

ANALISIS SEBARAN AIR LINDI MENGGUNAKAN GEOLISTRIK RESISTIVITAS WENNER-SCHLUMBERGER di TPA TALUMELITO

Firman A. Buya, Dewa Gede Eka Setiawan*, Muh. Fachrul Latief, Raghel Yunginger dan Icha Untari Meidji

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Jl. Prof. Dr. Ing. B.J. Habibie, Kec. Tilongkabila, Kab. Bone Bolango, Gorontalo 96554, Indonesia.

Email: firmancentauri@gmail.com, muh.fachrul@ung.ac.id, raghel@ung.ac.id, ichauntarimeidji10@ung.ac.id

Email Korespondensi: dewaeka@ung.ac.id*

Abstrak

TPA Regional Talumelito merupakan fasilitas pengelolaan sampah yang menerima timbunan sampah dalam jumlah besar dan berpotensi menghasilkan air lindi yang dapat meresap ke bawah permukaan. Identifikasi zona rembesan air lindi diperlukan untuk mengetahui pola penyebaran dan arah migrasinya di sekitar TPA. Penelitian ini bertujuan menganalisis distribusi nilai resistivitas bawah permukaan untuk mengidentifikasi keberadaan, sebaran, dan arah rembesan air lindi di sekitar TPA Talumelito, Gorontalo. Penelitian menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner-Schlumberger pada dua lintasan pengukuran, yaitu Lintasan 1 dan Lintasan 2, dengan panjang masing-masing 100 m dan jarak antar-elektroda 5 m. Data hasil pengukuran diolah menggunakan Microsoft Excel dan perangkat lunak Res2DInv untuk menghasilkan penampang resistivitas dua dimensi. Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi nilai resistivitas bawah permukaan pada kedua lintasan. Pada Lintasan 1 ditemukan zona resistivitas rendah sebesar 24,5–94,1 Ωm yang diduga berkaitan dengan rembesan air lindi, terutama pada bagian dekat area kolam lindi, dengan nilai RMS Error sebesar 25,2%. Pada Lintasan 2 ditemukan anomali resistivitas rendah pada beberapa bagian lintasan yang berada di antara Cell 3 dan Cell 4, dengan nilai RMS Error sebesar 15,8%. Hasil tersebut menunjukkan adanya indikasi rembesan air lindi yang dipengaruhi oleh kondisi bawah permukaan dan jalur aliran air.

Kata kunci: air lindi; geolistrik resistivitas; Wenner-Schlumberger; TPA Talumelito; rembesan

Abstract

The Talumelito Regional Landfill is a waste management facility that receives large amounts of waste and has the potential to generate leachate that can infiltrate the subsurface. Identifying leachate seepage zones is necessary to determine their distribution patterns and migration directions around the landfill. This study aimed to analyze the distribution of subsurface resistivity values to identify the occurrence, distribution, and direction of leachate seepage around the Talumelito Landfill, Gorontalo. The study employed the geoelectrical resistivity method using the Wenner-Schlumberger configuration along two survey lines, namely Line 1 and Line 2, each 100 m long, with an electrode spacing of 5 m. The measurement data were processed using Microsoft Excel and Res2DInv software to produce two-dimensional subsurface resistivity sections. The results showed variations in subsurface resistivity values along both survey lines. Line 1 revealed a low-resistivity zone ranging from 24.5 to 94.1 Ωm , which was suspected to be associated with leachate seepage, particularly near the leachate pond area, with a root mean square (RMS) error of 25.2%. Line 2 showed low-resistivity anomalies at several locations between Cell 3 and Cell 4, with an RMS error of 15.8%. These findings indicate potential leachate seepage influenced by subsurface conditions and water-flow pathways.

Keywords: leachate; geoelectrical resistivity; Wenner-Schlumberger; Talumelito Landfill; seepage

Pendahuluan

Pengelolaan sampah merupakan salah satu persoalan lingkungan yang semakin penting seiring dengan meningkatnya aktivitas dan kebutuhan masyarakat. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) memiliki fungsi

penting dalam sistem pengelolaan sampah karena menjadi lokasi akhir penimbunan sampah sebelum dilakukan pengelolaan lebih lanjut. Kondisi ini sejalan dengan data Kementerian Lingkungan Hidup yang

menunjukkan bahwa timbunan sampah nasional masih tinggi dan sebagian besar memerlukan penanganan melalui fasilitas pengelolaan sampah yang memadai [1]. Salah satu fasilitas pengelolaan sampah regional di Provinsi Gorontalo adalah TPA Regional Talumelito yang terletak di Desa Talumelito, Kecamatan Telaga Biru, Kabupaten Gorontalo. TPA tersebut melayani Kota Gorontalo serta sebagian wilayah Kabupaten Gorontalo dan Bone Bolango, sebagaimana tercantum dalam *Roadmap* Sanitasi Provinsi Gorontalo 2025–2029 [2,3]. Keberadaan TPA Talumelito menjadi penting dalam mendukung sistem pengelolaan sampah regional, tetapi aktivitas penimbunan sampah yang berlangsung secara terus-menerus juga dapat menimbulkan permasalahan lingkungan, terutama yang berkaitan dengan pembentukan dan migrasi air lindi [4].

