



Analisis Sebaran Lindi di Sekitar Kawasan TPA Batu Layang Berdasarkan Nilai Resistivitas

Analysis of Leachate Distribution Around Batu Layang TPA Area Based on Resistivity Value

FITRIANA MEILASARI*, HENDRI SUTRISNO, BUDHI PURWOKO

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura
*fitriana@untan.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 May 2022

Accepted 2 November 2022

Published 31 January 2023

Keywords:

Groundwater

Geoelectric

Leachate

Resistivity

ABSTRACT

Open dumping activities at the Batu Layang TPA can potentially cause leachate pollution to the environment. Leachate that seeps into the ground can contaminate groundwater. Most people around the Batu Layang TPA use groundwater for MCK (bath, wash, toilet) purposes. If the groundwater is contaminated with leachate and used sustainably by the community, it will impact health problems. Therefore, it is necessary to manage the distribution of leachate. One of the leachate management systems is modeling the potential distribution of leachate below the soil surface. The purpose of this research is to analyze the distribution of subsurface leachate around the Batu Layang landfill area based on the resistivity value. They are modeling the potential distribution of leachate below the ground surface in this study using the Wenner configuration geoelectric method. Processing of geoelectrical measurement data using Res2DInv software so that the potential distribution of leachate under the soil surface is obtained in 2 Dimensional forms. The result of this research is the resistivity value $<10\text{ m}$ is interpreted as leachate, with an error rate (RMS error) of 7.7–11.3%. The geology of the study area is composed of peat soil, where the constituent rocks have high porosity (83.43–92.92%) and increased permeability (2.97×10^{-5} – 8.31×10^{-5} m/s). Porosity and permeability affect the infiltration of leachate into the soil. The topography of the study area is relatively flat, so it is estimated that the velocity of leachate distribution horizontally and vertically under the soil surface is moderate.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 17 Mei 2022

Disetujui 2 November 2022

Diterbitkan 31 Januari 2023

Kata kunci:

Air Tanah

Geolistrik

Lindi

Resistivitas

ABSTRAK

Kegiatan open dumping di TPA Batu Layang dapat berpotensi menyebabkan pencemaran lindi ke lingkungan. Lindi yang merembes ke dalam tanah dapat mencemari air tanah. Sebagian besar masyarakat di sekitar TPA Batu Layang memanfaatkan air tanah untuk keperluan MCK (mandi, cuci, kakus). Jika air tanah tersebut tercemar lindi dan dimanfaatkan secara berkesinambungan oleh masyarakat maka akan berdampak pada gangguan kesehatan. Oleh karena itu, perlu adanya pengelolaan sebaran lindi. Satu di antara sistem pengelolaan lindi adalah pemodelan potensi sebaran lindi di bawah permukaan tanah. Tujuan penelitian adalah analisis sebaran lindi bawah permukaan tanah di sekitar kawasan TPA Batu Layang berdasarkan nilai resistivitas. Pemodelan potensi sebaran lindi di bawah permukaan tanah pada penelitian ini menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner. Pengolahan data hasil pengukuran geolistrik menggunakan software Res2DInv sehingga didapatkan potensi sebaran lindi di bawah permukaan tanah dalam bentuk 2 Dimensi. Hasil dari penelitian ini adalah nilai resistivitas $<10\ \Omega\text{m}$ diinterpretasi sebagai lindi, dengan tingkat kesalahan (error RMS) sebesar 7,7–11,3%. Geologi daerah penelitian tersusun oleh tanah gambut, dimana batuan penyusunnya memiliki porositas tinggi (83,43–92,92%) dan permeabilitas tinggi ($2,97 \times 10^{-5}$ – $8,31 \times 10^{-5}$ m/s). Porositas dan permeabilitas mempengaruhi daya infiltrasi lindi ke dalam tanah. Topografi daerah penelitian relatif datar sehingga diperkirakan kecepatan sebaran lindi secara horizontal maupun vertikal di bawah permukaan tanah sedang.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laju timbulan sampah yang masuk ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Batu Layang adalah 118.643,27 ton/tahun. Sampah yang masuk ke TPA Batu Layang terdiri dari sampah organik (81,4%) dan sampah anorganik (18,6%). Sampah organik sebagian besar terdiri dari sampah pasar, sampah sisa makanan, sampah taman (daun dan kayu), kertas, tekstil, dan *nappies*. Sedangkan sampah anorganik terdiri dari sampah plastik, logam, karet, kulit, kaca, sampah bekas baterai, obat-obatan, sampah bekas pembersih rumah tangga, dan lain-lain (Khatulistiwa *et al.*, 2016). Tumpukan sampah tersebut jika terkena hujan maka akan menghasilkan lindi (Arifin *et al.*, 2019). Lindi merupakan limbah cair dari dekomposisi sampah (Fitri & Sembiring, 2017; Purwanti, 2014). Lindi terwujud akibat adanya tumpukan sampah yang terkena air hujan sehingga menghasilkan limbah cair. Faktor yang berpengaruh pada laju timbulan lindi adalah kuantitas air hujan, aliran air permukaan, evapotranspirasi aktual, suhu, komposisi sampah, kelembaban, dan ketinggian tumpukan sampah (Purwanta, 2007). Sedangkan komposisi lindi tergantung pada jenis limbah yang terdapat pada tumpukan sampah dan umur tumpukan sampah (Hakim *et al.*, 2014). Konsentrasi kandungan kimia pada lindi dipengaruhi oleh kondisi tumpukan sampah (suhu, pH, kelembaban, dan umur tumpukan sampah) (Hakim *et al.*, 2014). Lindi mengandung zat organik dan anorganik. Zat organik dan anorganik yang ada di dalam lindi membentuk senyawa karsinogenik. Oleh karena itu, lindi cenderung bersifat toksik (Mendoza *et al.*, 2017). Lindi mengandung logam berat. Logam berat yang terdapat pada lindi adalah timbal (Pb) (Hakim *et al.*, 2014; Widyasari *et al.*, 2013), besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu) (Hakim *et al.*, 2014), nikel (Ni) (Hardyanti & Huboyo, 2009), magnesium (Mg), kadmium (Cd), kobalt (Co), kromium (Cr) (Hakim *et al.*, 2014) merkuri (Hg) (Wahyuning & Muryani, 2018)

Kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) lindi TPA Batu Layang adalah 818,30 mg/L dan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD)nya sekitar 1.259,52 mg/L (Wahyudi *et al.*, 2017). Kadar BOD dan COD ini melebihi baku mutu. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, kadar BOD paling tinggi adalah 150 mg/L dan kadar COD maksimum adalah 300 mg/L. Kadar BOD dan COD yang tinggi mengindikasikan adanya beban pencemaran yang tinggi. Beban pencemaran yang tinggi akan menyebabkan penurunan kualitas air tanah (Djoharam *et al.*, 2018; Rahayu *et al.*, 2018). Peningkatan kadar kontaminan bahan organik berasal dari limbah menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut (Andika *et al.*, 2020). *Biological Oxygen Demand* (BOD) merupakan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik oleh mikroorganisme (Santoso, 2018). Sedangkan *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi (Lumaela *et al.*, 2013).

