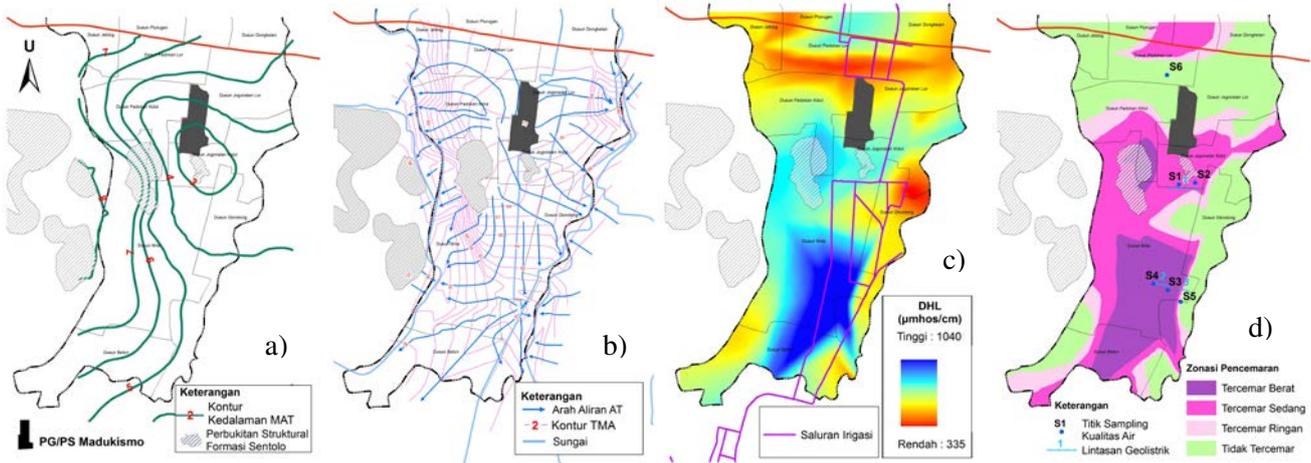
### c. Pemetaan Pencemaran Airtanah

Pemetaan zona pencemaran airtanah dilakukan berdasarkan nilai DHL. Nilai DHL ini kemudian dilakukan klasifikasi terkait tingkat pencemarannya. Pembuatan klasifikasi nilai DHL untuk airtanah tercemar dan tidak tercemar limbah dilakukan dengan cara membandingkannya dengan kondisi DHL air permukaan. Air permukaan dipilih karena kondisinya yang mudah dilihat secara langsung apakah kondisi fisik air tersebut terimbas atau tidak oleh limbah yang berasal dari PG/PS Madukismo. Hal ini perlu dilakukan untuk membatasi jenis pencemaran yang mungkin dapat disebabkan oleh faktor luar lainnya seperti limbah domestik. Terdapat 12 titik pengukuran DHL untuk pembuatan klasifikasi, dalam penelitian ini seluruhnya terletak pada penggal saluran irigasi. Saluran irigasi ini tersebar di daerah Jogonalan Kidul, Mrisi, dan Glondong. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut kemudian dihasilkan rentangan nilai airtanah tidak tercemar hingga tercemar berat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Klasifikasi Pencemaran Berdasarkan Nilai DHL

Kelas Pencemaran	Rentang Nilai DHL ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Tidak Tercemar	$\leq 562$
Tercemar Rendah	$562 > x \leq 582$
Tercemar Sedang	$582 > x \leq 680$
Tercemar Berat	$> 680$

Berdasarkan hasil klasifikasi tersebut maka dapat dilakukan zonasi tingkat pencemaran airtanah. Hasilnya menunjukkan bahwa wilayah tidak tercemar sebagian besar meliputi daerah di bagian utara kawasan PG/PS Madukismo. Sementara itu, wilayah yang airtanahnya terpengaruh oleh pencemaran limbah dengan tingkat yang rendah terdapat pada zona-zona peralihan antara wilayah tercemar sedang dan tidak tercemar. Zona lainnya yang terpengaruh pencemaran dan masuk dalam kelas tercemar sedang antara lain yaitu di sebagian besar Dusun Mrisi, Jogonalan Kidul, sebagian Padokan Kidul, dan sebagian Dusun Beton.