Pengelolaan sampah pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) tidak hanya berkaitan dengan penimbunan sampah, tetapi juga dengan potensi terbentuknya air lindi sebagai hasil interaksi antara sampah, air, dan proses penguraian material organik. Air lindi memiliki karakteristik yang kompleks karena dapat mengandung berbagai senyawa organik, anorganik, nutrien, serta logam berat yang berasal dari proses pelindian material sampah [5]. Air lindi dapat bergerak melalui material bawah permukaan akibat proses infiltrasi dan aliran air, kemudian mencapai zona jenuh atau air tanah. Pergerakan tersebut dipengaruhi oleh kondisi hidrologi, karakteristik material, kelembapan, komposisi sampah, serta kondisi hidrogeologi di sekitar TPA. Apabila migrasinya tidak terkendali, lindi berpotensi membawa berbagai kontaminan ke dalam tanah dan air tanah sehingga dapat menurunkan kualitas lingkungan di sekitar lokasi TPA [6]. Penelitian mengenai *landfill* menunjukkan bahwa lindi merupakan salah satu sumber utama pencemaran pada lingkungan sekitar tempat pembuangan sampah dan dapat tetap memberikan dampak setelah periode penimbunan berlangsung cukup lama [7].

Kondisi bawah permukaan di wilayah Talumelito memiliki karakteristik yang perlu diperhatikan dalam kaitannya dengan potensi pergerakan fluida. Pada tahun 2022, Badaun melalui kajian geolistrik di Desa Talumelito mengidentifikasi keberadaan beberapa jenis lapisan bawah permukaan, termasuk lapisan batupasir pada beberapa titik. Lapisan batupasir

tersebut memiliki permeabilitas yang relatif baik sehingga secara hidrogeologi dapat menjadi media yang memungkinkan pergerakan cairan ke bawah permukaan. Kondisi ini menunjukkan bahwa karakteristik litologi merupakan salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam kajian potensi rembesan lindi di wilayah TPA Talumelito [8].

Keberadaan lindi di bawah permukaan sulit diketahui hanya berdasarkan pengamatan visual karena proses infiltrasi dan migrasinya dapat berlangsung pada kedalaman tertentu. Pergerakan lindi dapat dipengaruhi oleh kondisi hidrogeologi dan karakteristik material bawah permukaan, termasuk permeabilitas serta kondisi geologi setempat. Penelitian menunjukkan bahwa lindi dapat mengalami penyebaran secara lateral maupun vertikal melalui material bawah permukaan, sehingga keberadaannya tidak selalu dapat dikenali dari kondisi permukaan [9]. Oleh sebab itu, diperlukan metode yang mampu memberikan informasi mengenai kondisi bawah permukaan secara tidak langsung. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan adalah metode geolistrik resistivitas, yang memanfaatkan perbedaan sifat kelistrikan material bawah permukaan untuk menggambarkan distribusi kondisi bawah permukaan secara lateral dan vertikal. Metode *Electrical Resistivity Imaging (ERI)* atau *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* telah digunakan untuk mengidentifikasi zona lindi berdasarkan anomali resistivitas rendah yang berkaitan dengan keberadaan material atau fluida yang memiliki kandungan ion terlarut tinggi [10].

Metode geolistrik resistivitas banyak digunakan dalam kajian lingkungan karena keberadaan fluida dengan kandungan ion terlarut yang tinggi dapat meningkatkan konduktivitas listrik material bawah permukaan. Dalam konteks *landfill*, keberadaan lindi dapat menghasilkan zona dengan resistivitas relatif rendah dibandingkan material di sekitarnya. Hasil penelitian Zaini, (2022) menunjukkan bahwa keberadaan lindi pada area *landfill* dapat diidentifikasi melalui anomali resistivitas rendah, dengan nilai resistivitas sekitar 1–10 Ωm pada kedalaman 1,5–4,0 m [10]. Penelitian Li, (2024) juga menunjukkan bahwa metode *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* dapat digunakan untuk memetakan keberadaan lindi pada *landfill*, termasuk menggambarkan distribusi zona konduktif pada struktur bawah permukaan

yang berkaitan dengan lindi [11]. Dengan demikian, anomali resistivitas rendah dapat menjadi salah satu indikator dalam mengidentifikasi zona yang diduga berkaitan dengan keberadaan dan migrasi lindi, baik secara vertikal maupun lateral. Namun, interpretasi tersebut tetap perlu mempertimbangkan faktor lain seperti kandungan lempung, air tanah, kelembapan, dan variasi litologi karena faktor-faktor tersebut juga dapat menghasilkan nilai resistivitas rendah [10].