Lindi yang bersifat toksik jika mencemari air tanah maka kesehatan masyarakat yang mengonsumsi dan

memanfaatkan air tanah untuk air bersih akan berdampak negatif. Air tanah adalah air di bawah permukaan tanah yang berada pada pori-pori tanah atau pada rekahan batuan tanah (Yulfiyah, 2019). Air tanah merupakan satu di antara sumberdaya alam yang dapat diperbaharui. Air tanah yaitu sumber air yang kuantitas dan kualitasnya terbatas (Putranto & Kusuma, 2016). Air tanah dimanfaatkan untuk keperluan MCK (mandi, mencuci, kakus) oleh sebagian masyarakat sekitar TPA Batu Layang. Hal ini dikarenakan kualitas air tanah cukup baik dibandingkan air permukaan. Kualitas air tanah mempengaruhi derajat kesehatan masyarakat (Brhane, 2018). Air tanah bergerak secara lateral maupun vertikal (Zhou & Li, 2011). Faktor yang mempengaruhi ketersediaan air tanah adalah keadaan geologi, morfologi, hidrogeologi, topografi setempat (Arifin *et al.*, 2019; Kristanto *et al.*, 2020). Air tanah berhubungan erat dengan akuifer (Purnama *et al.*, 2007). Hal ini disebabkan oleh ketersediaan air di bawah permukaan tanah dipengaruhi oleh ada tidaknya lapisan yang mengandung dan meloloskan air. Akuifer memiliki nilai porositas dan permeabilitas yang tinggi (Sunarwan & Kamal, 2015). Porositas adalah perbandingan volume *interstices* terhadap total volume yang menyatakan ukuran kandungan *interstices/void/porespace*. *Interstices/void/porespace* adalah bagian-bagian dari tanah/batuan yang terisi oleh fluida. Porositas merupakan nilai dari rongga kosong antar batuan dan merupakan fraksi dari volume rongga kosong terhadap total volume. Nilai porositas dapat dinyatakan dalam persentase yaitu 0–100%. Faktor yang mempengaruhi porositas adalah kompaksi, sementasi, bentuk butir, ukuran butir, susunan butir, dan sortasi (Alim *et al.*, 2017). Porositas mempengaruhi permeabilitas karena kemampuan suatu fluida untuk melewati ruang antar batuan di dalam tanah akan semakin mudah jika ruang pori antar batumannya di dalam tanah semakin besar. Begitu pula sebaliknya semakin kecil rongga/celah antar batuan maka kemampuan untuk melewatkan fluida di dalam tanah juga semakin sulit. (Harist *et al.*, 2017). Permeabilitas merupakan kemampuan untuk melewatkan fluida pada batuan (Mulyono *et al.*, 2019). Faktor yang mempengaruhi harga permeabilitas batuan adalah ukuran besar butir batuan, kesarangan, susunan batuan, sebaran batuan, dan perlapisan batuan (Yuliani *et al.*, 2020). Permeabilitas juga dipengaruhi oleh *irreducible water saturation* (S_{wirr}). *Irreducible water saturation* (S_{wirr}) adalah nilai saturasi air sisa atau air yang tertahan di dalam batuan karena pengaruh tekanan kapiler (Aulia *et al.*, 2020; Ghifara *et al.*, 2016; Prastio, 2021). Hubungan antara permeabilitas dan porositas adalah berbanding lurus. Sedangkan hubungan antara permeabilitas dan *irreducible water saturation* (S_{wirr}) berbanding terbalik (Yogi, 2018; Yuliani *et al.*, 2020). Porositas dan permeabilitas mempengaruhi kemampuan batuan/tanah untuk menampung dan mengalirkan air di dalam tanah (Maysarah *et al.*, 2021).

Akuifer terdiri dari tiga jenis yaitu akuifer bebas, akuifer semi tertekan, dan akuifer tertekan. Akuifer bebas atau yang disebut dengan air tanah dangkal adalah lapisan yang sisi atasnya berhubungan langsung dengan atmosfer atau berimpit dengan permukaan air sedangkan sisi bawahnya dibatasi oleh lapisan *aquitard* (Asdak, 2010). Akuifer semi tertekan (*leaky aquifer*) merupakan akuifer sisi atasnya dibatasi oleh lapisan *aquitard* sehingga air yang berada diatas dari lapisan semi kedap air tersebut masih bisa

mengalir ke dalam akuifernya dan sisi bawahnya merupakan lapisan *aquiclude*. Sedangkan akuifer tertekan merupakan akuifer yang terletak di antara 2 lapisan lapisan kedap air (*aquiclude*) dan tekanan airnya lebih besar dari tekanan atmosfer (Asra, 2012). Contoh batuan yang tergolong akuifer adalah *sand*, *sandstone*, *gravel* (kerikil dan kerakal). *Aquitard* disebut dengan lapisan batuan yang bersifat semi *permeable*. *Aquitard* adalah lapisan batuan yang dapat mengandung air dan air tersebut dapat diloloskan dalam jumlah terbatas pada lapisan batuan jenis ini. Contoh batuan yang termasuk *Aquitard* adalah lempung pasir. *Aquiclude* disebut lapisan kedap air. *Aquiclude* adalah lapisan yang mampu menyerap air, akan tetapi sulit untuk melepaskan air. Contoh jenis batuan yang tergolong *Aquiclude* adalah *clay*, *silt* (Putranto & Kusuma, 2016), dan konglomerat massif (T *et al.*, 2008). *Akuifug* disebut lapisan batuan kebal air, maksudnya yaitu air tidak dapat diloloskan dan tidak bisa disimpan pada lapisan batuan ini. Batuan beku merupakan contoh batuan yang termasuk *Akuifug* (Putranto & Kusuma, 2016).

Kualitas air tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, jenis tanah, dan batuan penyusun daerah tersebut, serta aktivitas masyarakat (Aisyah, 2017). Air tanah di sekitar TPA Batu Layang berpotensi tercemar lindi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh sistem *open dumping* yang diterapkan oleh TPA Batu Layang (Rochmawati & Yunisura, 2017; Wahyudi *et al.*, 2017). Sistem *open dumping* adalah sistem pembuangan sampah terbuka. Sistem ini tidak memiliki lapisan dasar dan berpotensi menyebabkan pencemaran lindi ke air tanah (Fitria *et al.*, 2018; Thomas & Santoso, 2019). Air tanah yang tercemar lindi jika dikonsumsi secara berkesinambungan oleh masyarakat maka akan berdampak pada gangguan kesehatan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengelolaan lindi yang tepat. Satu di antara sistem pengelolaan lindi tersebut adalah pemodelan sebaran lindi yang berpotensi mencemari air di bawah permukaan tanah (Castañeda *et al.*, 2012). Faktor yang mempengaruhi dispersi lindi diantaranya adalah kondisi topografi setempat, kondisi geologi setempat, sifat fisik tanah, cara penimbunan sampah, dan umur sampah (Prihatiningsih, 2010). Kondisi topografi dan geologi setempat akan mempengaruhi kandungan kontaminan yang merembes ke dalam tanah yang mengikuti gerakan aliran air tanah (Qadriyah *et al.*, 2019). Kondisi geologi setempat tersebut akan menentukan nilai permeabilitas batuan penyusun. Perbedaan permeabilitas batuan penyusun akan mempengaruhi konsentrasi kontaminan yang merembes pada permukaan tanah. Batuan yang memiliki nilai permeabilitas yang tinggi cenderung akan meloloskan kontaminan lebih besar daripada batuan dengan permeabilitas yang lebih rendah (Hakim *et al.*, 2017). Kontaminan yang terkandung dalam lindi mengandung logam berat yang berpotensi mengganggu kesehatan apabila lindi tersebut mencemari air tanah dan air tanah tersebut dimanfaatkan terus menerus oleh masyarakat. Pentingnya pemodelan sebaran lindi di bawah permukaan tanah sebagai upaya mitigasi penyebaran lindi baik secara vertikal maupun horizontal. Pemodelan sebaran lindi juga merupakan langkah awal untuk menentukan upaya penanggulangan yang tepat pada tahap selanjutnya. Satu di antara metode pemodelan sebaran lindi di bawah

permukaan tanah adalah metode geolistrik (Pratiwi *et al.*, 2018).

