

Identifikasi Limbah Cair Kelapa Sawit di Desa Tinting Boyok Kabupaten Sekadau Provinsi Kalimantan Barat Berdasarkan Nilai Resistivitas

Zulfian*¹, Yuris Sutanto²

¹Program Studi Geofisika FMIPA Universitas Tanjungpura

²Program Studi Fisika FMIPA Universitas Tanjungpura

e-mail*¹: zulfiantabrani@physics.untan.ac.id

Diterima 22 Juni 2024

Disetujui 23 April 2025

Dipublikasikan 30 April 2025

<https://doi.org/10.33369/jkf.8.1.1-10>

ABSTRAK

Limbah cair kelapa sawit telah diterapkan di lahan aplikasi yang berada di Desa Tinting Boyok, Kabupaten Sekadau, Provinsi Kalimantan Barat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi limbah cair kelapa sawit yang merembes ke dalam tanah. Rembesan limbah ini dikhawatirkan menurunkan kualitas air tanah. Metode yang digunakan untuk mencapai tujuan tersebut adalah metode geolistrik resistivitas dengan konfigurasi Wenner-Schlumberger. Penelitian ini menggunakan dua lintasan geolistrik dengan panjang lintasan sebesar 195 m. Identifikasi limbah cair kelapa sawit dilakukan berdasarkan nilai resistivitas yang diperoleh dari proses pemodelan menggunakan metode inversi Gauss-Newton. Dari proses inversi tersebut, penampang resistivitas yang diperoleh dapat menyatakan nilai resistivitas sebenarnya. Nilai resistivitas yang diperoleh dari hasil inversi adalah 4,53 Ωm s.d. 950 Ωm . Dari nilai resistivitas tersebut, lapisan tanah yang terdapat pada daerah penelitian berupa lapisan pasir, pasir lempungan dan lapukan granodiorit. Lapisan pasir diduga sebagai tempat akumulasi limbah cair kelapa sawit di dalam tanah. Limbah cair kelapa sawit diduga memiliki nilai resistivitas 4,53 Ωm s.d. 9,7 Ωm . Limbah cair kelapa sawit memiliki nilai resistivitas yang lebih kecil karena mengandung *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) tinggi serta logam hingga logam berat. Rembesan limbah ini diduga terdeteksi dari kedalaman 2 m s.d. 6,5 m pada lintasan 1 dan 2 m s.d. 24 m. Formasi geologi dan topografi mempengaruhi rembesan limbah pada lintasan 1 dan lintasan 2.

Kata kunci— metode geolistrik, limbah cair kelapa sawit, resistivitas

ABSTRACT

Palm oil mill effluent (POME) has been applied to the application site located in Tinting Boyok Village, Sekadau Regency, West Kalimantan Province. The objective of this research is to identify the seepage of palm oil mill effluent into the soil. This seepage is concerning as it may degrade the quality of groundwater. The method used to achieve this objective is the resistivity geoelectric method with the Wenner-Schlumberger configuration. This study utilized two geoelectric lines, each with a length of 195 meters. The identification of palm oil mill effluent was based on resistivity values obtained from the modeling process using the Gauss-Newton inversion method. From this inversion process, the resistivity cross-section obtained can represent the actual resistivity values. The resistivity values obtained from the inversion results range from 4.53 Ωm to 950 Ωm . Based on these resistivity values, the soil layers in the study area consist of sand, clayey sand, and weathered granodiorite layers. The sand layer is suspected to be the accumulation zone for palm oil mill effluent within the soil. The palm oil mill effluent is estimated to have resistivity values ranging from 4.53 Ωm to 9.7 Ωm . The effluent exhibits lower resistivity values due to its high Chemical Oxygen Demand (COD) and Biochemical Oxygen Demand (BOD) content, as well as the presence of metals and heavy metals. The seepage of this effluent is suspected to be detected at depths ranging from 2 meters to 6.5 meters on line 1, and from 2 meters to 24 meters on line 2. Geological formations and topography influence the seepage of the effluent on both line 1 and line 2.

Keywords— geoelectrical method, palm oil mill effluent, resistivity

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki komoditas perkebunan yang berperan strategis untuk pembangunan ekonomi yaitu kelapa sawit (1). Indonesia menjadi salah satu penghasil utama minyak kelapa sawit (2). Produksi minyak kelapa sawit yang meningkat setiap tahunnya (3), berdampak kepada meningkatnya volume limbah cair yang dihasilkan (4).