Penerapan metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) dalam kajian pencemaran *landfill* juga ditunjukkan oleh Kevin et al. [12], yang mengidentifikasi pola migrasi lindi berdasarkan distribusi resistivitas bawah permukaan serta mempertimbangkan kondisi litologi dan hidrogeologi setempat. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode geolistrik dapat digunakan untuk memperkirakan sebaran pencemaran bawah permukaan dan arah migrasinya. Oleh karena itu, metode geolistrik resistivitas dapat diterapkan untuk mengidentifikasi zona yang diduga berkaitan dengan rembesan air lindi di TPA Talumelito. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sebaran zona resistivitas yang diduga berkaitan dengan rembesan air lindi serta menganalisis arah migrasinya di sekitar TPA Talumelito menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi *Wenner-Schlumberger*.

Metode Penelitian

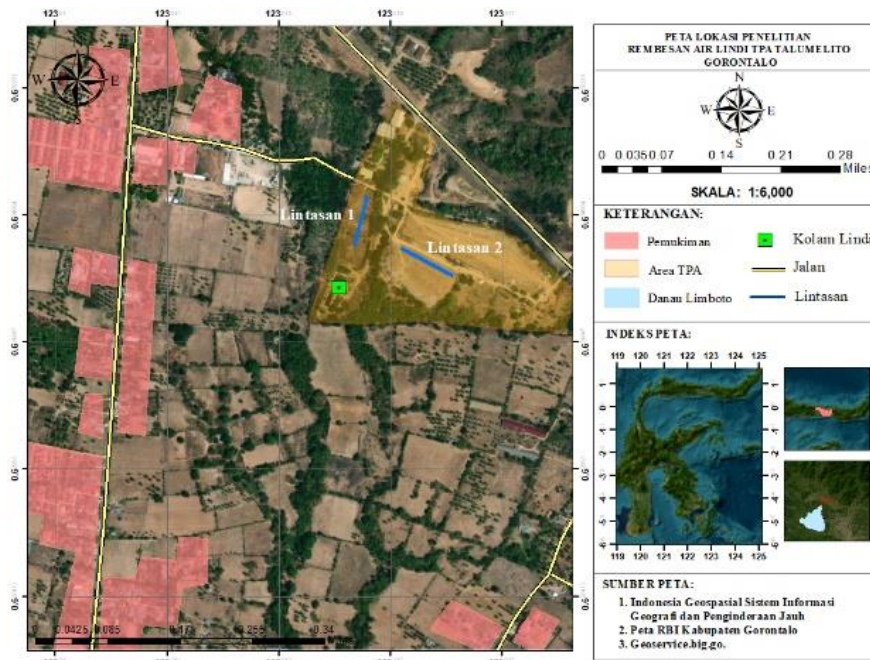
Penelitian ini dilaksanakan di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Talumelito, Kecamatan Telaga Biru, Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo, yang secara geografis berada pada koordinat $0,634678^{\circ}$ LU dan $123,014984^{\circ}$ BT. Metode akuisisi data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode geolistrik resistivitas dengan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Pengukuran dilakukan pada 2 lintasan yang berada di sekitar area TPA Regional Talumelito, dengan lokasi masing-masing lintasan ditunjukkan pada Gambar 1. Pengolahan data geolistrik resistivitas dilakukan menggunakan perangkat lunak RES2DINV dengan metode inversi *non-linear least-squares* berdasarkan data resistivitas semu (*apparent resistivity*). Pada pengaturan *model refinement*, lebar sel model ditetapkan sebesar 2,5 m, yaitu setengah dari spasi elektroda sebesar 5 m. Pemodelan maju

(*forward modeling*) menggunakan empat *node* pada *horizontal mesh* di antara elektroda yang berdekatan dan *vertical mesh* dengan opsi *finer mesh* untuk mengakomodasi kontras resistivitas hingga 500:1. Metode *finite-difference* dipilih karena kondisi topografi di lokasi pengukuran relatif datar. Pada pengaturan *smoothness-constrained least-squares*, batasan kehalusan diterapkan pada nilai resistivitas model untuk menghasilkan distribusi resistivitas yang lebih halus, tanpa menambahkan batasan *damped least-squares*. Selain itu, penyuntingan data dilakukan menggunakan fitur *Exterminate Bad Data Points* untuk mengidentifikasi dan menghapus titik data yang menyimpang. Hasil inversi selanjutnya dievaluasi berdasarkan nilai *Root Mean Square* (RMS) error akhir pada setiap lintasan. Akuisisi data resistivitas bertujuan untuk mengidentifikasi variasi nilai resistivitas bawah permukaan serta mengetahui indikasi keberadaan dan sebaran zona yang diduga terpengaruh oleh rembesan air lindi di sekitar TPA Talumelito. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dipilih karena memiliki sensitivitas terhadap variasi resistivitas bawah permukaan secara vertikal dan lateral, sehingga sesuai untuk mengkaji perubahan sifat kelistrikan material bawah permukaan. Pertimbangan ini relevan dengan tujuan penelitian, yaitu mengidentifikasi sebaran zona resistivitas rendah yang diduga berkaitan dengan rembesan air lindi serta menafsirkan kemungkinan arah migrasinya di sekitar TPA Talumelito. Penggunaan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dalam survei resistivitas dua dimensi juga didukung oleh penelitian yang menunjukkan kemampuannya dalam menggambarkan variasi resistivitas dan struktur bawah permukaan [13,14].