Metode geolistrik merupakan satu di antara metode geofisika yang menggunakan prinsip kelistrikan untuk menginterpretasikan batuan di bawah permukaan tanah (Dzulfahmi *et al.*, 2019). Salah satu metode geolistrik yang digunakan untuk memodelkan sebaran lindi guna mengindikasikan adanya potensi pencemaran air di bawah permukaan tanah adalah metode geolistrik resistivitas. Metode geolistrik resistivitas menggunakan prinsip perambatan arus listrik dengan cara arus listrik DC yang mempunyai tegangan tinggi dialirkan ke dalam tanah untuk mengetahui perubahan resistivitas batuan atau merefleksikan nilai resistivitas berbagai medium di bawah permukaan tanah (Tamuntuan *et al.*, 2015). Perbedaan resistivitas batuan tersebut dapat mendeteksi sebaran lindi bawah permukaan tanah yang berpotensi mencemari air tanah (Mahardika *et al.*, 2010). Prinsip kerja metode geolistrik adalah nilai resistivitas diukur dengan cara arus listrik dialirkan ke tanah menggunakan elektroda arus yang diterima oleh elektroda potensial (Halik & Widodo, 2008).

Metode geolistrik yang digunakan pada penelitian ini adalah metode geolistrik konfigurasi Wenner. Kelebihan metode geolistrik konfigurasi Wenner adalah dalam menggambarkan arah lateral/horizontal data yang didapatkan lebih detail/teliti dibandingkan dengan konfigurasi lainnya (Pratiwi *et al.*, 2018). Metode ini dapat memberikan gambaran adanya anomali di bawah permukaan tanah yang diidentifikasi sebagai lindi akibat adanya variasi nilai resistivitas bawah permukaan (Hakim *et al.*, 2017). Namun metode geolistrik konfigurasi Wenner memiliki kelemahan dalam menggambarkan arah vertikal karena jangkauannya dalam menggambarkan lapisan batuan bawah permukaan tanah tidak terlalu dalam.

Penelitian yang menerapkan metode geolistrik resistivitas untuk mengindikasikan adanya pencemaran lindi di bawah permukaan tanah antara lain adalah Penerapan metode geolistrik konfigurasi Wenner *mapping* untuk mengetahui rembesan air lindi di TPA Talang Gulo Jambi (Pratiwi *et al.*, 2018), Studi Akumulasi rembesan air lindi dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner *mapping* (Studi Kasus: TPA Supit Urang, Malang) (Hakim *et al.*, 2017), Model 3D Sebaran Lindi pada Lapisan Tanah di Area TPA Batulayang Pontianak Kalimantan Barat Berdasarkan Nilai Resistivitas (Muhardi *et al.*, 2020).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah analisis sebaran lindi bawah permukaan tanah di sekitar kawasan TPA Batu Layang berdasarkan nilai resistivitas.

2. METODE

Lokasi penelitian berada di sekitar TPA Batu Layang. TPA Batu Layang merupakan tempat pemrosesan akhir sampah di Kota Pontianak. TPA Batu Layang terletak di Jalan Kebangkitan Nasional, Batu Layang, Kecamatan Pontianak Utara, Kota Pontianak, Kalimantan Barat. TPA Batu Layang telah beroperasi sejak tahun 1996 hingga

sekarang. TPA Batu Layang menerapkan sistem *open dumping* (Wahyudi et al., 2017).

2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *Resistivity* meter Merk ARES (Perusahaan pembuat *Resistivity* meter Merk ARES (*Automatic Resistivity System*): GF Instruments, s.r.o.), elektroda, kabel, meteran, GPS (*Global Positioning System*), dan *Software Res2DInv* versi 3.54.44 (Perusahaan pembuat *software Res2DInv*: Geotomosoft).

2.2 Prosedur Penelitian

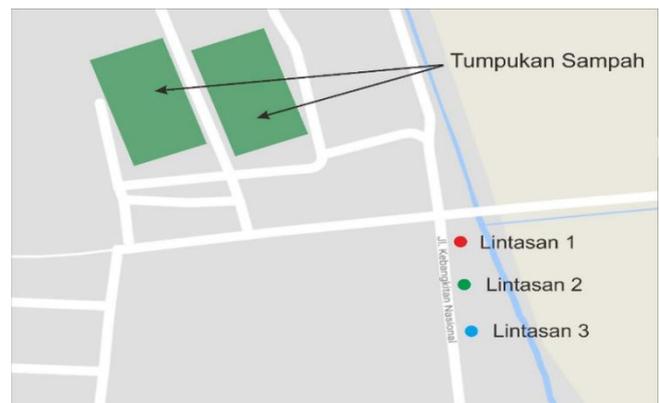
Metode penelitian yang digunakan untuk memodelkan sebaran lindi di bawah permukaan tanah pada penelitian ini adalah metode geolistrik. Tahapan penelitian terdiri dari survei lokasi penelitian, akuisisi data, pengolahan data, analisis, dan interpretasi data. Survei merupakan langkah awal yang dilakukan pada penelitian ini. Tujuan survei untuk merancang panjang lintasan, menentukan titik awal dan titik akhir, menentukan lokasi titik pengukuran geolistrik, serta menentukan target kedalaman yang diinginkan (Astutik et al., 2016). Dasar pertimbangan lokasi titik pengukuran adalah lokasi lintasan pengukuran geolistrik tidak tergenang air dan kondisi tempat pengukuran bisa ditancapkan elektroda.