Kalimantan Barat merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki perkebunan kelapa sawit. Pada tahun 2015, Kalimantan Barat memiliki luas perkebunan kelapa sawit lebih dari 1,4 juta hektar (5). Kabupaten Sekadau adalah salah satu kabupaten yang memiliki potensi perkebunan kelapa sawit (6). Persentase luas perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Sekadau pada tahun 2021 adalah 72% dari luas total lahan perkebunan yang ada di Kabupaten Sekadau (6). Salah satu hasil dari perkebunan kelapa sawit adalah limbah cair kelapa sawit.

Limbah cair yang sudah diolah dapat dijadikan pupuk tanaman bagi kelapa sawit dan dapat dibuang ke dalam tanah (7). Air limbah kelapa sawit memiliki kandungan bahan organik yang tinggi, padatan tersuspensi, dan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor. Limbah yang dibuang ke dalam tanah sebagai pupuk memiliki kandungan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebesar 1000-3500 ppm (8). Kandungan BOD air limbah dapat menyebabkan kualitas air tanah menurun (9). Pemantauan dan penerapan air limbah kelapa sawit pada lahan aplikasi kebun perlu ditangani dengan benar agar tidak berkontribusi terhadap bahaya kesehatan manusia dan pencemaran lingkungan. Tempat penampungan limbah cair kelapa sawit di lahan aplikasi dapat berupa *flatbed* atau parit bersekat (9,10).

Pemanfaatan limbah tersebut perlu dilakukan prakiraan dampak dan sebarannya di dalam tanah (11). Limbah yang terdapat di dalam tanah telah berhasil diidentifikasi menggunakan metode geolistrik resistivitas (12–15). Metode ini dapat mendeteksi kontras resistivitas suatu medium karena adanya limbah di bawah permukaan tanah yang bersifat konduktif. Nilai resistivitas limbah cair kelapa sawit yang merembes ke dalam tanah sebesar 1,65 Ωm s.d. 10,81 Ωm (13). Selain itu, limbah cair kelapa sawit juga dapat diduga berdasarkan nilai konduktivitas. Limbah cair kelapa sawit yang merembes ke dalam tanah memiliki nilai konduktivitas 105 mS/m s.d. 210 mS/m atau setara dengan nilai resistivitas sebesar 4,76 Ωm s.d. 9,5 Ωm (16).

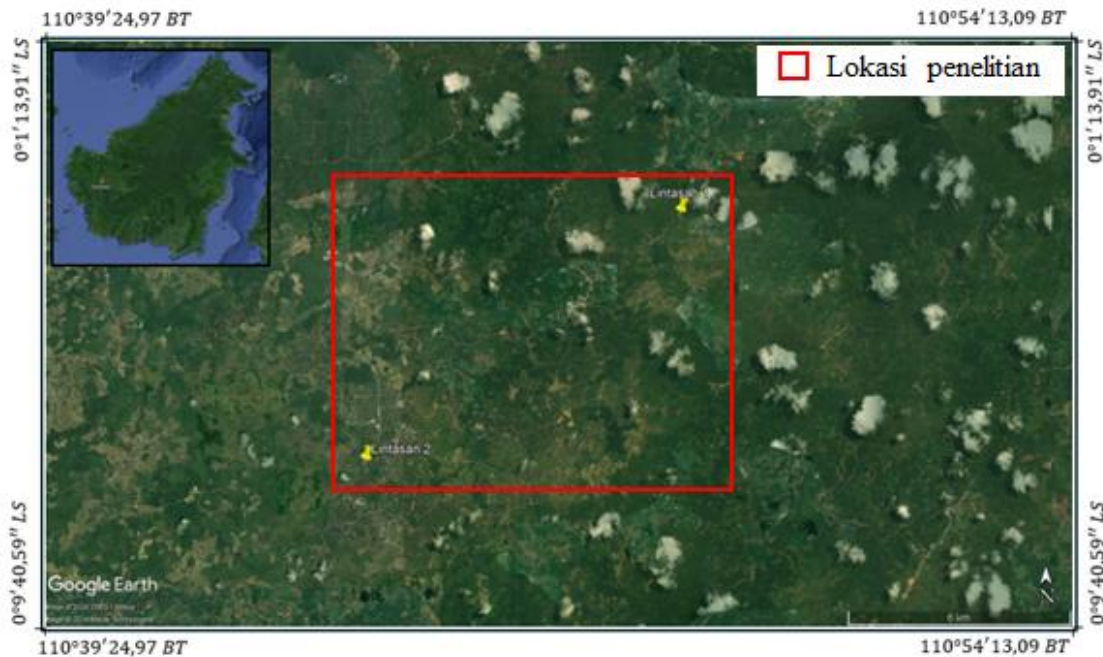
Limbah cair kelapa sawit telah dimanfaatkan sebagai pupuk bagi perkebunan kelapa sawit di Desa Tinting Boyok Kabupaten Sekadau. Limbah yang dibuang ke dalam tanah dapat berpotensi mencemari air tanah dan perlu diidentifikasi keberadaannya di dalam tanah. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai identifikasi limbah cair kelapa sawit yang telah diaplikasikan ke lahan perkebunan sawit menggunakan metode geolistrik resistivitas. Metode geolistrik memiliki sensitivitas yang baik terhadap sifat kelistrik bahan terkhusus sifat kelistrikan limbah. Penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai informasi untuk merancang penerapan lahan aplikasi untuk tempat pembuangan limbah cair kelapa sawit di lahan perkebunan kelapa sawit.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Desa Tinting Boyok, Kabupaten Sekadau, Provinsi Kalimantan Barat. Lahan aplikasi sebagai daerah pembuangan limbah berada pada daerah berundak dan perbukitan. Lintasan geolistrik yang dibuat berada di lahan aplikasi pada lokasi perkebunan kelapa sawit. Lintasan yang dibuat sebanyak 2 buah dengan panjang masing-masing lintasan 195 m. Lokasi lintasan geolistrik yang digunakan pada penelitian ditunjukkan oleh Gambar 1.

