

Pendugaan Distribusi Air Lindi dengan Geolistrik Metode ERT

Fajri Ramadhan¹, Farida Prasasti D.R.², Febby Firizqy³ dan Tjahyo Nugroho Adji⁴

^{1,2,3,4}Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Email Koresponden: fajriramadhanaji12@gmail.com

Diterima: 2018-09-14 /Refisi: 2018-10-05 Disetujui: 2019-02-01
©2019 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

Abstrak TPA Piyungan menampung sampah hingga 550 ton/hari, sehingga air lindi (leachate) yang dihasilkan akan lebih besar dan dapat berdampak pada airtanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pencemaran air lindi pada airtanah di sekitar TPA Piyungan, dan dilakukan dengan menggunakan metode Electrical Resistivity Tomography (ERT) konfigurasi Wenner Beta, flownet, dan uji sifat fisik-kimia air. Hasil dari penelitian adalah (1) aliran airtanah secara dominan bergerak ke arah Barat Laut dari TPA Piyungan yang merupakan kawasan padat permukiman; (2) hasil geolistrik metode ERT di Dusun Pleret menunjukkan adanya distribusi air lindi pada kedalaman 5-20 m dengan nilai resistivitas 1-3 Ω meter, sementara kedalaman airtanahnya juga berada pada kedalaman 5-15 meter; (3) hasil pengukuran DHL, TDS, dan salinitas yang menunjukkan sebagian sumur memiliki nilai di atas baku mutu yang dipersyaratkan untuk air minum. Oleh karena itu, airtanah sekitar TPA Piyungan terutama bagian Barat Laut telah tercemar akibat air lindi.

Kata kunci: Air lindi, Electrical Resistivity Tomography, Geolistrik, Pencemaran airtanah

Abstract Piyungan Landfill could accommodate garbage at the amount of 550 tons/day, thus it produces the leachate which threatens the regional groundwater quality. The aim of this study is to identify the contamination of leachate in the groundwater near Piyungan Landfill based on ERT (Electrical Resistivity Tomography) method with Wenner Beta configuration, flownet, and the physiochemical properties of the groundwater system. The results obtained are (1) the direction of regional groundwater flow is to the Northwest of the landfill; (2) the leachate contaminates the groundwater, as it was found at the depth of 5-20 m by the resistivity value indicator of 1-3 Ω meter, while the groundwater depth is at 5-15 m; (3) the value of electrical conductivity, total dissolved solids, and salinity have exceeded the water quality standard. Therefore, the groundwater around Piyungan landfill particularly at the Northwest region has been contaminated by leachate.

Keywords: Leachate, Electrical Resistivity Tomography, Geoelectrical, Groundwater contamination

PENDAHULUAN

Airtanah umumnya didefinisikan sebagai air yang mengisi rongga-rongga dalam lapisan geologi tertentu (Todd & Mays, 2005). Airtanah bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh beberapa faktor alam (Adji & Sejati, 2014). Airtanah terdapat pada pori-pori batuan penyusun akuifer (Santosa, 2004). Airtanah merupakan salah satu kebutuhan penting bagi manusia (Morsy et al., 2018), termasuk masyarakat yang tinggal di sekitar TPA (Tempat Pembuangan Akhir) Piyungan. TPA Piyungan dibangun untuk menampung sampah yang berasal dari Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, dan Kabupaten Bantul dengan luas sekitar 10 hektar serta menampung sampah hingga 550 ton/hari. TPA Piyungan berpotensi menghasilkan air lindi yang akan berdampak pada airtanah.

Penelitian terkait pendugaan distribusi air lindi dan dampaknya terhadap airtanah dengan menggunakan metode Electrical Resistivity Tomography (ERT) masih jarang dilakukan, padahal metode ERT sangat akurat dalam pendugaan distribusi air lindi (Loke, 2000). Metode ERT merupakan salah satu metode

geolistrik yang dapat dilakukan untuk mengidentifikasi pencemaran airtanah berdasarkan nilai resistivity dari material penyusun. Resistivity material penyusun diperoleh dari pengolahan data ERT yang berupa data arus listrik injeksi dan beda potensial. Hasil pendugaan distribusi air lindi dengan metode ERT diharapkan dapat menjadi pertimbangan evaluasi pengelolaan sampah di TPA Piyungan termasuk untuk identifikasi pencemaran airtanah akibat air lindi.

TPA Piyungan merupakan salah satu TPA yang menerapkan sistem controlled landfill dalam pengelolaan sampah. Sistem controlled landfill merupakan pengembangan dari sistem open dumping. Namun, kehadiran TPA Piyungan diindikasikan memiliki dampak bagi lingkungan sekitar termasuk airtanah. Kandungan atau zat berbahaya pada sampah seperti sulfida (S²⁻), nitrat (NO₃⁻), COD (Chemical Oxygen Demand), klorida (Cl), krom total, dan total coliform dapat mencemari airtanah melalui air lindi, sehingga potensi tercemarnya airtanah di kawasan sekitar TPA Piyungan semakin besar. Oleh karena itu, diperlukan adanya identifikasi pencemaran airtanah melalui uji

kualitas air, flownet, dan uji geolistrik dengan metode ERT pada TPA Piyungan.

Penumpukan sampah dari sistem sanitary landfill menyebabkan munculnya air lindi sebagai limbah sampingan dari percampuran sampah dengan air hujan. Air lindi merupakan zat kontaminasi berbahaya berasal dari TPA yang dapat mencemari airtanah (Maurya et al., 2017). Permasalahan pencemaran air lindi terhadap airtanah pada akuifer bebas di wilayah sekitar TPA Piyungan khususnya di Desa Sitimulyo perlu mendapatkan tindakan lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi distribusi air lindi di bawah permukaan dan dampaknya terhadap airtanah pada akuifer bebas melalui uji geolistrik ERT sebagai upaya evaluasi pengelolaan TPA.