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan meliputi *resistivitymeter Type T.001 Model G.302*, elektroda, kabel penghubung, meteran, aki 40 volt, *Handy Talkie* (HT), dan palu. Data hasil pengukuran diolah menggunakan *Microsoft Excel* dan *Res2DInv* untuk memperoleh penampang resistivitas bawah permukaan.

Penelitian ini menerapkan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dengan jarak antar elektroda sebesar 5 meter dan panjang bentangan 100 meter pada setiap lintasan pengukuran. Lintasan pengukuran ditandai dengan garis biru.



Gambar 1. Peta Pengukuran Geolistrik di TPA Talumelito

Metode geolistrik 2D dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah melalui dua elektroda arus, kemudian mengukur beda potensial yang dihasilkan untuk memperoleh nilai resistivitas material bawah permukaan [15].

Metode geolistrik resistivitas pada prinsipnya menggunakan dasar hukum Ohm yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$R = V/I \quad (1)$$

Dengan R merupakan hambatan (ohm), ΔV merupakan perbedaan potensial (volt), dan I merupakan kuat arus listrik (ampere).

Nilai resistivitas yang diperoleh dari hasil pengukuran geolistrik bukan merupakan nilai resistivitas sebenarnya, melainkan nilai resistivitas semu (*apparent resistivity*) yang dipengaruhi oleh kondisi dan susunan material bawah permukaan.

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

dengan

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)^{-1} \quad (3)$$

Dengan ρ merupakan resistivitas batuan (Ωm); K merupakan faktor geometri; ΔV merupakan beda potensial (Volt); I merupakan kuat arus (Ampere); dan r merupakan jarak antar elektroda (m).

Faktor geometri (K) pada konfigurasi *Wenner-Schlumberger* diperoleh dengan

mensubstitusikan jarak antar elektroda ke dalam Persamaan (2) dan dapat dinyatakan sebagai:

$$K = \pi n(n+1)a \quad (4)$$

Dengan (K) merupakan faktor geometri konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (m), (n) merupakan faktor pengali yang menunjukkan perbandingan jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial, dan (a) merupakan jarak antar elektroda potensial P1 dan P2 (m).

Hasil akuisisi data geolistrik berupa nilai arus listrik, beda potensial, dan resistivitas semu yang kemudian disimpan dalam format *.txt*. Data tersebut selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak *Res2DInv* untuk menghasilkan model penampang 2D distribusi resistivitas bawah permukaan. Penampang resistivitas yang diperoleh digunakan sebagai dasar dalam menginterpretasikan kondisi bawah permukaan, khususnya untuk mengidentifikasi zona dengan nilai resistivitas rendah yang diduga berkaitan dengan keberadaan dan jalur rembesan air lindi di sekitar TPA Talumelito.

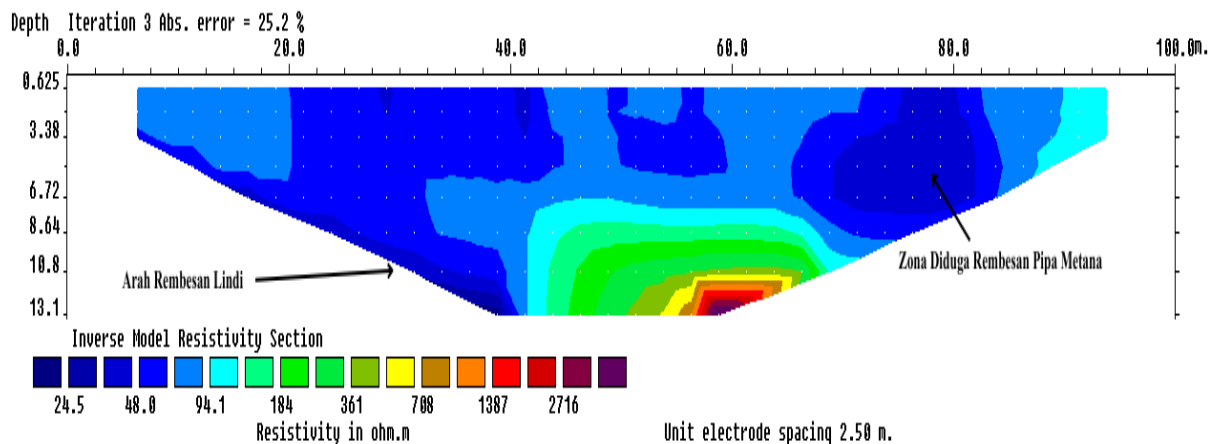
Hasil dan Pembahasan

Lintasan 1

Lintasan 1 memiliki panjang bentangan 100 m dengan jarak antar-elektroda 5 m. Titik 0 m berada di bagian selatan dan mengarah ke kolam atau tempat penampungan air lindi, sedangkan titik 100 m berada di arah utara. Lintasan ini berada pada area TPA lama yang

telah mengalami proses penimbunan dan pemadatan. Hasil inversi menggunakan perangkat lunak *Res2DInv* menghasilkan penampang resistivitas 2D dengan nilai *RMS*

Error sebesar 25,2%. Rentang nilai resistivitas yang diperoleh berada pada kisaran 24,5–2.716 Ωm dengan kedalaman investigasi sekitar 13,1 m.