Konfigurasi yang digunakan pada penelitian ini adalah konfigurasi Wenner. Metode geolistrik konfigurasi Wenner memiliki aturan spasi yang sama. Pengukuran metode geolistrik Konfigurasi Wenner dimulai dari spasi yang kecil. Kemudian elektroda arus (C1 dan C2) dan elektroda potensial (P1 dan P2) akan dipindahkan sesuai dengan aturan konfigurasi dan spasi akan berubah sampai pada kedalaman yang diinginkan dicapai (Hakim et al., 2017). Kelebihan metode geolistrik Konfigurasi Wenner adalah data yang didapatkan lebih detail dan halus dibandingkan dengan konfigurasi lainnya (Pratiwi et al., 2018). Adapun tahapan akuisisi data adalah sebagai berikut: 1) Elektroda ditancapkan pada permukaan tanah; 2) Kabel dibentangkan; 3) Nilai resistivitas (R) diukur dengan cara menghubungkan elektroda dengan *resistivity* meter; 4) Nilai resistivitas yang terukur di lapangan (R) dicatat (Putra et al., 2012). Jumlah lintasan pengukuran metode geolistrik pada penelitian ini sebanyak 3 lintasan (Gambar 1). Spasi yang digunakan pada penelitian ini sebesar 3 m. Panjang tiap lintasan (L1, L2, dan L3) adalah 141 meter. Arah lintasan pengukuran metode geolistrik adalah N 175° E atau ke arah selatan dari awal lintasan (L1) (Gambar 2). Jika ditarik garis lurus dari lintasan L1 hingga lintasan L3 maka panjang total bentangan sekitar 423 m. Ujung lintasan L1 bertemu langsung dengan awal lintasan L2. Begitu pula dengan ujung lintasan L2 bertemu langsung dengan awal lintasan L3 (Gambar 2).

Tahapan selanjutnya adalah pengolahan data, interpretasi data, serta analisis data. Pengolahan data hasil pengukuran geolistrik menggunakan *software Res2DInv*. Tahapan dalam pengolahan data antara lain: (1) Menghitung nilai faktor geometri (K), nilai *mid point*, dan nilai *Rho Apparent* (ρ).

Faktor Geometri didapatkan dengan cara:

$$k = 2\pi a \dots\dots\dots (1) \text{ (Telford et al., 1990).}$$



Gambar 1. Lintasan pengukuran geolistrik



Gambar 2. Skema arah lintasan pengukuran geolistrik

Sedangkan Nilai *Rho Apparent* (ρ) berdasarkan Persamaan 2.

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots (2) \text{ (Telford et al., 1990).}$$

Keterangan:

k = Faktor geometri (meter)

ρ = Resistivitas bumi (Ohm-meter)

I = Arus listrik (Ampere)

ΔV = Beda potensial (Volt) (Telford et al., 1990).

Mengolah data tersebut dengan menggunakan *software Res2DInv*. Hasil yang diperoleh dari *software Res2DInv* ini berupa Gambar penampang 2 Dimensi (2D) yang menunjukkan nilai tahanan jenis sesungguhnya (ρ), kedalaman (h), dan dugaan lapisan penyusun bawah permukaan tanah (Situmorang & Panjaitan, 2017). Pada Gambar penampang 2D tersebut terdapat harga tahanan jenis yang sebenarnya (*true resistivity*). Nilai *true resistivity* digunakan dalam interpretasi data untuk menduga sebaran lindi di bawah permukaan tanah yang dapat menyebabkan pencemaran air tanah. Analisis dan interpretasi data berdasarkan faktor geologi, hidrogeologi, dan topografi daerah penelitian.

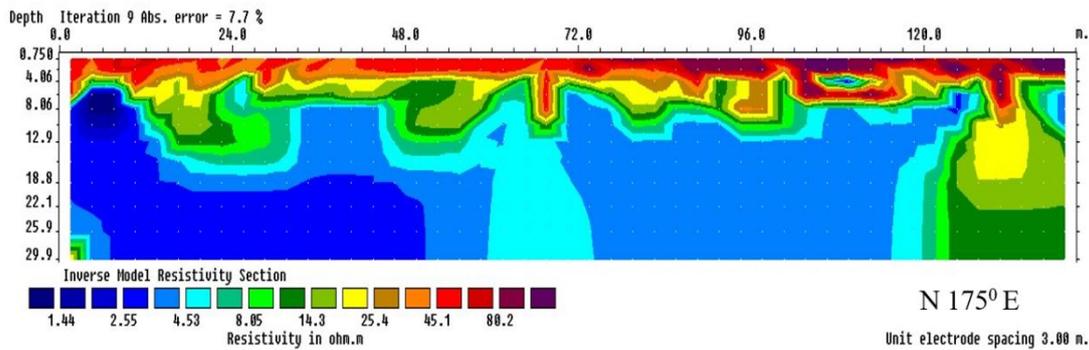
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpretasi sebaran lindi di bawah permukaan tanah berdasarkan pada nilai resistivitas, kondisi geologi, hidrogeologi, dan topografi daerah penelitian.

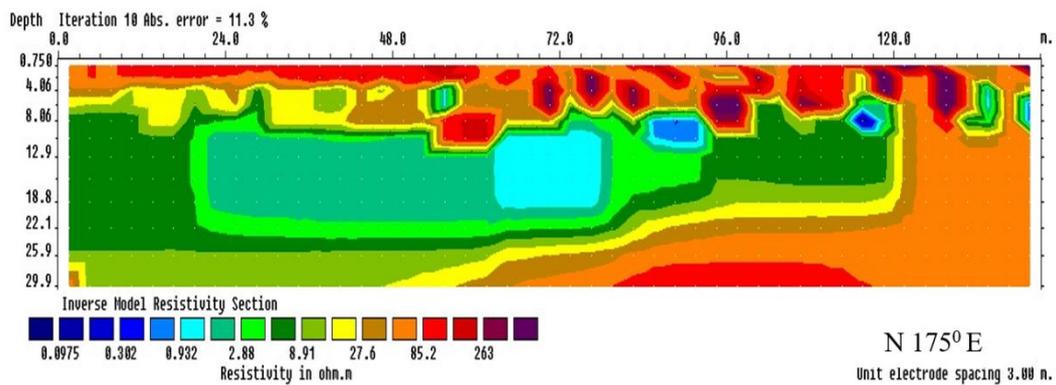
3.1 Resistivitas

Berdasarkan hasil pemodelan *inverse software* Res2DInv diperoleh nilai resistivitas lintasan 1 berkisar antara 1,44–80,2 Ω m, dengan tingkat kesalahan (*error RMS*) sebesar 7,7% (Gambar 3). Nilai resistivitas <10 Ω m diinterpretasikan sebagai lindi. Hal ini didukung oleh penelitian Dzulfahmi et al., 2019 yang menyatakan bahwa nilai resistivitas lindi <10 Ω m (Dzulfahmi et al., 2019). Lindi yang merembes di bawah permukaan tanah berpotensi mengkontaminasi tanah dan air tanah. Indikasi sebaran lindi yang dapat mengkontaminasi tanah dan air tanah pada lintasan 1 cenderung tersebar merata mulai bentangan 0–126 m. Indikasi tanah terkontaminasi lindi pada lintasan 1 paling dalam terdapat hingga kedalaman 29,9 m. Nilai resistivitas 10 - 50 Ω m diduga lempung pasir dan pasir. Nilai resistivitas >50 Ω m diduga sebagai tanah gambut. Adapun kedalaman tanah gambut di lokasi penelitian hingga \leq 4,5 meter (Muliadi et al.,