Pemilihan lintasan 1 dan lintasan 2 berdasarkan kondisi di lapangan. Lintasan 1 berada pada daerah *flatbed* dan ditemukan adanya aliran limbah akibat kebocoran pipa, sedangkan lintasan 2 berada pada daerah yang terdapat aliran limbah akibat kebocoran pipa saja.

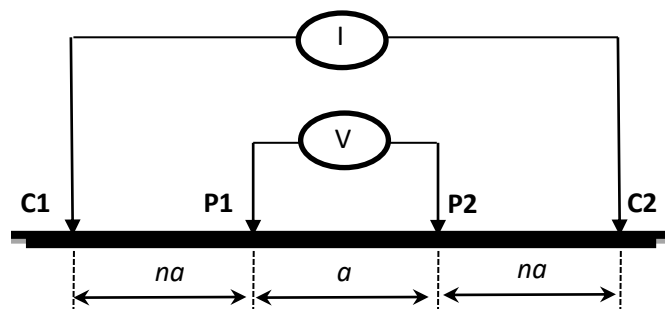


Gambar 1. Lokasi penelitian di Desa Tinting Boyok, Kabupaten Sekadau

2.2 Akuisisi Data dan Metode Geolistrik Resistivitas

Alat yang digunakan untuk pengambilan data geolistrik adalah *Automatic Resistivity System* (ARES). Alat ARES yang digunakan memiliki daya hingga 850 W dengan arus maksimum 5 A dan transmisi pembacaan arus sebesar 0,1 s (17). Alat ini secara otomatis merekam hasil pengukuran.

Pada penelitian ini, konfigurasi geolistrik yang digunakan adalah konfigurasi Wenner-Schlumberger (Gambar 2). Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah 40 elektroda dengan jarak antar elektroda sebesar 5 m.



Gambar 2. Susunan elektroda untuk konfigurasi Wenner-Schlumberger (18)

Metode geolistrik menggunakan empat buah elektroda yaitu 2 buah elektroda arus (elektroda C1 dan C2) dan 2 buah elektroda potensial (elektroda P1 dan P2). Arus listrik ini dialirkan ke dalam ke dalam tanah menggunakan elektroda arus C1 dan C2 (18)]. Jarak elektroda C1-C2 untuk konfigurasi Wenner-Schlumberger adalah $2na + a$ dan jarak antar elektroda P1-P2 sebesar a (Gambar 2). Simbol a merupakan jarak elektroda terkecil dengan satuan m, sedangkan n menyatakan rasio jarak elektroda C1-P1 dengan jarak elektroda P1-P2. Konfigurasi ini memiliki resolusi secara vertikal yang baik (19).