Gambar 2. Penampang Resistivitas 2D Lintasan 1

Hasil inversi data geolistrik pada Lintasan 1 menunjukkan adanya zona dengan nilai resistivitas rendah yang tersebar pada bagian tertentu dari penampang bawah permukaan. Lintasan ini memiliki panjang 100 m, dengan posisi awal lintasan (0 m) berada di bagian selatan yang mengarah ke kolam penampungan lindi, sedangkan posisi 100 m berada di bagian utara. Pengukuran dilakukan pada area timbunan lama yang telah diisi, diratakan, dan dipadatkan. Berdasarkan hasil inversi menggunakan perangkat lunak *Res2DInv*, nilai resistivitas bawah permukaan pada lintasan ini berkisar antara 24,5–2.716 Ωm dengan kedalaman investigasi mencapai sekitar 13,1 m. Nilai *RMS Error* hasil inversi sebesar 25,2%.

Dalam penelitian ini, perhatian utama diberikan pada zona dengan resistivitas rendah, yaitu sekitar 24,5–94,1 Ωm . Zona tersebut terutama terlihat pada bagian awal lintasan, yaitu sekitar 0–40 m, dan tersebar hingga kedalaman sekitar 6–13 m. Keberadaan zona resistivitas rendah menunjukkan adanya material atau fluida yang memiliki kemampuan menghantarkan arus listrik lebih tinggi dibandingkan lingkungan di sekitarnya. Kondisi tersebut dapat berkaitan dengan meningkatnya kandungan fluida dalam pori-pori material bawah permukaan. Dengan demikian, zona resistivitas rendah pada posisi 0–40 m di Lintasan 1 mengindikasikan potensi keberadaan fluida konduktif yang diduga berkaitan dengan rembesan lindi.

Pada Lintasan 1 ditemukan anomali resistivitas rendah pada posisi sekitar 75–85 m dengan kedalaman berkisar 3–8 m. Berdasarkan pengamatan kondisi lapangan, pada sekitar posisi 80 m terdapat instalasi pipa metana. Kesesuaian antara lokasi anomali dengan keberadaan instalasi tersebut menjadi pertimbangan dalam interpretasi penampang resistivitas, sehingga zona tersebut diduga berkaitan dengan adanya rembesan fluida di sekitar pipa metana. Anomali resistivitas rendah pada posisi 75–85 m tersebut mengindikasikan potensi keberadaan fluida konduktif di sekitar instalasi pipa metana, meskipun jenis dan sumber fluida tersebut belum dapat dipastikan hanya berdasarkan data resistivitas.

Zona resistivitas rendah pada bagian selatan Lintasan 1 menjadi indikasi penting dalam identifikasi dugaan rembesan lindi. Posisi zona tersebut berada pada arah yang menuju kolam penampungan lindi, sehingga secara kondisi lapangan memungkinkan adanya hubungan dengan pergerakan atau akumulasi fluida dari area timbunan menuju bagian penampungan. Dengan demikian, zona resistivitas rendah pada sekitar 0–40 m hingga kedalaman 6–13 m diinterpretasikan sebagai zona yang diduga terpengaruh oleh rembesan lindi. Pola anomali tersebut menunjukkan potensi keberadaan fluida pada bawah permukaan yang arah penyebarannya diduga berkaitan dengan area penampungan lindi,

tetapi hubungan tersebut masih memerlukan verifikasi melalui pengujian sampel fluida.