**Gambar 2.** Peta hasil penelitian, a) Peta Kedalaman MAT; b) Peta *Flownets*; c) Peta *Iso-DHL*; dan d) Peta Distribusi pencemaran dan Lintasan Geolistrik

Di Dusun Padokan Kidul kondisi pencemaran lebih diakibatkan oleh kondisi geologi, sedangkan pada Dusun Mrisi bagian selatan dan juga di Dusun Beton, jenis pencemaran lebih disebabkan oleh adanya pengaruh dari limbah PG/PS Madukismo. Hal ini dikarenakan berdasarkan letaknya, wilayah-wilayah ini dilewati oleh sistim irigasi yang dialiri limbah. Zonasi wilayah dengan kondisi airtanah tercemar berat di daerah kajian terjadi di Dusun Mrisi, terutama di bagian selatan-timur yang diperkirakan sebagai titik akumulasi pencemaran airtanah oleh limbah. Selengkapnya distribusi pencemaran airtanah dapat dilihat pada Gambar 2d.

**Identifikasi Pencemaran Airtanah Bebas Berdasarkan Nilai Resistivitas**

a. Penentuan Lintasan Geolistrik dan Rentang Nilai Resistivitas Pencemaran

Lintasan geolistrik di lokasi kajian ditentukan pada 3 titik. Ketiga titik ini ditempatkan pada jalur yang diidentifikasi mengalami pencemaran airtanah. Titik pertama dipilih pada daerah yang memiliki sebaran nilai DHL airtanah dengan besaran antara 657-668 μS/cm (kelas pencemaran sedang), titik kedua pada daerah dengan nilai DHL airtanah antara 646-894 μS/cm (kelas pencemaran sedang-tinggi), dan lintasan 3 ditentukan pada lokasi dengan rentang nilai 550-680 μS/cm (kelas pencemaran sedang-rendah), selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2d.

Selain sebagai acuan dalam penentuan lintasan geolistrik, data nilai analisis DHL juga dapat dijadikan acuan dalam penentuan pencemaran menggunakan geolistrik, hal ini

dikarenakan data DHL dapat dikonversi menjadi data nilai resistivitas, yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{1}{\theta} \dots\dots\dots (8)$$

$\rho$  = nilai resistivitas ( $\Omega m$ )

$\theta$  = nilai DHL ( $\mu S/cm$ )

konversi :  $1 \Omega m = 1 S/m$

$1 \Omega m = 0,01 \mu S/cm$

Nilai hasil konversi tersebut dijadikan sebagai dasar analisis pencemaran airtanah pada penampang geolistrik. Airtanah yang terpengaruh limbah secara signifikan atau tinggi memiliki rentang nilai resistivitas kurang dari 14,7  $\Omega m$ . Lebih jelasnya rentang nilai resistivitas berdasarkan tingkat pencemaran disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Rentang Nilai Resistivitas Pencemaran

No.	Tingkat Pencemaran	Resistivitas ( $\Omega m$ )
1	Tercemar Ringan	17,2 - 17,8
2	Tercemar Sedang	14,7 - 17,2
3	Tercemar Tinggi	< 14,7

b. Lintasan 1

Lintasan 1 terletak di Dusun Jogonalan Kidul, memiliki bentangan dengan azimuth 92.83<sup>0</sup> NE, panjang lintasan geolistrik sepanjang 225 meter dan menghasilkan sebanyak 120 titik pengukuran (*quadripole*). Berdasarkan hasil pengukuran geolistrik dan pengolahan data, diperoleh nilai resistivitas material bawah permukaan dengan rentang nilai dari 8,02  $\Omega m$

hingga 18.300  $\Omega$ m dengan kedalaman penetrasi 5-37,7 meter.

Berdasarkan hasil interpretasi nilai resistivitas pada lintasan 1, kondisi bawah permukaan wilayah ini terdiri dari 2 material penyusun utama. Material pertama memiliki rentang nilai antara 8-400  $\Omega$ m yaitu berupa material Endapan Merapi Muda (Qmi). Material ini menjadi material penyusun sistim akuifer di wilayah ini. Material ini terdiri dari pasir halus hingga kasar, kerikil, dan lempung (material aluvium). Material ini menyusun dari permukaan hingga kedalaman 18 meter dibawah permukaan tanah. Sebaliknya, material dasar akuifer teridentifikasi jelas dengan pola sebaran nilai resistivitas 1.000  $\Omega$ m hingga 18.000  $\Omega$ m. Material ini terdiri dari batuan gamping Formasi Sentolo (Tmps) dengan kondisi kekerasan yang berbeda. Batuan gamping yang lebih keras memiliki nilai resistivitas yang lebih besar.