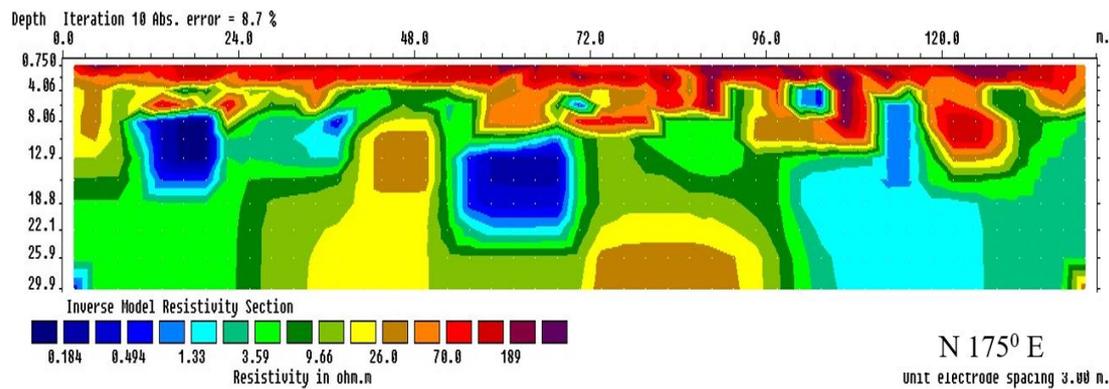
2019). Nilai resistivitas pada lintasan 2 berkisar antara 0,0975–263 Ω m, dengan tingkat kesalahan (*error RMS*) sebesar 11,3% (Gambar 4). Pada lintasan 2 nilai resistivitas 0,0975–8,91 Ω m diinterpretasikan sebagai lindi yang dapat mengkontaminasi tanah dan air tanah. Nilai resistivitas lindi cenderung *relative* rendah (<10 Ω m). Hal ini disebabkan oleh lindi bersifat konduktif (Fitria et al., 2018). Nilai resistivitas \geq 10 Ω m diduga lempung pasir, pasir, dan tanah gambut. Indikasi tanah terkontaminasi lindi pada lintasan 2 paling dalam terdapat sampai pada kedalaman 25 m. Nilai resistivitas pada lintasan 3 berkisar antara 0,184–189 Ω m, dengan tingkat kesalahan (*error RMS*) sebesar 8,7% (Gambar 5). Nilai resistivitas <10 Ω m diduga sebagai lindi yang berpotensi mencemari tanah dan air tanah pada lintasan 3. Indikasi sebaran lindi yang dapat mengkontaminasi tanah dan air tanah pada lintasan 3 paling dalam terdapat hingga kedalaman 29,9 m. Nilai resistivitas 0,184–189 Ω m diinterpretasikan tanah gambut, lempung pasir, dan pasir (Gambar 5). Hal ini didukung oleh penelitian Muhardi et al., 2020 yang menyatakan bahwa tanah gambut, lempung pasir, dan pasir memiliki nilai resistivitas 0,152–3123 Ω m (Muhardi et al., 2020).



Gambar 3. Model penampang 2 dimensi lintasan 1



Gambar 4. Model penampang 2 dimensi lintasan 2



Gambar 5 Model penampang 2 dimensi lintasan 3

Berdasarkan hasil interpretasi pengolahan data menggunakan *software* Res2DInv maka disimpulkan bahwa nilai resistivitas <math><10 \Omega\text{m}</math> pada penampang 2D diduga sebagai sebaran lindi di bawah permukaan tanah. Sebaran lindi di bawah permukaan tanah berpotensi mencemari tanah dan air tanah. Lindi yang berpotensi mengkontaminasi tanah dan air tanah memiliki nilai resistivitas kecil (<math><10 \Omega\text{m}</math>) karena lindi bersifat konduktif. Nilai resistivitas berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas. Nilai konduktivitas dipengaruhi oleh kandungan logam berat. Semakin banyak kandungan logam berat maka nilai konduktivitasnya semakin besar dan nilai resistivitasnya akan semakin kecil. Begitu pula sebaliknya, semakin sedikit kandungan logam berat maka nilai konduktivitas lindi semakin kecil dan nilai resistivitasnya akan semakin besar.

3.2 Geologi

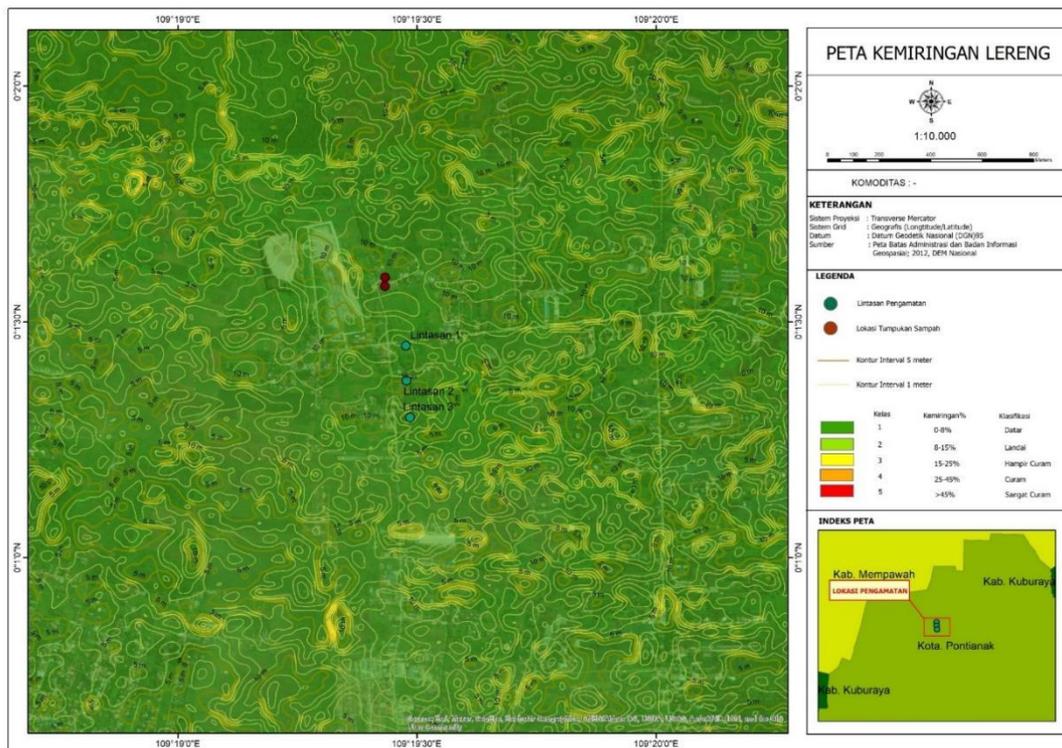
Salah satu faktor yang mempengaruhi sebaran lindi di bawah permukaan tanah adalah kondisi geologi. Geologi daerah penelitian tersusun oleh tanah gambut (Muliadi *et al.*, 2019) (Gambar 6). Tanah gambut adalah hasil timbunan tumbuh-tumbuhan yang telah mati yang sebagian besar mengalami penguraian biologi sehingga membentuk material sisa tumbuhan sampai koloidal. Timbunan bahan organik dan sedikit anorganik dari tanah ini dalam keadaan jenuh air. Warna tanah gambut kuning hingga cokelat tua tergantung dari tingkat penguraian biologi, jumlah serat tumbuhan dan sedimen (anorganik). Unsur-unsur utama pembentuk gambut adalah karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen dan beberapa oksida dalam jumlah kecil seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan sulfur. Tanah gambut merupakan tanah yang berbahan induk dari sisa tumbuhan dengan proses dekomposisi *anaerobic* terhambat, tidak atau hanya sedikit (<math><5\%</math>) mengandung tanah mineral yang berkristal. Rangkaian penyusunnya berupa bahan karbon, yang mana bahan organik ini adalah rantai karbon yang sebagian besar berupa lignin, hemiselulosa, dan humik. Tanah gambut bersifat sarang (*porous*) dan sangat ringan, sehingga mempunyai kemampuan menyangga sangat rendah, kandungan hara relatif rendah dan banyak mengandung asam-asam organik yang menyebabkan pH gambut sangat rendah (pH antara 2,7 – 5,0) (Wibowo, 2010). Tanah gambut memiliki nilai porositas tinggi (Sampurno *et al.*, 2018). Porositas menentukan banyaknya air yang dapat dikandung dalam batuan. Porositas dipengaruhi oleh besar dan bentuk