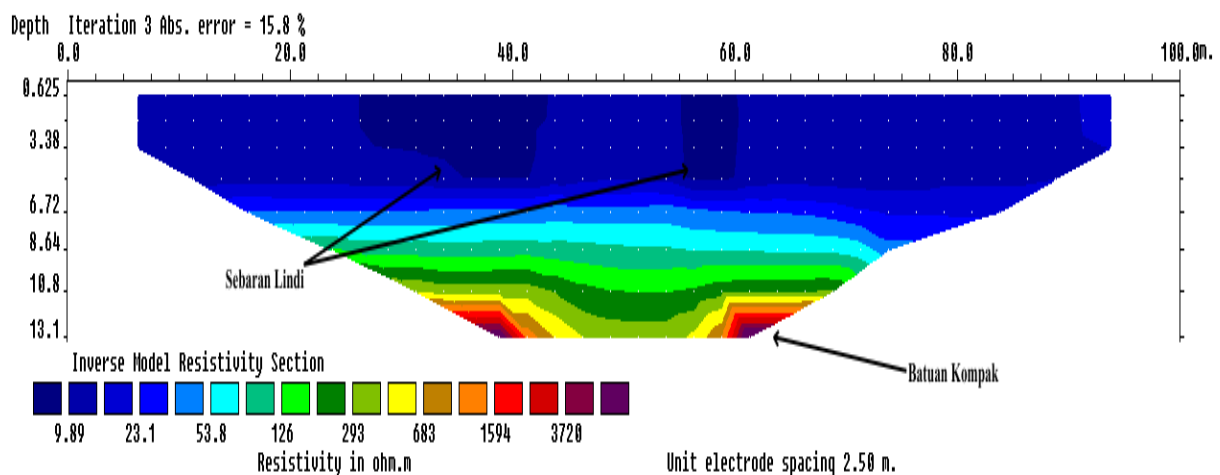
Pada Lintasan 1, pengukuran dilakukan di area Sel 1, yang merupakan lokasi penampungan sampah lama dan telah ditimbun. Di sebelah selatan lintasan terdapat kolam penampungan air lindi yang diduga menjadi arah migrasi rembesan air lindi dari area tersebut. Berdasarkan hasil inversi, zona resistivitas rendah sebesar 24,5–94,1 Ωm pada jarak sekitar 0–30 m dan kedalaman 6–13,1 m diinterpretasikan sebagai zona yang berpotensi berkaitan dengan rembesan air lindi. Mengingat kondisi topografi saat pengukuran relatif datar, arah migrasi tersebut diinterpretasikan berdasarkan posisi zona anomali resistivitas rendah terhadap kolam penampungan air lindi di sebelah selatan, bukan berdasarkan kemiringan topografi.

Interpretasi tersebut didasarkan pada kesesuaian antara anomali resistivitas rendah

dengan kondisi lokasi penelitian, khususnya keberadaan timbunan sampah dan kedekatannya dengan kolam penampungan lindi. Oleh karena itu, zona tersebut disebut sebagai dugaan rembesan.

Lintasan 2

Lintasan 2 memiliki panjang bentangan 100 m dengan jarak antar-elektroda 5 m. Lintasan ini berada di antara Sel 3 yang terletak di sebelah selatan dan sudah tidak beroperasi dengan Sel 4 di sebelah utara yang masih beroperasi. Kondisi tersebut menyebabkan lintasan berada pada area yang dipengaruhi oleh material timbunan lama sekaligus aktivitas penimbunan yang masih berlangsung. Hasil inversi menggunakan *Res2DInv* menghasilkan nilai *RMS Error* sebesar 15,8%, dengan rentang nilai resistivitas 9,89–3.720 Ωm dan kedalaman investigasi sekitar 13,1 m.



Gambar 3. Penampang Resistivitas 2D Lintasan 2

Penampang resistivitas 2D Lintasan 2 menunjukkan adanya zona resistivitas rendah yang menjadi indikasi keberadaan fluida pada bawah permukaan. Lintasan ini memiliki panjang 100 m dengan kedalaman investigasi sekitar 13,1 m. Hasil inversi menggunakan *Res2DInv* menghasilkan *error* sebesar 15,8%, dengan rentang nilai resistivitas bawah permukaan sekitar 9,89–3.720 Ωm .

Berdasarkan pola warna pada penampang, zona resistivitas rendah terutama ditunjukkan oleh warna biru tua hingga biru muda. Dalam penelitian ini, interpretasi difokuskan pada anomali yang ditunjukkan

sebagai sebaran lindi, yaitu pada posisi sekitar 30–40 m dan 55–60 m. Kedua zona tersebut menunjukkan respons resistivitas rendah yang berkembang pada bagian bawah permukaan dan menjadi indikasi adanya fluida yang mengisi ruang pori material. Anomali resistivitas rendah pada posisi 30–40 m mengindikasikan potensi keberadaan fluida konduktif pada kedalaman dangkal hingga menengah, yang diduga berkaitan dengan sebaran lindi di bawah permukaan.

Sementara itu, anomali pada posisi sekitar 55–60 m memperlihatkan zona resistivitas rendah yang juga berkembang pada

bagian atas penampang. Keberadaan anomali tersebut mengindikasikan potensi sebaran fluida konduktif pada lokasi yang berbeda dalam lintasan yang sama, sehingga diduga mencerminkan distribusi rembesan lindi yang tidak seragam di bawah permukaan. Meskipun demikian, interpretasi ini masih bersifat dugaan geofisika karena nilai resistivitas rendah juga dapat dipengaruhi oleh kadar air, porositas, dan sifat material penyusun bawah permukaan.