METODE PENELITIAN

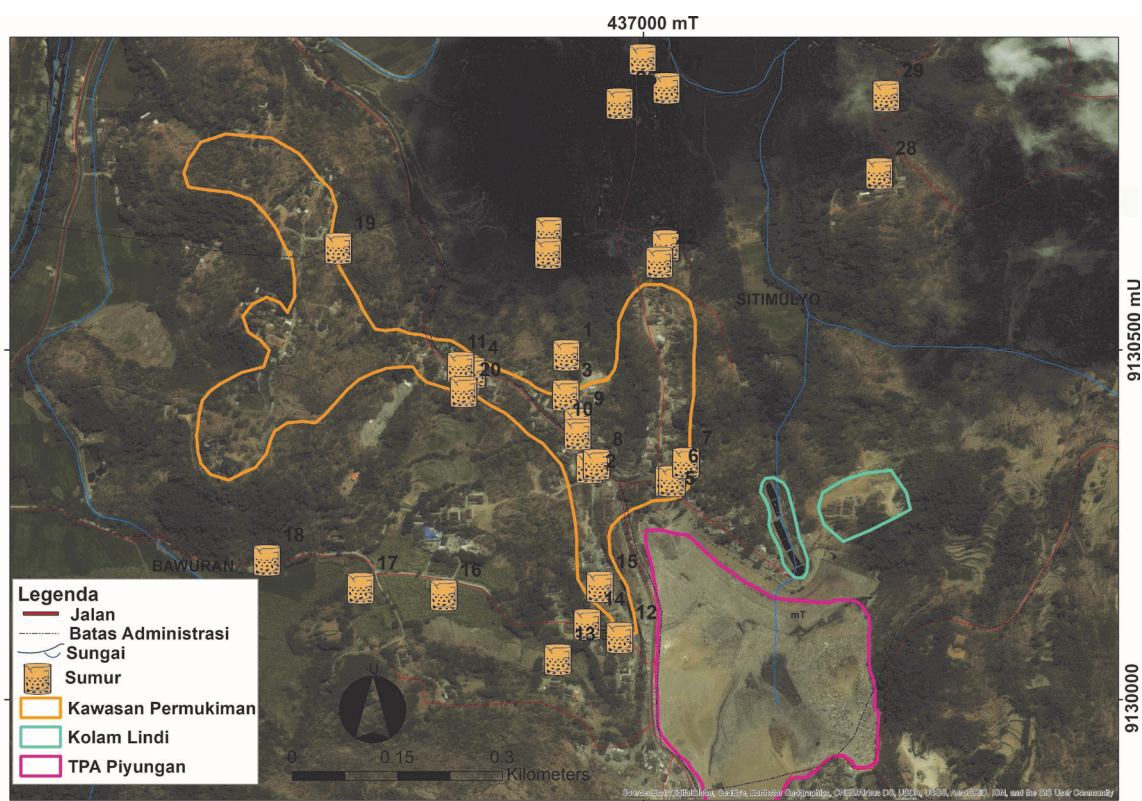
Lokasi penelitian dilakukan di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan, Desa Sitimulyo, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pemilihan TPA Piyungan sebagai lokasi penelitian karena potensi air lindi yang dihasilkan akibat limbah sampah sangat besar. Selain itu, di sekitar TPA Piyungan terdapat banyak sumur gali (airtanah pada akuifer bebas) yang terindikasi tercemar akibat air lindi.

Penelitian ini dilakukan dengan tiga tahapan komprehensif. Tahap pertama adalah melakukan pengukuran Tinggi Muka Airtanah (TMA) untuk membuat jejaring atau peta arah aliran airtanah (flownet). Tahap kedua terdiri atas uji kualitas air sumur warga sekitar TPA Piyungan yang kemudian divalidasi

dengan melakukan wawancara langsung kepada warga setempat. Tahap ketiga adalah identifikasi pencemaran airtanah yang dilakukan dengan metode ERT.

Pengukuran Tinggi Muka Airtanah (TMA) dan sifat fisik-kimia air dilakukan pada sampel sumur gali yang dipilih berdasarkan sistem grid yang kemudian dilakukan interpolasi dengan metode three point problem untuk menghasilkan flownet (Todd & Mays, 2005). Hasil pengolahan data tersebut menghasilkan suatu peta kontur airtanah dan arah alirannya. Persebaran titik uji sampel sumur gali disajikan pada Gambar 1. TMA diukur dengan menggunakan alat berupa meteran untuk mengetahui kedalaman sumur dan GPS (Global Positioning System) untuk mengetahui elevasi serta lokasi absolut. Sementara itu, sifat fisik-kimia air diukur langsung di lapangan dengan menggunakan water quality checker. Sifat fisik-kimia air yang terukur kemudian divalidasi melalui wawancara kepada pemilik sumur. Jumlah sumur yang diukur untuk mengetahui TMA dan sifat fisik-kimia air yakni 29 sumur.

Penelitian geolistrik dilakukan dengan metode Electrical Resistivity Tomography (ERT) konfigurasi Wenner Beta. ERT merupakan metode yang sesuai untuk mengidentifikasi air lindi di lingkungan TPA (Clement et al., 2010). Metode ERT dengan konfigurasi Wenner Beta juga lebih sesuai digunakan untuk mengidentifikasi distribusi air lindi dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Metode ERT dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik ke bawah permukaan bumi melalui elektroda-elektroda yang



Gambar 1. Persebaran Titik Sampel Sumur Wilayah TPA Piyungan

disusun dalam suatu konfigurasi pada lintasan dengan panjang tertentu. Hasil dari ERT merupakan model distribusi spasial nilai resistivitas material.