butir material penyusun batuan tersebut dan juga susunan butir-butirnya serta pengisian ruang antar butir oleh semen. Faktor lainnya yang juga mempengaruhi porositas adalah jumlah ukuran yang berbeda, hal ini penting karena partikel kecil dapat mengisi rongga antar partikel yang besar. Tanah gambut di sekitar TPA Batu layang terdapat di bawah permukaan tanah hingga kedalaman $\leq 4,5$ meter. Nilai interpretasi resistivitas tanah gambut sekitar 40 - 706,6 Ωm (Muliadi *et al.*, 2019) atau 18,8–126 Ωm (Fajania *et al.*, 2021). Berdasarkan peta geologi lembar Singkawang, Kalimantan diketahui bahwa tidak dijumpai struktur geologi pada daerah sekitar TPA Batu Layang (N. Suwarna (GRDC) dan R.P. Langford (AGSO), 1993). Oleh karena itu daerah penelitian tidak dipengaruhi oleh kontrol struktur geologi.

3.3 Hidrogeologi

Berdasarkan Peta Hidrogeologi, daerah TPA Batu Layang berada pada cekungan air tanah Pontianak (Gambar 7). Luas cekungan air tanah Pontianak adalah 22.620 km^2 (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2017). Faktor hidrogeologi ini dipengaruhi kondisi geologi. Geologi daerah penelitian tersusun oleh tanah gambut. Tanah gambut adalah tanah yang memiliki kandungan organik yang besar (>75%) (Artiwi, 2019). Kandungan organik adalah salah satu faktor yang dapat mempengaruhi daya serap air ke dalam tanah. Tanah gambut memiliki porositas 83,43–92,92%, nilai permeabilitas $2,97 \times 10^{-5}$ – $8,31 \times 10^{-5}$ m/s, dan bobot isi 0,16–0,31 g/cm^3 (Jakarius *et al.*, 2021). Nilai porositas pada tanah gambut tergolong kategori tinggi. Nilai permeabilitas pada tanah gambut termasuk kategori agak cepat. Porositas dan permeabilitas yang tinggi pada tanah gambut menyebabkan tanah gambut cepat jenuh air (Sampurno *et al.*, 2018). Tanah gambut yang memiliki sifat cepat jenuh air dapat menyebabkan lindi cepat mengisi pori-pori tanah sehingga berpotensi menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah (Muhardi *et al.*, 2020).

Kecepatan infiltrasi kontaminan ke dalam tanah dipengaruhi oleh ruang antar butir dan litologi penyusun pada permukaan tanah (Putranto *et al.*, 2019). Kecepatan infiltrasi juga dipengaruhi oleh intensitas hujan, kapasitas infiltrasi, kecuraman lereng, kondisi material permukaan tanah, vegetasi, dan curah hujan. Jenis tanah atau batuan di atas permukaan serta kondisi permukaan pada wilayah penelitian juga mempengaruhi daya infiltrasi lindi ke dalam tanah.



Gambar 8 Peta kemiringan lereng daerah penelitian

4. KESIMPULAN

Interpretasi indikasi sebaran lindi di bawah permukaan tanah berdasarkan pada nilai resistivitas, kondisi geologi, hidrogeologi, dan topografi daerah penelitian. Nilai resistivitas <math><10 \Omega\text{m}</math> diinterpretasi sebagai sebaran lindi di bawah permukaan tanah, dengan tingkat kesalahan (*error RMS*) sebesar 7,7–11,3%. Geologi daerah penelitian tersusun oleh tanah gambut, dimana batuan penyusunnya memiliki porositas dan permeabilitas tinggi. Porositas dan permeabilitas yang tinggi pada tanah gambut menyebabkan tanah gambut cepat jenuh air. Tanah gambut yang memiliki sifat cepat jenuh air dapat menyebabkan lindi cepat mengisi pori-pori tanah sehingga berpotensi menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah. Topografi daerah penelitian juga mempengaruhi sebaran lindi di bawah permukaan tanah baik secara horizontal maupun *vertical*. Berdasarkan pada kondisi topografi daerah penelitian, maka diperkirakan kecepatan sebaran lindi secara horizontal maupun *vertical* di bawah permukaan tanah termasuk kategori sedang. Hal ini disebabkan oleh kondisi topografi daerah penelitian relatif datar (kelandaian <math><3\%</math> dan elevasi sekitar 1m).

PERSANTUNAN

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

DAFTAR PUSTAKA

Aisyah, A. N. (2017). Analisis dan Identifikasi Status Mutu Air Tanah Di Kota Singkawang Studi Kasus Kecamatan Singkawang Utara. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v5i1.18404>

Alim, M. I., Firdausi, A., & Nurmalasari, M. D. (2017). Densitas dan Porositas Batuan. In *Fisika Laboratorium* (Issue January).

Andika, B., Wahyuningsih, P., & Fajri, R. (2020). Penentuan Nilai Bod dan Cod Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah Di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 2(1), 14–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.33059/jq.v2i1>

Arifin, Aprillia, P., Zaky Khutby, M., Iskandar, I., & Irawan, D. E. (2019). Potensi Pencemaran Air Tanah Di TPA Pasir Baging dan Sekitarnya. *Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-4*, 10, 6–7.