Saat pengukuran di lapangan, alat ARES akan mencatat arus yang mengalir di bawah permukaan dan beda potensial antara titik P1-P2. Dari nilai beda potensial dan arus listrik ini, nilai resistivitas semu secara otomatis terhitung dan terekam di alat ARES. Nilai resistivitas semu yang dihitung merujuk kepada persamaan 1,

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

dengan ρ_a merupakan nilai resistivitas semu (Ωm), ΔV adalah beda potensial antara P1-P2, I menyatakan arus listrik yang mengalir di bawah permukaan tanah (A), dan k menyatakan faktor geometri (m). Untuk konfigurasi Wenner-Schlumberger, faktor geometri $k = \pi n(n+1)a$. Dari persamaan 1, nilai resistivitas semu dapat ditulis menjadi persamaan 2,

$$\rho_a = \pi n(n+1)a \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

2.3 Pemodelan dan Interpretasi Data Geolistrik

Pada penelitian ini, pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan kebelakang atau *inverse modelling*. Metode yang digunakan adalah metode Gauss-Newton. Metode ini memiliki kelebihan dapat memperoleh nilai yang konvergen dengan cepat, terkhusus saat iterasi dimulai cukup dekat dengan akar yang diinginkan (20). Metode ini telah berhasil untuk memodelkan dan menyelesaikan persamaan non linier (21). Parameter model dihitung berdasarkan persamaan 3 (19) dan proses perhitungan dihentikan jika eror yang diinginkan telah terpenuhi.

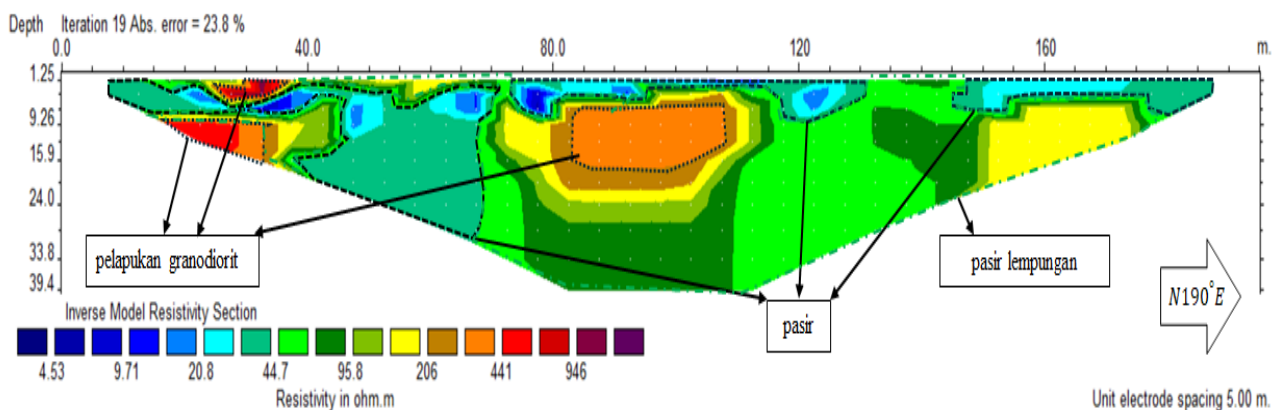
$$m_{i+1} = m_i + [J_i^T J_i]^{-1} J_i^T \Delta d \quad (3)$$

m_{i+1} dan m_i menyatakan parameter model, $i = 1, 2, \dots, N$, J_i adalah matrik Jacobian, Δd merupakan selisih data observasi dengan data kalkulasi. Data observasi pada penelitian ini berupa data resistivitas semu.