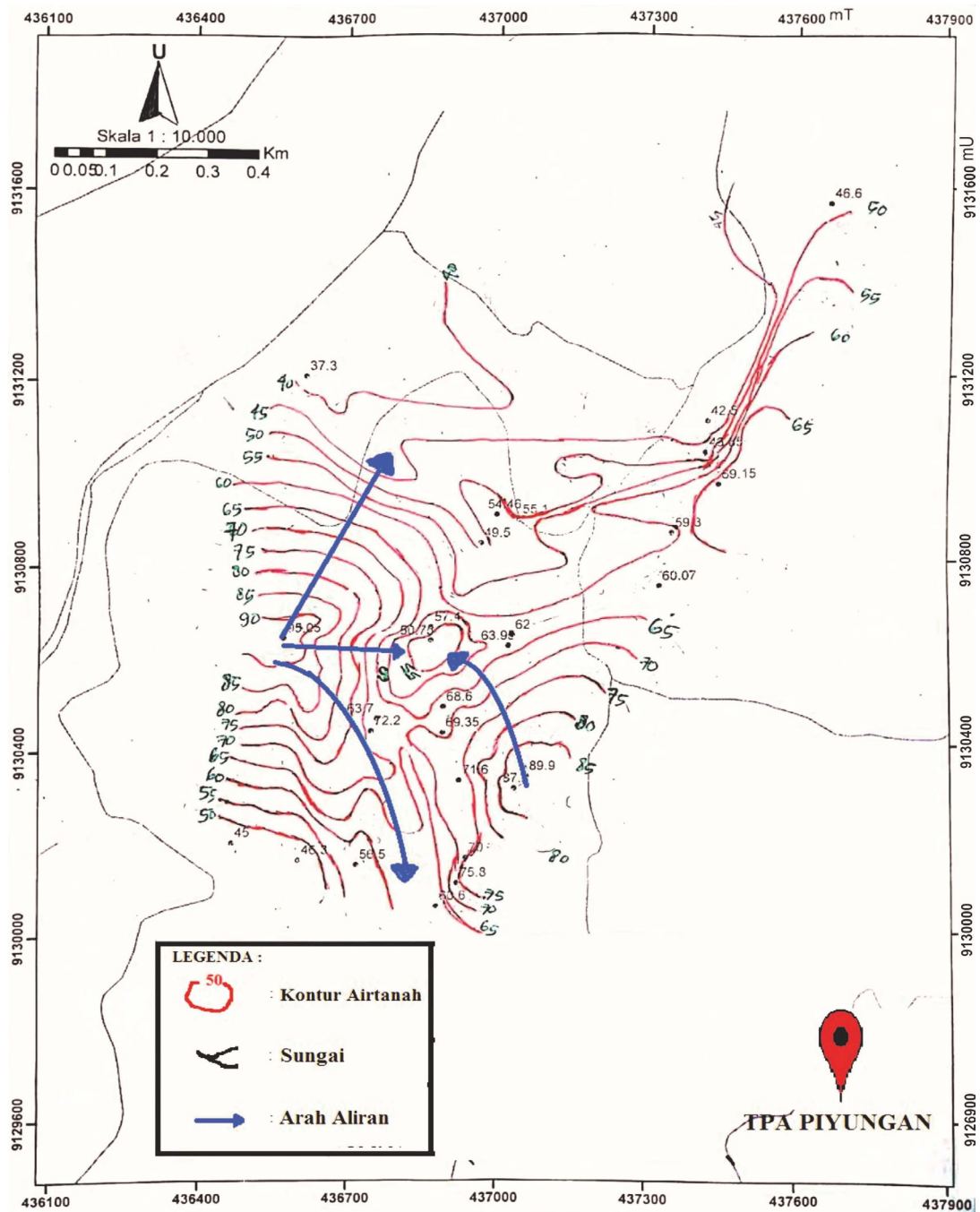
Uji geolistrik ERT dilakukan pada 2 titik yang berbeda di Dusun Pleret dengan panjang bentangan 250 m dan 180 m. Pemilihan lokasi geolistrik yakni dengan mempertimbangkan arah pergerakan aliran airtanahnya (flownet). Jarak antar elektroda yang disusun dalam suatu konfigurasi Wenner Beta yakni 10 m. Tahapan survai ERT meliputi: (1) survai lokasi titik injeksi ERT; (2) electrical sounding; (3) pengolahan data nilai resistivitas; (4) interpretasi data nilai resistivitas;

(5) representasi data melalui penampang melintang 2D dan 3D; dan (6) analisis data untuk mengetahui distribusi air lindi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Arah Pergerakan Aliran Airtanah di wilayah TPA Piyungan dan sekitarnya

Jejaring airtanah (flownet) adalah peta yang berisi kontur airtanah dan arah alirannya (Todd & Mays, 2005). Hasil penggambaran flownet menunjukkan bahwa arah aliran airtanah bergerak menuju ke arah Barat Laut dari TPA Piyungan menuju kawasan dengan