Artiwi, N. P. (2019). Reayasa Stabilisasi Tanah Gambut dengan Penambahan Terak/Klinker Ditinjau dari Nilai Permeabilitas. *Journal JOSCE*, 01(02), 45–52. <http://ejournal.lppm-unbaja.ac.id/index.php/josce/article/view/681>

Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Gadjah Mada University Press. <http://lib.ui.ac.id/detail?id=20452489>

Asra, A. (2012). *Penentuan Sebaran Akuifer dengan Metode Tahanan Jenis (Resistivity Method) di Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Astutik, P., Wahyono, C. S., & Siregar, S. S. (2016). Identifikasi Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Geolistrik Di Desa Kampung Baru, Tanah Bumbu. *Jurnal Fisika FLUX*, 13(2), 155–160. <https://doi.org://dx.doi.org/10.20527/flux.v13i2.3529>

Aulia, M. R., Putranto, T. T., & Setyawan, R. (2020). Karakteristik Reservoir Berdasarkan Analisis Petrofisik

- Pada Formasi Baturaja, Lapangan Aulia, Cekungan Jawa Barat Utara. *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 3(1), 31. <https://doi.org/10.14710/jgt.3.1.2020.31-41>
- Bambang Sunarwan, Netty Kamal, & M. L. (2015). Identifikasi Parameter Fisika dan Kimia Air Tanah Pada Akifer Endapan Produk Gunung Api (Studi Kasus : Cekungan Airtanah Bandung). *Jurnal Teknik*, 16(1), 53–69. <https://journal.unpak.ac.id/index.php/jurnalteknik/article/view/359>
- Brhane, G. K. (2018). Characterization Of Hydro Chemistry and Groundwater Quality Evaluation for Drinking Purpose in Adigrat Area, Tigray, Northern Ethiopia. *Water Science*, 32(2), 213–229. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.09.003>
- Castañeda, S. S., Sugang, R. J., Almoneda, R. V., Mendoza, N. D. S., & David, C. P. C. (2012). Environmental Isotopes and Major Ions For Tracing Leachate Contamination from a Municipal Landfill in Metro Manila, Philippines. *Journal of Environmental Radioactivity*, 110, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.01.022>
- Djoharam, V., Riani, E., & Yani, M. (2018). Analisis Kualitas Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Pesanggrahan Di Wilayah Provinsi DKI Jakarta. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(1), 127–133. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.1.127-133>
- Dzulfahmi, D., Ivansyah, O., & Zulfian, Z. (2019). Monitoring Pergerakan Lindi Menggunakan Metode Geolistrik Time-Lapse Di Sekitar Pemukiman Tempat Pembuangan Akhir Batu Layang Pontianak. *Prisma Fisika*, 7(3), 251. <https://doi.org/10.26418/pf.v7i3.37247>
- Fajania, R., Arman, Y., & Muhardi, M. (2021). Pendugaan Ketebalan Lapisan Gambut Di Sekitar Jalan Reformasi Kota Pontianak Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis. *Jurnal Geocelebes*, 5(1), 16–22. <https://doi.org/10.20956/geocelebes.v5i1.12908>
- Fitri, L. H., & Sembiring, E. (2017). Kajian Pencemaran Air Tanah Dangkal Akibat Lindi Di Sekitar TPA Supit Urang Malang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 23(1), 41–50. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2017.23.1.5>
- Fitria, B., Maharani, I., Lukmannul, & Sugiyanto, D. (2018). Analisis Deliniasi Lindi TPA Gampong Jawa Berdasarkan Permodelan 2D Resistivitas dengan Metode Geolistrik. *J. Aceh Phys. Soc.*, 7(3), 133–138. <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/JAcPS/article/viewFile/11243/9472>
- Ghifara, H., Adurrokhim, & Febriwan, M. (2016). Petrofisika Reservoir Sand A Formasi Talang Akar Berdasarkan Data Well Log Di Lapangan “FR”,Cekungan Asri. *Padjajaran Geoscience Journal*, 5(1), 24–33. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Hakim, A. R., Hairunisa, H., & Nurjumiyati, N. (2017). Studi Akumulasi Rembesan Air Lindi Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Mapping. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 3(2), 239–248. <https://doi.org/10.29303/jpft.v3i2.419>
- Hakim, A. R., Susilo, A., & Maryanto, S. (2014). Spread Indication of Underwater Surface Contaminants Using Magnetic Method (Case Study: TPA Supit Urang, Malang). *Natural-B*, 3(3), 281–289. <https://doi.org/10.21776/ub.natural-b.2014.002.03.13>
- Halik, G., & Widodo, J. (2008). Pendugaan Potensi Air Tanah Dengan Metode Geolistrik. *Media Teknik Sipil*, 113(2), 109–114.
- Hardyanti, N., & Huboyo, H. S. (2009). Evaluasi Instalasi Pengolahan Lindi Tempat Pembuangan Akhir Putri Cempo Kota Surakarta. *Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 6(1), 52–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/presipitasi.v6i1.52-56>
- Harist, A., Wawan, & Wardati. (2017). The Soil Physical Properties and The Growht of Rubber Trees (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) on Several Ground Cover Condition by *Mucuna Bracteata*. *JOM Faperta UR*, 4(2), 1–14.
- Jakarius, Muliadi, & Zulfian. (2021). Studi Sifat Fisika Pada Tanah Gambut di TPA Batu Layang Berdasarkan Tingkat Kematangan Tanah Gambut. *Prisma Fisika*, 9(2), 166–171.
- Khatulistiwa, M. R., Jati, D. R., & Fitria, L. (2016). Inventarisasi Emisi Ch4 Di Tpa Batu Layang Kota Pontianak Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 4(1), 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v4i1.13572>
- Kristanto, W. A. D., Astuti, F. A., Nugroho, N. E., & Febriyant, S. V. (2020). Sebaran Daerah Sulit Airtanah Berdasarkan Kondisi Geologi Daerah Perbukitan Kecamatan Prambanan, Sleman, Yogyakarta. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 12(1), 68–83. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol12.iss1.art6>
- Lumaela, A. ., Otok, B. ., & Sutikno. (2013). Pemodelan Chemical Oxygen Demand (COD) Sungai Di Surabaya Dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 2(1), 100–105.
- Mahardika, A., D.Z., M., & A.L, A. (2010). Mendeteksi Dampak Polutan Sampah Terhadap Air Tanah Pemukiman di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dengan Menggunakan Metode Geolistrik.
- Maysarah, S., Nugroho, Y., & Susilawati, S. (2021). Analisis Sifat Fisika Tanah Pada Lahan Gambut Di Kecamatan Liang Anggang Kota Banjarbaru Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scientae*, 4(1), 166. <https://doi.org/10.20527/jss.v4i1.3104>
- Mendoza, M. B., Ngilangil, L. E., & Vilar, D. A. (2017). Groundwater & leachate quality assessment in balaon sanitary landfill in La Union, Northern Philippines. *Chemical Engineering Transactions*, 56(2010), 247–252.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.3303/CET1756042>
- Muhardi, Muliadi, & Zulfian. (2020). Model 3D Sebaran Lindi pada Lapisan Tanah di Area TPA Batulayang Pontianak Berdasarkan Nilai Resistivitas. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 17(2), 73–79. <https://doi.org/10.20527/flux.v17i2.7713>
- Muliadi, Zulfian, & Muhardi. (2019). Identifikasi Ketebalan Tanah Gambut Berdasarkan Nilai Resistivitas 3D: Studi Kasus Daerah Tempat Pembuangan Akhir Batu Layang Kota Pontianak. *POSITRON*, 9(2), 86–94. <https://doi.org/10.26418/positron.v9i2.34821>
- Mulyono, A., Rusydi, A. F., & Lestiana, H. (2019). Permeabilitas Tanah Berbagai Tipe Penggunaan Lahan Di Tanah Aluvial Pesisir Das Cimanuk, Indramayu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 1. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.1-6>
- Prastio, E. (2021). *Petrofisika* (P. Eko & A. Abdullah Rizky (eds.); Pertama). Ubhara Jaya Press.
- Pratiwi, D. P., Susanti, N., & Dewi, I. K. (2018). Penerapan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner Mapping Untuk Mengetahui Rembesan Air Lindi Di TPA Talang Gulo Jambi. *JoP*, 4(1), 18–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.22437/jop.v4i1.5494>
- Prihatiningsih, B. (2010). Studi Kasus Tebaran Air Lindi Sampah Di TPA Supit Urang Kota Malang. *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik Dan Rekayasa*, 7(031), 46–49. https://www.kopertis7.go.id/jurnal_lengkap-Saintek-7-2-01-12-2010
- Purnama, S., Suyono, S., & Sulaswono, B. (2007). Sistem Akuifer dan Potensi Air Tanah Daerah Aliran Sungai (DAS) Opak. *Forum Geografi*, 21(2), 111–122. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v21i2.2356>
- Purwanta, W. (2007). Tinjauan Teknologi Pengolahan Leachate Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Perkotaan. *Jurnal Air Indonesia*, 3(1), 57–63. <https://doi.org/10.29122/jai.v3i1.2318>
- Purwanti, H. (2014). Kajian Dampak Saluran Lindi Terhadap Lingkungan Ditinjau Dari Aspek Pengoperasian TPA Galuga. *Jurnal Teknologi*, 1(25), 57–69. <https://docplayer.info/70916210-Kajian-dampak-saluran-lindi-terhadap-lingkungan-ditinjau-dari-aspek-pengoperasian-tpa-galuga.html>
- Putra, I., M. I. M. S., & Ardana, I. (2012). Identifikasi Arah Rembesan dan Letak Akumulasi Lindi Dengan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner - Schlumberger Di TPA Temesi Kabupaten Gianyar. *Ecotrophic: Journal of Environmental Science*, 7(1), 65–71.
- Putranto, T. T., Ali, R. K., & Putro, B. (2019). Studi Kerentanan Air Tanah Terhadap Pencemaran dengan Menggunakan Metode Drastic Pada Cekungan Air Tanah (CAT). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 158–171. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.158-171>
- Putranto, T. T., & Kusuma, K. I. (2016). Permasalahan Air Tanah Pada Daerah Urban. *TEKNIK*, 30(1), 48–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/teknik.v30i1.1824>
- Qadriyah, L., Moelyaningrum, A. D., & Ningrum, P. T. (2019). Kadar Kadmium Pada Air Sumur Gali Disekitar Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (Studi Di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah X Kabupaten Jember, Indonesia). *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 6(1), 41–49. <https://doi.org/10.31289/biolink.v6i1.2400>
- Rahayu, Y., Juwana, I., & Marganingrum, D. (2018). Kajian Perhitungan Beban Pencemaran Air Sungai Di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung dari Sektor Domestik. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 2(1), 61–71. <https://doi.org/10.26760/jrh.v2i1.2043>
- Rochmawati, & Yunisura, P. (2017). Analysis Of The Environmental Quality And Health Status Of Communities Around The Landfills Batu Layang Of Pontianak City. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Khatulistiwa*, 4(4), 252–263. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.29406/jkkm.v4i3.901>
- Sampurno, J., Muid, A., Zulfian, & Latief, F. D. E. (2018). Characterization The Geometry Of The Peat Soil Of Pontianak Using Fractal Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1040(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1040/1/012044>
- Santoso, A. D. (2018). Keragaan Nilai DO, BOD dan COD Di Danau Bekas Tambang Batu Bara Studi Kasus Pada Danau Sangatta North PT. KPC di Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 89–96. <https://doi.org/10.29122/jtl.v19i1.2511>
- Situmorang, R., & Panjaitan, V. (2017). Analisis Intrusi Air Laut Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas 2d Dipole Dipole Di Desa Bagan Deli Kecamatan Medan Belawan. *Einstein E-Journal*, 4(2), 32–41. <https://doi.org/10.24114/einstein.v4i2.5466>
- T, P. T., H, H., & DPE, P. (2008). Pemodelan Pergerakan Kontaminan Dalam Air Tanah Di TPA Jatibarang Kota Semarang. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Iagi Ke-37 Hotel Horison Bandung, Agustus 2008, March 1992*, 450–466. https://www.iagi.or.id/web/system/koleksi.php?what=detail_koleksi&kd_jns_buku=PRO&kd_buku=14
- Tamuntuan, G. H., As'ari, & Datunsolang, F. (2015). Investigasi Rembesan Limbah Cair Menggunakan Metode Geolistrik: Studi Kasus TPA Sumompo, Manado. *Prosiding Seminar Nasional Fisika, IV*, 83–86. <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/prosidingsnf/article/view/5252>
- Telford, W., Geldart, P., Sheriff, E., & Keys, A. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Thomas, R. A., & Santoso, D. H. (2019). Potensi Pencemaran Air Lindi Terhadap Air Tanah dan Teknik Pengolahan Air Lindi Di TPA Banyuroto Kabupaten Kulon Progo. *Science Tech: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 5(2), 1–12. <https://doi.org/10.30738/jst.v5i2.5354>