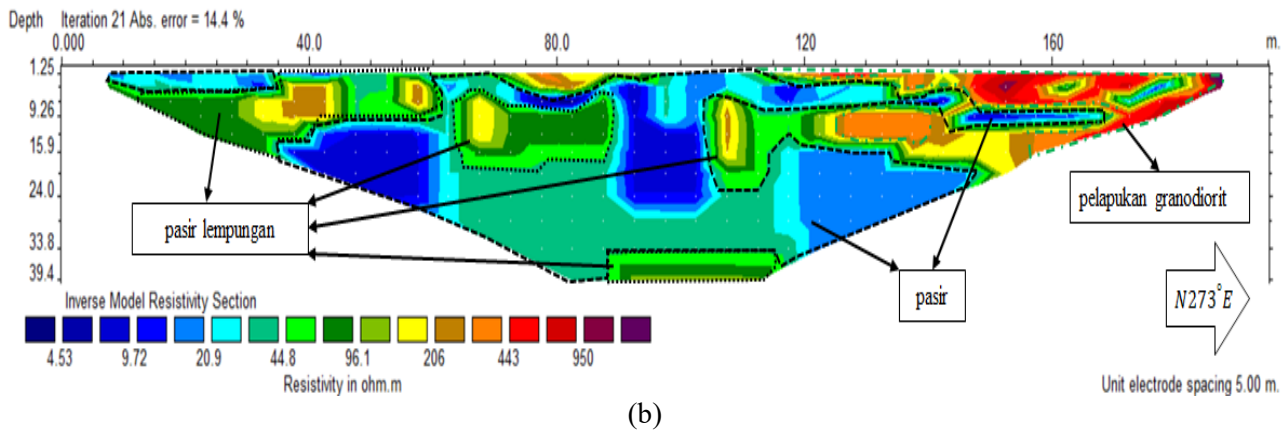
Dari hasil proses inversi ini diperoleh penampang resistivitas 2D. Nilai resistivitas pada penampang 2D ini diasumsikan sebagai nilai resistivitas sebenarnya. Penampang resistivitas diinterpretasi sesuai dengan geologi daerah penelitian dan nilai resistivitas.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penampang resistivitas 2D adalah penampang resistivitas hasil inversi. Nilai resistivitas ini diasumsikan sebagai nilai resistivitas sebenarnya yang terdapat di bawah permukaan tanah. Dari hasil inversi, nilai resistivitas pada lintasan 1 dan lintasan 2 sebesar $4,53 \Omega\text{m}$ s.d. $950 \Omega\text{m}$ (Gambar 3). Lintasan 1 memiliki nilai *RMS error* sebesar 23,8% dengan 19 kali iterasi (Gambar 3a), sedangkan lintasan 2 memiliki *RMS error* sebesar 14,4% dengan iterasi 21 kali (Gambar 3b). Model penampang resistivitas ini menunjukkan bahwa kedalaman penampang resistivitas adalah sebesar 39,4 m dengan panjang lintasan masing-masing sebesar 195 m. Lintasan 1 membentang ke arah $N190^\circ E$, sedangkan lintasan 2 membentang ke arah $N273^\circ E$.



(a)