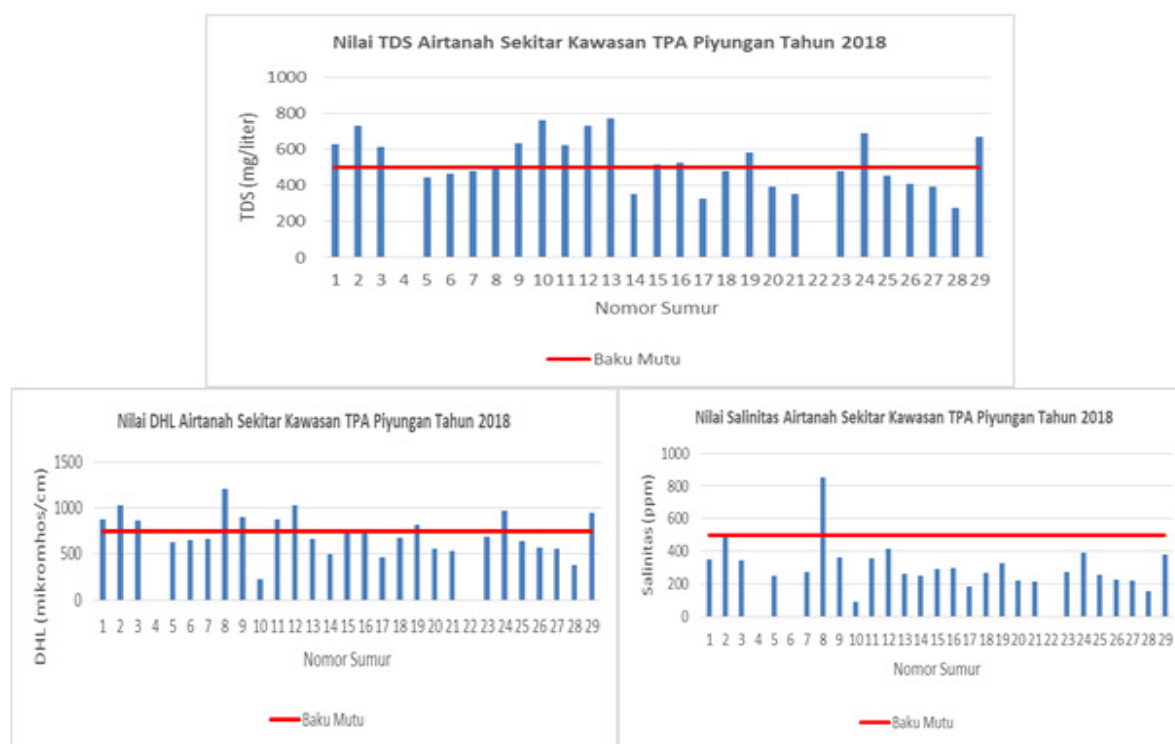
Gambar 2. Peta Jejaring Arah Pergerakan Aliran Airtanah (Panah Biru) di Kawasan TPA Piyungan

kondisi padat permukiman (Gambar 2). Kondisi tersebut menyebabkan potensi pencemaran sangat besar di kawasan permukiman bagian Barat Laut TPA Piyungan. Hal tersebut didasari oleh teori bahwa arah pencemaran airtanah sesuai dengan arah pergerakan aliran airtanahnya (Slamet, 2000). Air lindi juga cenderung bergerak mengikuti arah pergerakan aliran airtanah (Grisey et al., 2016).

Arah pergerakan aliran airtanah juga dikontrol oleh kondisi topografi yang mempengaruhi elevasi muka airtanah (hydraulic head), yang perbedaan antara kedua titiknya bisa juga disebut dengan kemiringan hidraulik, sehingga dapat diketahui bahwa pada daerah Barat Laut cenderung memiliki elevasi muka airtanah yang lebih rendah dibanding kawasan TPA. Pergerakan aliran airtanah menuju Barat Laut juga menunjukkan bahwa pada daerah tersebut cenderung memiliki kedalaman sumur yang dangkal. Kondisi tersebut menyebabkan airtanah pada kawasan padat permukiman bagian Barat Laut terkontaminasi oleh air lindi. Hal tersebut dikarenakan aliran airtanah bergerak dari TPA Piyungan menuju kawasan permukiman, sehingga dapat membahayakan kesehatan masyarakat sekitar karena air hujan yang jatuh dan meresap ke tanah melewati tumpukan sampah terlebih dahulu sebelum bergerak menuju kawasan permukiman. Oleh karena itu, potensi airtanah secara kuantitas pada daerah tersebut lebih besar dibandingkan daerah lainnya. Namun, meskipun potensi airtanah secara kuantitas di daerah tersebut lebih besar, belum tentu secara kualitas bersifat bagus atau baik untuk dikonsumsi.

Identifikasi Pencemaran Airtanah Hasil Uji Kualitas Air di Desa Sitimulyo

Hasil pengukuran Daya Hantar Listrik (DHL), salinitas, dan Total Dissolved Solids (TDS) ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil pengukuran nilai DHL menunjukkan bahwa terdapat 11 sumur yang memiliki nilai DHL > 750 $\mu\text{mhos/cm}$ yang terindikasi tercemar (Cossu et al., 2018). Hal tersebut diperkuat dengan teori yang menyebutkan bahwa nilai DHL pada perairan tawar umumnya yakni < 750 $\mu\text{mhos/cm}$ (Effendi, 2003). Berdasarkan Gambar 4 juga terlihat bahwa persebaran nilai DHL tinggi berada dekat dengan TPA Piyungan (radius < 1,5 km bagian Barat Laut dari TPA Piyungan), sedangkan nilai DHL rendah berada jauh dari TPA Piyungan (radius > 3 km dari TPA Piyungan). DHL yang tinggi atau > 750 $\mu\text{mhos/cm}$ menunjukkan bahwa airtanah sekitar TPA terkontaminasi oleh air lindi (Abdullahi et al., 2010). DHL airtanah sekitar TPA > 750 $\mu\text{mhos/cm}$ disebabkan oleh pencemaran limbah domestik termasuk sampah (Gardner & Vogel, 2005). Hasil pengukuran salinitas juga menunjukkan bahwa terdapat 1 sumur dengan nilai paling tinggi yakni sumur nomor 8 (radius < 1,5 km bagian Barat Laut dari TPA Piyungan) dengan kadar salinitas mencapai 855 ppm. Tingginya nilai salinitas tersebut menunjukkan adanya kontaminasi air lindi pada airtanah akibat pengaruh kandungan klorida (Cl) (Kurakalva et al., 2016). Sementara itu, hasil pengukuran TDS menunjukkan bahwa terdapat 14 sumur yang memiliki nilai melebihi baku mutu untuk air minum kelas 1 (500 mg/l) berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan



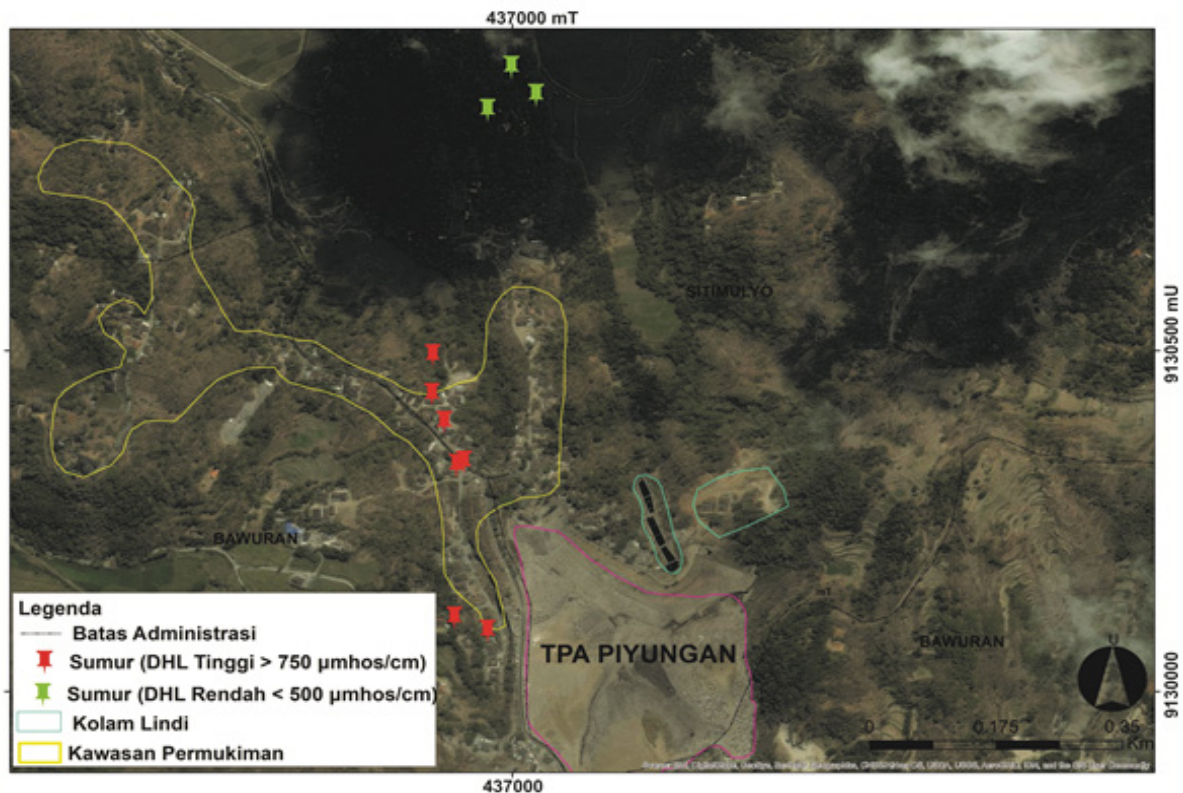
Gambar 3. Hasil Pengukuran Sifat Fisik-Kimia Airtanah di Sekitar Kawasan TPA Piyungan

Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV 2010 (Departemen Kesehatan RI, 2010). Nilai TDS yang tinggi (> 500 mg/l) di wilayah TPA cenderung diakibatkan oleh proses pencucian polutan menjadi air lindi (Mor, 2006). Penggunaan lahan juga merupakan sumber pencemar potensial dan bersifat dinamis, sehingga penggunaan lahan berupa TPA termasuk penyebab kualitas airtanah sekitar menjadi buruk (Widyastuti et al., 2006). Airtanah yang tercemar oleh air lindi umumnya mengandung mineral tinggi, terutama unsur kimia seperti sulfida (Claret et al., 2011). Oleh karena itu, tingginya nilai DHL, salinitas, dan TDS di beberapa sumur sekitar TPA Piyungan mengindikasikan bahwa airtanah di lokasi tersebut telah terkontaminasi oleh air lindi.