Lintasan 2 berada di antara Sel 3 yang sudah tidak aktif dan Sel 4 yang masih aktif. Kondisi tersebut memungkinkan adanya pengaruh dari material timbunan lama maupun aktivitas penimbunan yang masih berlangsung. Keberadaan sampah yang mengalami proses dekomposisi dapat menghasilkan lindi yang selanjutnya berpotensi meresap ke dalam material bawah permukaan.

Rembesan fluida ke dalam pori-pori material dapat meningkatkan konduktivitas listrik sehingga menghasilkan respons resistivitas yang rendah. Oleh karena itu, anomali resistivitas rendah pada posisi sekitar 30–40 m dan 55–60 m diinterpretasikan sebagai dua zona yang diduga berkaitan dengan jalur atau akumulasi rembesan lindi.

Pola anomali yang muncul pada kedua lokasi tersebut menunjukkan bahwa dugaan sebaran lindi pada Lintasan 2 tidak berlangsung secara seragam, tetapi cenderung mengikuti bagian tertentu dari kondisi bawah permukaan. Hal ini mengindikasikan bahwa pergerakan lindi kemungkinan dipengaruhi oleh karakteristik material dan kondisi ruang pori bawah permukaan.

Distribusi nilai resistivitas bawah permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh keberadaan fluida, tetapi juga oleh karakteristik material penyusunnya. Sangprasat et al. [16] menjelaskan bahwa nilai resistivitas tanah berkaitan dengan beberapa sifat tanah, seperti kadar air, kandungan lempung, dan kepadatan. Selain itu, Fu et al. [17] membahas hubungan konduktivitas listrik tanah dengan kadar air, porositas, salinitas, dan tekstur tanah. Dalam penelitian ini, kondisi kelembapan tanah saat pengukuran perlu dipertimbangkan dalam menginterpretasikan anomali resistivitas pada Lintasan 1 dan Lintasan 2. Oleh karena itu, zona resistivitas rendah tidak dapat langsung dipastikan sebagai rembesan air lindi, tetapi perlu diinterpretasikan dengan mempertimbangkan kondisi kelembapan dan karakteristik litologi bawah permukaan.

Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian metode geolistrik konfigurasi *Wenner–Schlumberger* pada Lintasan 1 dan Lintasan 2 di TPA Regional Talumelito, dapat disimpulkan bahwa zona resistivitas rendah dapat digunakan sebagai indikasi awal keberadaan rembesan air lindi di bawah permukaan. Pada Lintasan 1, zona resistivitas rendah sekitar 24,5–94,1 Ωm teridentifikasi terutama pada posisi 0–40 m hingga kedalaman sekitar 6–13,1 m dan diduga berkaitan dengan rembesan lindi menuju arah kolam penampungan, sedangkan anomali pada sekitar 75–85 m diinterpretasikan sebagai zona yang diduga berkaitan dengan rembesan di sekitar pipa metana. Pada Lintasan 2, zona resistivitas rendah teridentifikasi pada posisi sekitar 30–40 m dan 55–60 m, yang diduga merupakan jalur atau akumulasi rembesan lindi pada area antara Sel 3 dan Sel 4. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dugaan sebaran rembesan lindi pada kedua lintasan tidak bersifat seragam, melainkan berada pada zona tertentu di bawah permukaan. Penelitian lanjutan disarankan melakukan pengukuran geolistrik secara berkala atau *time-lapse resistivity* dapat digunakan untuk mengamati perubahan arah dan luas penyebaran rembesan air lindi dari waktu ke waktu. Selain itu, penelitian selanjutnya perlu menambah jumlah lintasan pengukuran dengan arah yang saling memotong dan cakupan area yang lebih luas agar pola penyebaran rembesan air lindi dapat dipetakan secara tiga dimensi.

Nilai resistivitas rendah pada Lintasan 1 di TPA Regional Talumelito, yaitu 24,5–94,1 Ωm , relatif lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Zaini et al. [10] di Simpang Renggam, Malaysia, yang mengidentifikasi anomali resistivitas sebesar 1–10 Ωm pada zona yang berkaitan dengan air lindi. Hasil serupa dilaporkan oleh Meilasari et al. [18] di TPA Batu Layang, dengan nilai resistivitas tanah yang diinterpretasikan terpengaruh lindi sebesar 1,19–9,43 Ωm pada Lintasan 1 dan 0,5–10,2 Ωm pada Lintasan 2. Perbedaan nilai tersebut diduga berkaitan dengan kondisi kelembapan tanah dan karakteristik material bawah permukaan pada masing-masing lokasi. Pengukuran di Talumelito dilakukan setelah lebih dari satu bulan tanpa hujan berdasarkan pengamatan lapangan, sehingga berkurangnya kelembapan tanah berpotensi meningkatkan resistivitas bawah permukaan. Hal ini sejalan dengan penelitian Melo et al. [19], yang