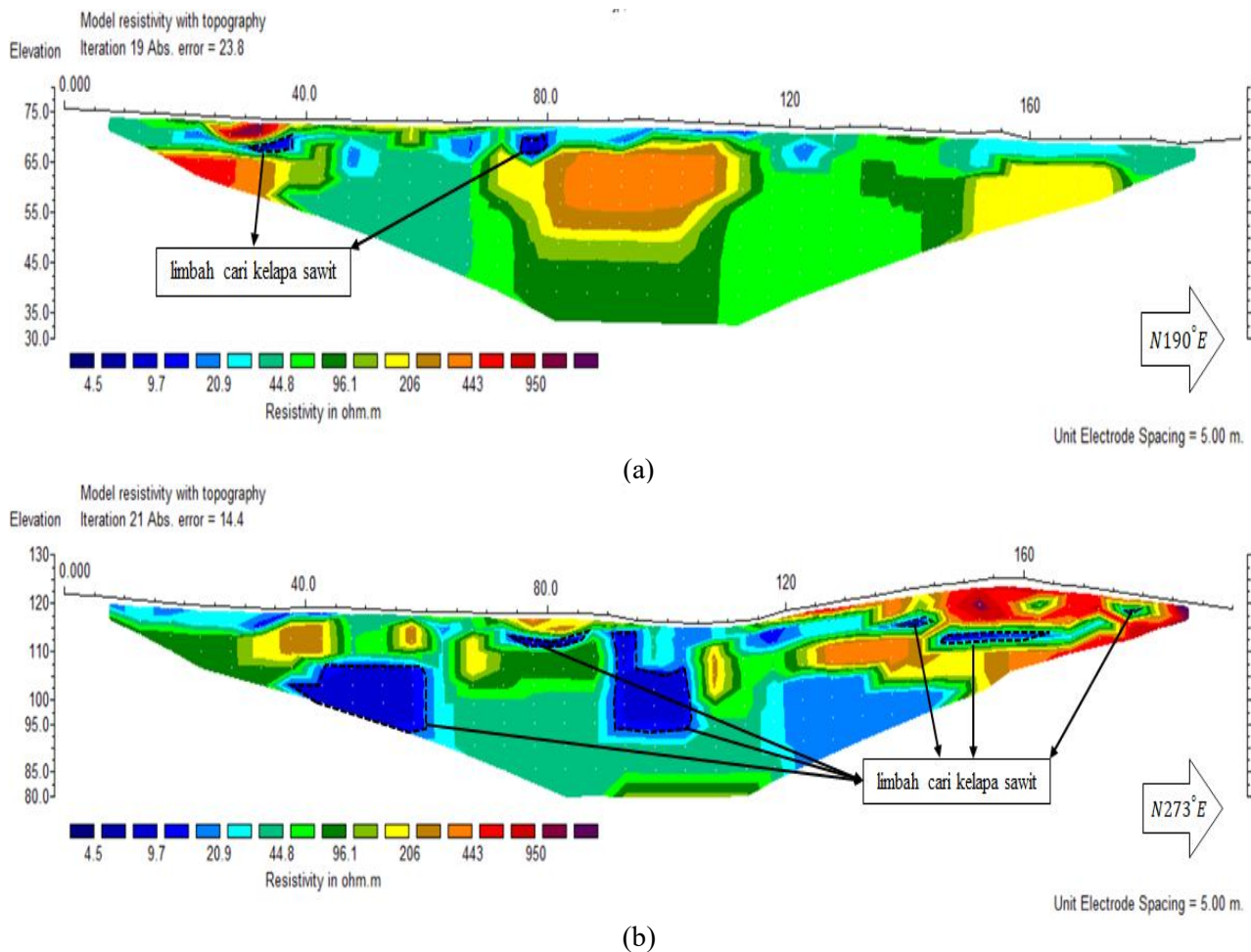


Gambar 3. Penampang resistivitas hasil inversi (a) lintasan 1 (b) lintasan 2

Dari model 2D resistivitas, pada lintasan L1 dan L2 dapat diinterpretasi menjadi pasir, pasir lempungan dan pelapukan granodiorite. Interpretasi ini merujuk kepada batuan yang terdapat di lokasi dan sekitarnya dari data geologi regional dan nilai resistivitas batuan. Pasir diduga memiliki nilai resistivitas 4,53 Ωm s.d. 44,8 Ωm . Lapisan pasir ini diduga sebagai lapisan pasir yang tersaturasi air/limbah. Nilai resistivitas pasir tersaturasi air yang diperoleh relevan dengan hasil penelitian peneliti terdahulu [(22) dengan nilai resistivitas 0 Ωm s.d. 57,6 Ωm . Pada lapisan ini, limbah cair kelapa sawit juga diduga terakumulasi pada daerah tertentu. Lapisan pasir ini menjadi lapisan akuifer yang dapat meloloskan air karena memiliki porositas dan permeabilitas yang baik. Lapisan ini tergolong cukup permeabel (23). Lapisan pasir sebagai lapisan akuifer ini diduga terdapat mulai dari jarak 5 m s.d. 180 m dari awal lintasan dan dari kedalaman 1,25 m s.d. 24 m untuk lintasan 1 (Gambar 3a). Pada lintasan 2, lapisan pasir ini diduga berada pada jarak 7 m s.d. 180 m dengan kedalaman mulai dari 1,25 m s.d. 39,4 m (Gambar 3b).

Lapisan pasir lempungan diduga memiliki nilai resistivitas sebesar 65,6 Ωm s.d. 208 Ωm (Gambar 3). Hasil interpretasi nilai resistivitas ini masuk dalam interval pasir lempungan hasil penelitian (24) yang bernilai 30 Ωm s.d. 215 Ωm . Lapisan ini tergolong kurang permeabel (23). Ukuran butiran lempung yang lebih kecil daripada pasir sehingga mengisi ruang pori pasir sehingga dapat menutup ruang pori. Pada lintasan 1, lapisan pasir lempungan ini terdapat pada jarak 35 m s.d. 175 m dan dari kedalaman 1,25 m s.d. 39,4 m (Gambar 3a). Lapisan pasir lempungan ini juga terdapat pada lintasan 2 pada jarak 10 m s.d. 155 m dari kedalaman 1,25 m s.d. 39,4 m (Gambar 3b). Lapisan terkadang terletak diantara lapisan pasir dengan lapukan granodiorit.