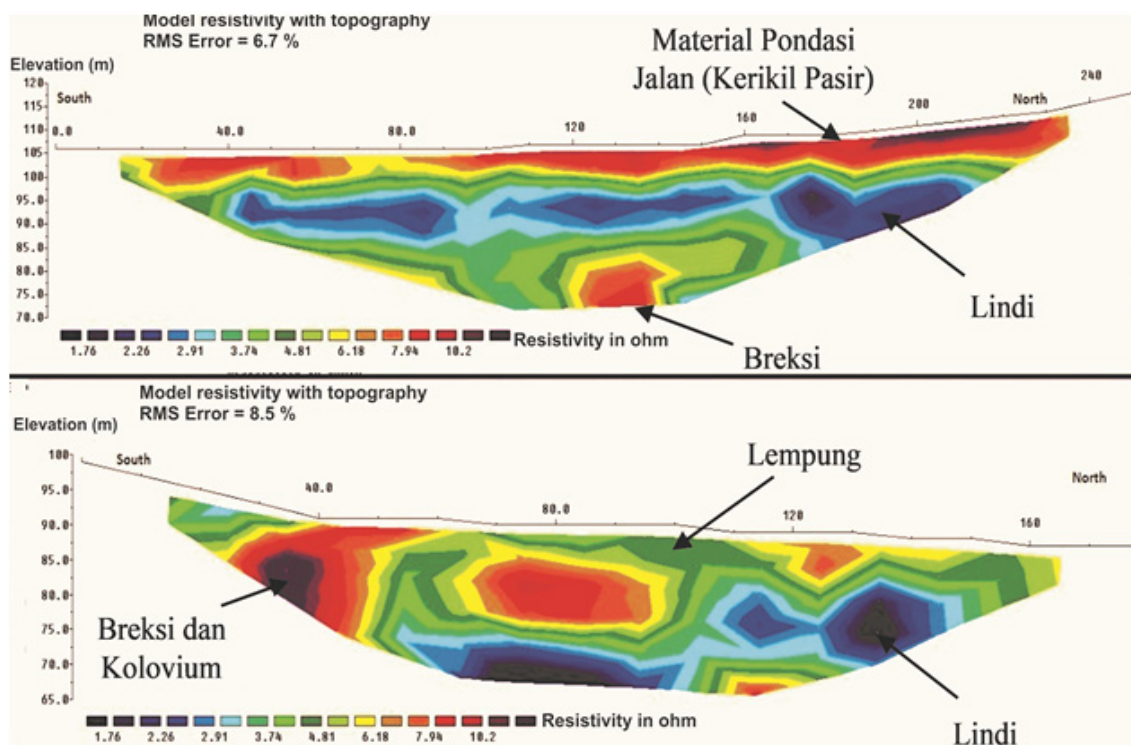
Pendugaan Distribusi Lindi Hasil Uji Geolistrik Metode ERT (Electrical Resistivity Tomography) di TPA Piyungan

Geolistrik merupakan pendekatan yang digunakan untuk mengetahui jenis material bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas (Loke et al., 2015). Pendugaan distribusi air lindi melalui uji geolistrik metode ERT dilakukan pada 2 lintasan di 2 lokasi yang berbeda. Pemilihan lokasi geolistrik dilakukan pada lokasi yang terindikasi telah ada pencemaran air lindi (nilai DHL > 750 $\mu\text{mhos/cm}$). Sementara itu, arah bentangan pengukuran dipilih pada arah Utara-Selatan karena dalam penentuan arah bentangan sebaiknya dibentangkan tegak lurus dengan arah aliran airtanahnya. Uji geolistrik lokasi pertama dilakukan di Dusun Pleret (koordinat x: 436981 mT, y: 9130005 mU)

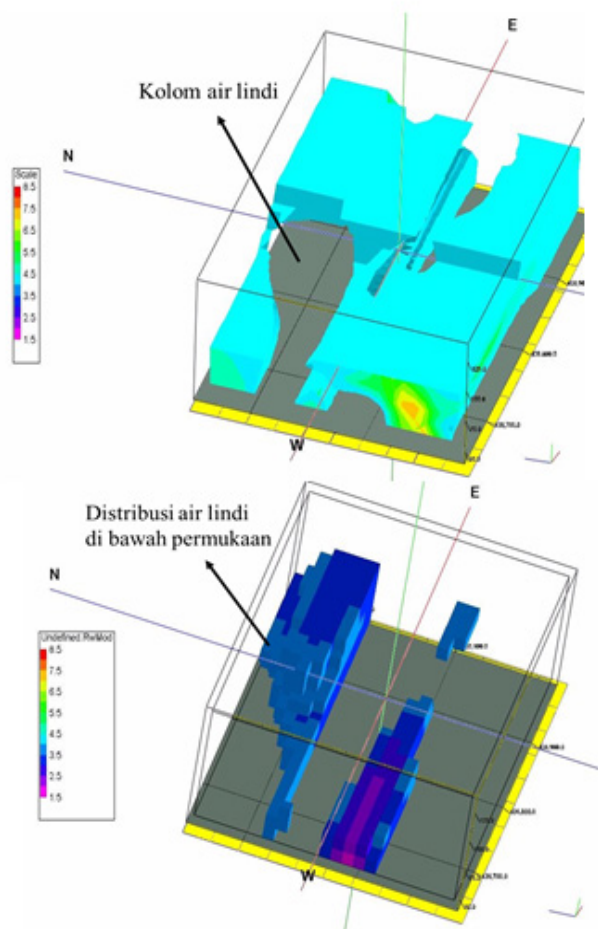
dengan jarak 300 m dari TPA Piyungan. Jarak antar elektroda yang digunakan yakni 10 m dengan panjang lintasan 250 m, sehingga kedalaman pseudosection yang diperoleh yakni 34,6 m. Hasil uji geolistrik pada lokasi pertama disajikan dalam bentuk penampang resistivitas 2D (Gambar 5). Berdasarkan penampang melintang resistivitas tersebut, diketahui bahwa pada kedalaman 0–5 m memiliki nilai resistivitas > 39 Ωmeter , sehingga diinterpretasikan sebagai material pondasi jalan (berupa material kerikil pasir). Batuan breksi (nilai resistivitas $> 10,2$ Ωmeter) ditemukan pada kedalaman > 25 m dari permukaan. Sementara itu, air lindi ditemukan pada kedalaman 6–20 m dengan nilai resistivitas antara 1–3 Ωmeter . Berdasarkan persebaran nilai resistivitas tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa airtanah pada akuifer bebas di lokasi ini telah tercemar oleh air lindi karena sumur warga juga berada pada kedalaman 6 m – 15 m. Hal ini juga diperkuat berdasarkan hasil pengukuran DHL sumur di lokasi ini yang memiliki nilai 1205 $\mu\text{mhos/cm}$ atau telah tercemar (Cossu et al., 2018). Nilai RMS error pada pemodelan inversi di lokasi 1 ini sebesar 6,7 % yang menunjukkan bahwa data resistivitas hasil pengolahan memiliki tingkat akurasi tinggi (Vaudelet et al., 2011). Uji geolistrik lokasi kedua dilakukan di Dusun Pleret (koordinat x: 436649 mT, y: 9130038 mU) dengan jarak 750 m dari TPA Piyungan. Jarak antar elektroda yang digunakan yakni 10 m dengan panjang lintasan 180 m. Hasil uji geolistrik di lokasi kedua (Gambar 5) diketahui bahwa pada kedalaman 0–6 m memiliki nilai resistivitas < 10 Ωmeter , sehingga diinterpretasikan sebagai material lempung. Air lindi di lokasi kedua ditemukan