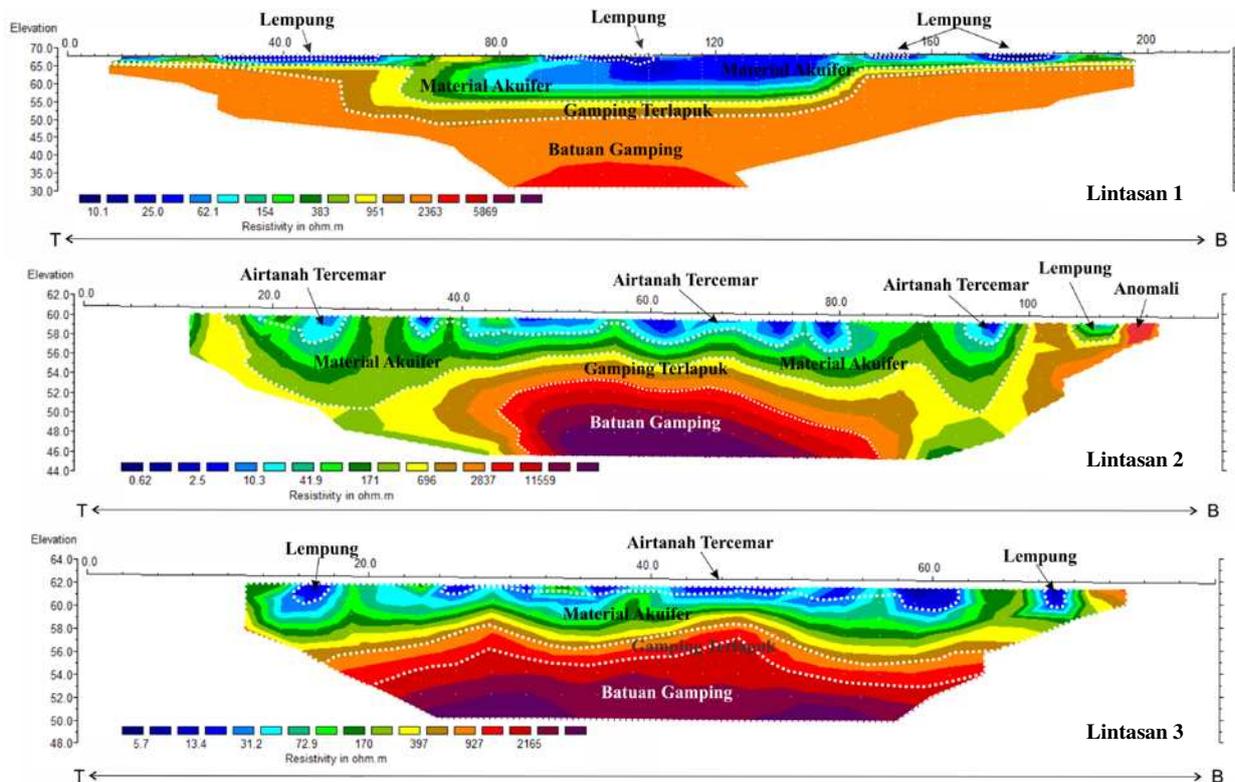
Terdapat empat titik yang diduga pencemaran airtanah pada lintasan ini. Namun berdasarkan hasil analisis uji kualitas airtanah, didapati bahwa pada sampel 1 memiliki kecenderungan nilai TDS yang tinggi yaitu sebesar 345 mg/l. Nilai TDS ini merupakan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan titik kontrol (sampel 5). Sementara itu, kadar COD sebagai indikator pencemaran menunjukkan nilai yang rendah yaitu 5 mg/l, artinya wilayah ini tidak mengalami pencemaran airtanah secara signifikan. Kondisi ini menunjukkan tingginya kadar TDS di wilayah ini disebabkan oleh adanya kadar konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  yang tinggi pada airtanah. Hasil analisis kualitas air selengkapnyapun dapat dilihat pada Tabel 6. Sementara itu, zona lainnya yang diduga sebagai indikasi pencemaran diduga bukan sebagai indikasi pencemaran airtanah. Hal ini dikarenakan sampel uji kualitas air 2 juga menunjukkan tidak adanya indikasi pencemaran. Karakteristik nilai resistivitas yang rendah dengan cakupan wilayah yang kecil mengindikasikan adanya lapisan lempung yang tidak menerus di wilayah ini.