Lapisan pelapukan granodiorite diduga memiliki nilai resistivitas 403 Ωm s.d. 950 Ωm (Gambar 3). Pelapukan granodiorit ini berasal dari batuan granodiorit. Batuan granodiorit ini diduga berasal dari Formasi Tonalit Sepauk. Formasi ini terbentuk pada masa mesozoikum sekitar 97,6 juta yang lalu (25). Pada lintasan 1 maupun lintasan 2, lapisan ini berada pada jarak tertentu dan terpisah satu sama dengan lainnya. Lempung yang terdapat pada lapisan pasir lempungan diduga berasal juga dari pelapukan granodiorit. Hasil peneliti terdahulu menunjukkan bahwa salah satu hasil pelapukan batu granodiorit adalah lempung (26)]. Pada lapisan ini pelapukan yang ada diduga masuk berupa fragmen-fragmen dari batuan granodiorit. Karena di lokasi penelitian ditemukan fragmen-fragmen batu granodiorit.



Gambar 4. Penampang resistivitas dan data topografi dengan interpretasi limbah cair kelapa sawit
(a) lintasan 1 (b) lintasan 2

Lintasan 1 dan lintasan 2 dibentang pada daerah perbukitan sehingga penampang resistivitas yang dihasilkan mendukung data topografi masing-masing lintasan (Gambar 4). Data topografi pada penampang resistivitas menjadi penting jika dikaitkan dengan air limbah cair kelapa sawit yang terdapat di bawah permukaan tanah. Dari data topografi diperoleh informasi kemiringan dari masing-masing lintasan. Kemiringan lintasan 1 dan lintasan 2 kurang dari 30° dan memenuhi kriteria untuk menjadi lahan aplikasi. Syarat lahan aplikasi harus memiliki kemiringan $< 30^\circ$ (11). Kemiringan penting dalam lahan aplikasi karena dapat digunakan untuk memprediksi aliran limbah cair kelapa sawit (27). Kemiringan yang rendah akan menyebabkan potensi aliran limbah cair kelapa sawit yang sedikit.

Limbah cair kelapa sawit diduga telah merembes ke dalam tanah, baik pada lintasan 1 maupun lintasan 2. Nilai resistivitas yang diduga sebagai limbah cair kelapa sawit adalah $4,53 \Omega\text{m}$ s.d. $9,7 \Omega\text{m}$. Nilai resistivitas ini relevan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dengan nilai resistivitas limbah cair kelapa sawit di dalam tanah sebesar $1 \Omega\text{m}$ s.d. $10 \Omega\text{m}$ (16,28). Limbah ini diduga terakumulasi pada beberapa daerah pada lintasan 1 maupun lintasan 2. Lapisan yang menjadi tempat akumulasi limbah cair kelapa sawit adalah lapisan pasir. Berdasarkan observasi lapangan daerah di sekitar lintasan terlihat terdapat pasir di permukaan tanah baik pada lintasan 1 maupun lintasan 2.

Lapisan pasir ini bersifat cukup permeabel (23) sehingga air maupun limbah dapat merembes ke dalam tanah. Nilai permeabilitas pasir sebesar 10^{-5}cm/s s.d. 10^{-3}cm/s atau $3,6 \text{ cm/hari}$ s.d. $3,6 \text{ m/hari}$ [(23,29). Pasir sebagai lapisan akuifer memiliki porositas yang sekitar 20% s.d. 35% (29). Dengan porositas lapisan pasir dapat menampung air maupun limbah cair kelapa sawit.