- Wahyudi, R., Damanhuri, E., & Widyarsana, I. M. W. (2017). Kajian Evaluasi Dan Arahan Zonasi Tpa Batu Layang Kota Pontianak Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 23(2), 83–93. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2017.23.2.9>
- Wahyuning, I., & Muryani, E. (2018). Kajian Kualitas Air Lindi Terhadap Kualitas Air Tanah di Sekitar TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Sampah Jetis, Desa Pakem, Kecamatan Gebang, Purworejo, Jawa Tengah. *Jurnal Tanah Dan Air (Soil and Water Journal)*, 15(Juni), 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.31315/jta.v15i1.2721>
- Wibowo, H. (2010). Laju Infiltrasi pada Lahan Gambut yang Dipengaruhi Air Tanah (Study Kasus Sei Raya Dalam Kecamatan Sei Raya Kabupaten Kubu Raya). *Jurnal Belian*, 9(1), 90–103. <http://repository.polnep.ac.id/xmlui/handle/123456789/146>
- Widyasari, N., Moelyaningrum, A. D., & Pujiati, R. S. (2013). Analisis Potensi Pencemaran Timbal (Pb) Pada Tanah, Air Lindi Dan Air Tanah (Sumur Monitoring) Di TPA Pakusari Kabupaten Jember [Jember]. In *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa 2013*. <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/59247>
- Yogi, ade. (2018). Estimasi Permeabilitas Dengan Beberapa Metode Karakterisasi Reservoir Untuk Formasi Talangakar. *Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi*, 52(1), 25–48. <https://doi.org/10.29017/LPMGB.52.1.91>
- Yulfiyah. (2019). Agihan Kualitas Air Tanah Dan Keterkaitannya Dengan Kesehatan Masyarakat Di Kecamatan Gandusari, Kabupaten Blitar. *Jurnal Envirotek*, 11(1), 66–72.
- Yuliani, A., Dewanto, O., Karyanto, K., & Yogi, A. (2020). Prediksi Permeabilitas Menggunakan Metode Log Dan Pore Geometry Structure (PGS) Pada Daerah Cekungan Jawa Barat Utara. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 6(1), 3–17. <https://doi.org/10.23960/jge.v6i1.57>
- Zhou, Y., & Li, W. (2011). A review of regional groundwater flow modeling. *Geoscience Frontiers*, 2(2), 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.03.003>