### c. Lintasan 2

Lintasan 2 yang terletak di Dusun Mrisi memiliki bentangan azimuth  $102,83^\circ$  NE dan panjang lintasan 125 meter, sehingga menghasilkan 65 *quadripole*. Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, diperoleh nilai resistivitas pada lintasan 2 dengan rentang nilai antara 0,44  $\Omega$ m hingga 66.929  $\Omega$ m. Kedalaman penetrasi maksimum yang dicapai pada lintasan 2 yaitu sedalam 17 meter.

Berdasarkan nilai resistivitas, teridentifikasi adanya 2 material utama penyusun wilayah ini, yaitu material Endapan Merapi Muda (Qmi) dengan nilai antara 0,4  $\Omega$ m hingga 500  $\Omega$ m. Material ini tersusun dari permukaan hingga kedalaman 11 meter. Zona ini terbentuk akibat adanya proses lapuknya material dasar, kemudian terangkut oleh aktivitas eksogenik sehingga membentuk cekungan-cekungan yang dengan segera terisi oleh material akuifer dari Endapan Merapi Muda. Sementara itu, material dasar akuifer teridentifikasi dengan jelas dengan pola sebaran nilai 1.000  $\Omega$ m hingga 18.000  $\Omega$ m yang merupakan batuan gamping Formasi Sentolo (Tmps).

Pencemaran airtanah teridentifikasi pada 3 titik di lintasan 2. Pencemaran ini secara umum masuk hingga pada kedalaman 5-6 meter dengan panjang zona terimbas berturut-turut 12,5 m, 47,5 m, dan 7,5 m. Pendugaan nilai resistivitas pencemaran ini dibuktikan dengan hasil dari uji sampel kualitas air nomor 3 dan 4. Sampel nomor 3 menunjukkan nilai TDS yang cukup tinggi yaitu 324 mg/l. Kondisi ini diikuti dengan tingginya nilai kadar COD dalam airtanah. Nilai COD yang merupakan penciri pengaruh limbah terhadap airtanah menunjukkan nilai yang tinggi, yaitu sebesar 245 mg/l, sehingga telah melebihi baku mutu air kelas 1 yaitu sebesar 10 mg/l. Dapat dikatakan bahwa airtanah pada zona ini terpengaruh oleh limbah dari PG/PS Madukismo. Selain itu, sampel 4 juga menunjukkan kecenderungan nilai TDS dan COD yang melebihi baku mutu dan titik kontrol, artinya kondisi airtanah pada lintasan 2 ini terindikasi mengalami pencemaran. Hasil uji kualitas air pada lintasan 2 dapat dilihat pada Tabel 6.



**Gambar 3.** Intepretasi Penampang *Resistivity Pseudosection* Berturut-turut pada Lintasan 1,2, dan 3

d. Lintasan 3

Lintasan 3 terletak di Dusun Mrisi dengan azimuth bentangan  $103,06^{\circ}$  NE. Lintasan pada titik 3 ini ditentukan dengan panjang bentangan 85 meter, sehingga menghasilkan 25 titik *quadripole*. Hasil pengukuran ini menghasilkan rentang nilai resistivitas antara  $4,64 \Omega\text{m}$  hingga  $6.245 \Omega\text{m}$ . Selain itu, hasil pengukuran menghasilkan penetrasi maksimum hingga 14 meter dari permukaan tanah.

Secara umum kondisi material bawah permukaan pada lintasan 3 ini memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan lintasan 2. Pertama, dengan rentang nilai antara  $1.000 \Omega\text{m}$  hingga lebih dari  $5.000 \Omega\text{m}$  yang merupakan batuan dasar. Jenis material ini dapat dijumpai mulai pada kedalaman 8 meter. Sementara itu, material akuifer memiliki rentang nilai resistivitas  $10 \Omega\text{m}$  hingga  $500 \Omega\text{m}$ . Material ini menutup batuan dasar hingga ke permukaan dan membentuk akuifer yang produktif.