Gambar 4. Persebaran Nilai DHL di Sekitar TPA Piyungan



Gambar 5. Penampang Melintang 2D Nilai Resistivitas Lokasi Pertama (Atas) dan Kedua Bawah)



Gambar 6. Kolom Air Lindi (Atas) dan Distribusi Air Lindi di Bawah Permukaan (Bawah)

pada kedalaman 7-24 m dengan nilai resistivitas 1–3 Ω meter, sehingga dapat mencemari airtanah warga yang memiliki kedalaman 6-15 m. Hal tersebut juga diperkuat berdasarkan hasil pengukuran DHL sumur di lokasi ini memiliki nilai 1030 μ mhos/cm. Nilai DHL airtanah di wilayah TPA yang telah terkontaminasi oleh air lindi yakni > 500 μ mhos/cm (Ofomola, 2018).

Hasil uji geolistrik metode ERT pada seluruh lokasi kajian menunjukkan bahwa airtanahnya telah tercemar karena memiliki nilai resistivitas rendah yakni 1-3 Ω meter. Hal tersebut sesuai berdasarkan penelitian lainnya yakni Chambers et al., (2006) yang berhasil mengidentifikasi pencemaran airtanah di daerah Midland Valley, Skotlandia dengan nilai resistivitas airtanah 2,2-9 Ω meter. Nilai resistivitas < 8 Ω meter menunjukkan airtanah sekitar TPA telah tercemar oleh air lindi (Casado et al., 2015). Persebaran air lindi di bawah permukaan ditunjukkan oleh nilai resistivitas yang semakin rendah (Degueurce et al., 2016). Air lindi yang masuk ke dalam airtanah menyebabkan airtanah tersebut semakin konduktif, sehingga menghasilkan nilai resistivitas rendah dan DHL tinggi (Bernstone et al., 2000). Sementara itu, nilai resistivitas airtanah dalam kondisi normal (tidak mengalami pencemaran) yaitu 10-100 Ω meter (Loke, 2000). Selanjutnya, model 3 dimensi distribusi air lindi hasil survei ERT yang dilakukan di 2 lokasi disajikan pada Gambar 6.

Model 3 dimensi hasil analisis data ERT terlihat bahwa terdapat distribusi air lindi dengan nilai resistivitas yang rendah. Model 3 dimensi hasil geolistrik ERT yang membentuk kolom atau plumes (pola seperti asap yang keluar dari cerobong asap sebuah pabrik) (Gambar 6) menunjukkan bahwa adanya distribusi air lindi di bawah permukaan (Bichet et al., 2016). Kolom air lindi tersebut merupakan celah tempat pergerakan air lindi di bawah permukaan bumi. Sementara itu, berdasarkan model 3 dimensi juga menunjukkan bahwa akumulasi air lindi cenderung berada di Barat Laut dari TPA Piyungan. Air lindi mengandung banyak logam berat yang bersifat toksik bagi makhluk hidup (Kjeldsen et al., 2002). Oleh karena itu, akumulasi air lindi dapat menyebabkan airtanah menjadi tercemar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji geolistrik metode ERT diperoleh bahwa distribusi air lindi di TPA Piyungan ditemukan pada kedalaman 5–20 m dengan nilai resistivitas sebesar 1–3 Ω meter yang menyebabkan tercemarnya airtanah. Hal tersebut diperkuat melalui hasil pengukuran sifat fisik-kimia air pada 29 sumur gali meliputi parameter TDS, DHL, dan salinitas yang diperoleh bahwa sebagian besar airtanah sekitar TPA Piyungan telah melebihi standar airtanah normal. Sementara itu, hasil analisis flownet (jejaring arah pergerakan aliran airtanah) di sekitar TPA Piyungan diperoleh bahwa pergerakan aliran airtanah dan pencemaran cenderung bergerak ke arah Barat Laut dari TPA Piyungan. Oleh karena itu, airtanah di wilayah