menunjukkan bahwa kadar air tanah berpengaruh terhadap nilai resistivitas. Selain itu, perbedaan litologi, tingkat kejenuhan air, porositas, serta kandungan ion terlarut dapat turut memengaruhi respons listrik bawah permukaan. Meskipun demikian, faktor-faktor tersebut belum dapat ditetapkan sebagai penyebab utama karena kelembapan tanah dan karakteristik kimia air lindi tidak diukur secara langsung dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- 1 Gunarathne V, Phillips AJ, Zanoletti A, Rajapaksha AU, Vithanage M, Di Maria F, Pivato A, Korzeniewska E, Bontempi E. 2024. Environmental pitfalls and associated human health risks and ecological impacts from landfill leachate contaminants: Current evidence, recommended interventions and future directions. *Sci. Total Environ.* **912**: 169026.
- 2 Pemerintah Provinsi Gorontalo. 2025. Peraturan Gubernur Gorontalo Nomor 30 Tahun 2025 tentang Roadmap Sanitasi Provinsi Gorontalo Tahun 2025–2029. .
- 3 Fahmida P, Tareq S. 2021. Impact of landfill leachate contamination on surface and groundwater of Bangladesh: a systematic review and possible public health risks assessment. *Appl. Water Sci.* **11**(6): 100.
- 4 Warow N, Mahmud M, Lihawa F. 2025. Analysis of Leachate Quality Status , Rainfall Intensity and Pollution Index at the Final Processing Site of Talumelito Waste. *Int. J. Pap. Adv. Sci. Rev. Vol.* **6**(1): 1.
- 5 Lindamulla L, Nanayakkara N, Othman M, Jinadasa S, Herath G. 2022. Municipal Solid Waste Landfill Leachate Characteristics and Their Treatment Options in Tropical Countries. *Curr. Pollut. Reports.* **8**(3): 273.
- 6 Igboama W, Hammed O, Fatoba J, Aroyehun M, Ehiabhili J. 2022. Review article on impact of groundwater contamination due to dumpsites using geophysical and physiochemical methods. *Appl. Water Sci.* **12**: .
- 7 Piegari E, De Donno G, Melegari D, Paoletti V. 2022. A machine learning-based approach for mapping leachate contamination using geoelectrical methods. *Waste Manag.* **157**: 121.
- 8 Badaun NAK, Zainurib A, Akase N, Aris AP. 2022. Interpretasi Lapisan Bawah Permukaan Sebagai Perencanaan Tempat Penyimpanan Sampah Di Desa Talumelito, Kabupaten Gorontalo. *J. Appl. Geosci. Eng.* **1**(2): 107.
- 9 Adabanija M. 2023. Spatio-temporal monitoring of leachates dispersion beneath a solid wastes dump in basement complex of southwestern Nigeria. *J. Appl. Geophys.* **210**: 104953.
- 10 Zaini MSI, Hasan M, Zolkepli MF. 2022. Urban landfills investigation for leachate assessment using electrical resistivity imaging in Johor, Malaysia. *Environ. Challenges.* **6**: 100415.
- 11 Li Y, Liu Y, Yin C, Su Y, Ke Z, Wang L, Ren X, Zhang B. 2024. Three-Dimensional Electrical Resistivity Tomography for Leachate Imaging Considering Thin Impermeable Layers of Landfills. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **62**: 1.
- 12 Kevin ZDM, Yang J, Lordon AED, Huang J, Perabi CJP, Rapheal O, Dirane KNJ, Ahmed MNM. 2024. Geoelectrical and seismoelectric mapping of subsurface pollution in a closed landfill near the Tongo Bassa and Ngongue river , Douala Cameroon. *Front. Earth Sci.* **12**(August): 1.
- 13 Godio A, Chiampo F. 2023. Geophysical Monitoring of Leachate Injection in Pretreated Waste Landfill. *Appl. Sci.* **13**: 5661.
- 14 Boonsakul P, Suanburi D, Towprayoon S, Chiemchaisri C, Wangyao K. 2024. Advanced ERT techniques for methane potential evaluation in controlled dump sites: A forward modeling approach. *Results Eng.* **24**: 103256.
- 15 Itsnani A, Arifin D. Pemetaan Lateral Potensi Air Tanah Berdasarkan Data Survei Geolistrik Buku Referensi/Monograf. TANESA, Indonesia.
- 16 Sangprasat K, Puttiwongrak A, Inazumi S. 2025. Review of Correlations Between Soil Electrical Resistivity and Geotechnical Properties. *Geosciences.* **15**(5): 166.

- 17 Fu Y, Horton R, Ren T, Heitman JL. 2021. A general form of Archie's model for estimating bulk soil electrical conductivity. *J. Hydrol.* **597**: 126160.
- 18 Meilasari F, Sutrisno H, Purnaini R, Utari ID. 2023. Two-Dimensional Modeling of Leachate Distribution in Batu Layang Landfill on Peat Soil using Geoelectric Method. *J. Presipitasi.* **20**(3): 633.
- 19 Melo LBB de, Silva BM, Peixoto DS, Chiarini TPA, de Oliveira GC, Curi N. 2021. Effect of compaction on the relationship between electrical resistivity and soil water content in Oxisol. *Soil Tillage Res.* **208**: 104876.