Indikasi pencemaran airtanah juga nampak pada lintasan 3 ini. Hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai resistivitas antara  $8 \Omega\text{m}$  hingga  $18 \Omega\text{m}$  dengan ketebalan 2-3 meter sepanjang 37,5 meter. Indikasi ini dijumpai pada zona tengah

lintasan. Hal ini dibuktikan dengan hasil uji laboratorium yang menunjukkan bahwa nilai TSS di sekitar lintasan 3, sedikit melebihi baku mutu air kelas 1 yaitu sebesar  $52 \text{ mg/l}$ . Sementara itu, parameter lainnya yaitu TDS memiliki kecenderungan yang tinggi yaitu sebesar  $251 \text{ mg/l}$ . Namun pengaruh limbah yang kuat ditunjukkan pada parameter COD yang melebihi baku mutu kelas 1 yaitu sebesar  $37,2 \text{ mg/l}$ . Oleh karena itu, lintasan 3 ini diduga telah mengalami pencemaran airtanah oleh limbah PG/PS Madukismo.

**Tabel 6.** Uji Kualitas Airtanah Lintasan 3

No Sampel	Parameter (mg/l)			
	TSS	TDS	COD	
Baku Mutu Kelas 1	50	1000	10	
6 (Titik Kontrol)	1	184	16.8	
1	5	345	5	
2	1	197	7.6	
3	27	324	245	
4	1	354	18.7	
5	52	251	37.2	

Distribusi vertikal, horisontal dan intepretasi penampang *resistivity pseudosection* secara lebih detail dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan hasil analisis terhadap ketiga lintasan tersebut, diduga akumulasi limbah belum terjadi secara signifikan pada zona 1. Namun, semakin ke selatan, airtanah mengalami penambahan konsentrasi ion yang dipengaruhi oleh masukan limbah PG/PS Madukismo. Kondisi ini dibuktikan dengan terjadinya peningkatan kadar COD dalam airtanah secara signifikan.

## KESIMPULAN

Di bagian utara kawasan industri PG/PS Madukismo kondisi airtanah relatif baik dibuktikan dengan nilai DHL yang rendah. Sementara itu, di bagian selatan, airtanah telah mengalami peningkatan nilai DHL yang disebabkan oleh 2 faktor utama yaitu pengaruh kondisi geologi berupa batuan gamping dan juga imbas dari buangan limbah cair dari PG/PS Madukismo.

Berdasarkan pola resistivitas dari ketiga lintasan geolistrik, didapati 2 lintasan yang merujuk pada kondisi pencemaran airtanah akibat dari aktivitas industri dari PG/PS Madukismo. Kedua lintasan tersebut yaitu lintasan 2 dan 3 yang berdasarkan nilai resistivitas menunjukkan rentang nilai antara 5-18  $\Omega$ m. Kedalaman imbas pencemaran airtanah pada lintasan 2 mencapai 5 hingga 6 meter dengan panjang imbas pencemaran total 60 meter. Sementara itu, pada lintasan 3 pengaruh pencemaran terjadi pada kedalaman 2 hingga 3 meter dengan panjang zona terpengaruh mencapai 37,5 meter. Hal ini dibuktikan dengan adanya peningkatan nilai parameter TSS, TDS, dan COD. Nilai kadar COD yang merupakan parameter penciri pengaruh limbah menunjukkan nilai di atas baku mutu dan titik kontrol yaitu sebesar 37,2 mg/l hingga 245 mg/l.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anantha, F. 2007. *Proses Pengolahan Limbah di PG. Madukismo, Yogyakarta*. Semarang: Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.
- Astuty, Afriani. 2011. *Pengaruh Pabrik Gula Dan Pabrik Spiritus Madukismo Terhadap Kondisi Lingkungan Di Desa Tirtonirmolo Dan Pendowoharjo, Kabupaten Bantul. Thesis*. Universitas Gadjah Mada : Yogyakarta
- Loke, 2000 Loke, M.H. 2000. *Electrical Imaging Survey for Environmental and Engineering Studies*. Diakses dari [Http://Www. Geometrics.Com](http://www.Geometrics.Com). pada tanggal 5 September 2014
- Lowrie, W. 2007. *Fundamentals of Geophysics, 2nd Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51/MENLH/10/1995 *Tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri*.
- Majumdar, R.K., Ghosh, A., Das, D. (2005). Geoelectric and Geochemical Studies For Hydrological Characterization Of Southern Part Of Sagar Island, South 24 Parganas, West Bengal, India. *Journal Of Geophysic*, 27 (4), hal.109-118.
- Milsom, John. 2003. *Field Geophysics, Third Edition*. John Wiley & Sons Inc: West Sussex.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. 2004. *Applied Geophysics 2<sup>nd</sup> Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Todd, D. K. 1980. *Groundwater Hydrology*. New York: John Willey and Sons.