sekitar TPA Piyungan terutama bagian Barat Laut telah tercemar akibat air lindi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada masyarakat sekitar TPA Piyungan, Desa Sitimulyo yang telah bersedia untuk diwawancarai terkait keperluan data penelitian. Terimakasih kepada laboratorium Geofisika Universitas Gadjah Mada karena sudah membantu peminjaman alat terutama geolistrik. Terimakasih juga kepada Ahmad Cahyadi, S.Si, M.Sc atas masukan dan saran terkait penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, N.K., Osazuwa, I.B., & Onugba, A. (2010). Detecting Municipal Solid Waste Leachate Plumes through Electrical Resistivity Survey and Physic-Chemical Analysis of Groundwater Samples. *Journal of American Science*, 6: 540–548.
- Adji, T.N., Sejati, S.P. (2014). Identification of Groundwater Potential Zones Within an Area with Various Geomorphological Unit by Using Several Field Parameters and GIS Approach in Kulon Progo Regency, Java, Indonesia. *Arabian Journal of Geoscience*, 1(7): 161–172.
- Bernstone, C., Dahlin, T., Ohlsson, T., & Hogland, H. (2000). DC-Resistivity Mapping of Internal Landfill Structures: Two Pre-Excavation Surveys. *Journal of Environmental Geology*, 39(3-4): 360–371.
- Bichet, V., Grisey, E., & Aleya, L. (2016). Spatial Characterization of Leachate Plume Using Electrical Resistivity Tomography in a Landfill Composed of Old and New Cells (Belfort, France). *Journal of Engineering Geology*, 211: 61–73.
- Casado, I., Mahjoub, H., Lovera, R., Fernandez, R., & Casas, A.L. (2015). Use of Electrical Tomography Methods to Determine the Extension and Main Migration Routes of Uncontrolled Landfill Leachates in Fractured Areas. *Science of the Total Environment Journal*, 506-507: 546–553.
- Chambers, J.E., Kuras, O., Meldrum, P.I., Ogilvy, R.D., & Hollands, J. (2006). Electrical Resistivity Tomography Applied to Geologic, Hydrogeologic, and Engineering Investigations at a Former Waste-Disposal Site. *Journal of Geophysics*, 71(6): B231–B239.
- Claret, F., Tournassat, C., Crouzet, C., Gaucher, E. C., Schäfer, T., Braibant, G., & Guyonnet, D. (2011). Metal Speciation in Landfill Leachates with a Focus on the Influence of Organic Matter. *Journal of Waste Management*, 31(9-10): 2036–2045.
- Clement, R., Desclotres, M., Günther, T., Oxarango, L., Morra, C., Laurent, J.-P., & Gourc, J.-P. (2010). Improvement of Electrical Resistivity Tomography for Leachate Injection Monitoring. *Journal of Waste Management*, 30(3): 452–464.
- Cossu, R., Zuffianò, L. E., Limoni, P. P., De Giorgio, G., Pizzardini, P., Miano, T., Mondelli, D., and Polemio, M. (2018). How Can the Role of Leachate on Nitrate Concentration and Groundwater Quality Be Clarified? an Approach for Landfills in Operation (Southern Italy). *Journal of Waste Management*, 77: 156–165.
- Degueurce, A., Clement, R., Moreau, S., & Peu, P. (2016). On The Value of Electrical Resistivity Tomography for Monitoring Leachate Injection in Solid State Anaerobic Digestion Plants at Farm

- Scale. *Journal of Waste Management*, 56: 125-136.
- Departemen Kesehatan RI. (2010). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Jakarta: Departemen Kesehatan RI.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Gardner, K.K., and Vogel, R.M. (2005). Predicting Ground Water Nitrate Concentration from Land Use. *Ground Water Journal*, 43(3): 343-352.
- Grisey, E., & Aleya, L. (2016). Assessing the Impact of Leachate Plumes on Groundwater Quality in the Etueffont Landfill (Belfort, France). *Journal of Environment Earth Science*, 75: 913.
- Kjeldsen, P., Barlaz, M.A., Rooker, A.P., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T.H. (2002). Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Crit. Rev. Journal of Environmental Science Technology*, 32: 297-336.
- Kurakalva, R. M., Aradhi, K. K., Mallela, K. Y., & Venkatayogi, S. (2016). Assessment of Groundwater Quality in and around the Jawaharnagar Municipal Solid Waste Dumping Site at Greater Hyderabad, Southern India. *Procedia Environmental Sciences Journal*, 35: 328-336.
- Loke, M.H. (2000). *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies, A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*. <http://www.geo.mtu.edu/~ctyoung/LOKENOTE.PDF> diakses oleh Fajri Ramadhan pada 10 Juli 2018.
- Loke, M. H., Wilkinson, P. B., Chambers, J. E., Uhlemann, S. S., & Sorensen, J. P. R. (2015). Optimized Arrays for 2-D Resistivity Survey Lines with a Large Number of Electrodes. *Journal of Applied Geophysics*, 112: 136-146.
- Maurya, P. K., Rønde, V. K., Fiandaca, G., Balbarini, N., Auken, E., Bjerg, P. L., & Christiansen, A. V. (2017). Detailed Landfill Leachate Plume Mapping Using 2D and 3D Electrical Resistivity Tomography - with Correlation to Ionic Strength Measured in Screens. *Journal of Applied Geophysics*, 138: 1-8.
- Mor, S., Ravindra, K., Dahiya, R. P., & Chandra, A. (2006). Leachate Characterization and Assessment of Groundwater Pollution near Municipal Solid Waste Landfill Site. *Environmental Monitoring and Assessment Journal*, 118 (1-3): 435-456.
- Morsy, K.M., Morsy, A. M., & Hassan, A. E. (2018). Groundwater Sustainability: Opportunity Out of Threat. *Groundwater for Sustainable Development Journal*, 7: 277-285.
- Ofomola, M. O. (2018). Geophysical Assessment for Contaminant Hydrology in Ujevwu, Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, 138: 177-191.
- Santosa, L.W. (2004). *Studi Akuifer pada Bentanglahan Kepesisiran Kabupaten Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta*. *Jurnal Majalah Geografi Indonesia*, 18(2): 117-133.
- Slamet, J.S. (2000). *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Todd, D.K & Mays, L.W. (2005). *Groundwater Hydrology 3rd Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Vaudelet, P., Schmutz, M., Pessel, M., Franceschi, M., Guérin, R., Atteia, O., & Bégassat, P. (2011). Mapping of Contaminant Plumes with Geoelectrical Methods. A Case Study in Urban Context. *Journal of Applied Geophysics*, 75(4): 738-751.
- Widyastuti, M., Notosiswoyo, S., & Anggayana, K. (2006). Pengembangan Metode 'DRASTIC' untuk Prediksi Kerentanan Airtanah Bebas Terhadap Pencemaran di Sleman. *Jurnal Majalah Geografi Indonesia*, 20 (1): 32-51.