Lintasan 1 berada dekat daerah aliran limbah di permukaan yang berasal dari kebocoran pipa. Observasi lapangan menunjukkan bahwa aliran limbah ini dimulai dari jarak 5 m s.d. 80 m pada

lintasan 1. Limbah diduga terakumulasi pada jarak 30 m s.d. 37 m dan 75 m s.d. 80 m. Rembesan limbah terakumulasi pada lapisan pasir pada kedalaman 2 m s.d. 6,5 m. Limbah yang merembes membuat lapisan pasir lebih konduktif karena air limbah mengandung zat tak terlarut dan organik yang berasal dari proses produksi sawit. Hal ini ditunjukkan dengan nilai resistivitas yang kecil pada daerah akumulasi limbah cair kelapa sawit di lapisan pasir. Nilai resistivitas kecil menunjukkan limbah mudah menghantarkan arus listrik. Nilai resistivitas juga diduga dipengaruhi oleh *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan kandungan logam pada limbah. Berdasarkan uji laboratorium parameter BOD air limbah yang diaplikasikan ke lahan aplikasi yaitu 678 mg/L dan nilai parameter COD sebesar 1288 mg/L. Air limbah yang merembes ke dalam tanah dan bercampur dengan air tanah membuat kadar COD dan BOD limbah di dalam air tanah berkurang jika dibandingkan dengan limbah saat dialirkan di dalam *flatbed*. Selain itu, nilai resistivitas limbah cair kelapa sawit bernilai kecil diduga karena adanya kandungan logam di dalam limbah. Peneliti sebelumnya menunjukkan bahwa pada limbah cair kelapa sawit terdapat timbal, tembaga, dan besi (30)]. Adanya kandungan logam ini diduga dikarenakan kontaminasi dari pipa plastik dan logam, tangki dan wadah tempat timbal banyak digunakan dalam cat dan bahan pelapis kaca. Peneliti yang lain juga menemukan adanya kandungan seng (Zn), kromium (Cr), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) di dalam limbah (31).

Limbah cair kelapa sawit juga teridentifikasi pada lintasan 2. Lintasan 2 ini berada di dekat *flatbed* mulai dari jarak 5 m s.d. 90 m dan *flatbed* sudah dialiri limbah kelapa sawit. Observasi di lapangan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pada lintasan 2 ini juga terdapat kebocoran pipa saluran limbah. Pipa yang mengalami kebocoran ini berjarak 180 m dari awal lintasan dan menyebabkan limbah mengalir di permukaan tanah. Limbah yang berasal dari *flatbed* dan kebocoran pipa ini diduga merembes hingga ke lapisan pasir. Limbah yang merembes ke dalam tanah membuat lapisan pasir lebih konduktif. Limbah cair kelapa sawit mengandung logam dan meningkatkan konsentrasi elektrolit (16) jika mengisi ruang pori pada lapisan pasir akan menyebabkan peningkatan konduktivitas listrik lapisan pasir berpasir. Rembesan limbah ini yang berasal dari *flatbed* ini diduga terakumulasi pada kedalaman 4 m s.d. 20 m pada jarak 35 m s.d. 105 m (Gambar 4). Rembesan ini mengalir datar ke bawah karena pasir tergolong cukup permeabel. Rembesan limbah juga terdeteksi pada jarak 140 m s.d. 180 m pada kedalaman 4 m s.d. 9 m. Rembesan limbah ini diduga berasal dari kecoran pipa yang terletak pada jarak 180 di permukaan tanah. Rembesan ini mengalir mengikuti arah penurunan topografi (Gambar 4b) dan mengalir dari jarak 180 m hingga ke jarak 140 m.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Metode geolistrik telah berhasil digunakan untuk mengidentifikasi limbah di Desa Tinting Boyok Kabupaten Sekadau. Lapisan tanah pada daerah penelitian adalah pasir, pasir lempungan dan pelapukan granodiorit. Lapisan pasir diduga sebagai lapisan akuifer dan menjadi tempat akumulasinya limbah cair kelapa sawit di bawah permukaan tanah. Limbah cair kelapa sawit ini diduga terdapat pada lintasan 1 dan lintasan 2. Limbah cair kelapa sawit diduga memiliki nilai resistivitas 4,53 s.d. 9,7 Ω m. Limbah yang berada di dalam lapisan pasir membuat lapisan pasir lebih konduktif dan ditunjukkan dengan nilai resistivitas yang rendah. Rembesan limbah cair kelapa sawit diduga merembes hingga kedalaman 2 m s.d. 6,5 m untuk lintasan 1. Pada lintasan 2, rembesan limbah kelapa sawit diduga terakumulasi pada kedalaman 4 s.d. 24 m di bawah permukaan tanah. Penyebaran limbah kepada sawit mengikuti topografi pada daerah penelitian.

4.2 Saran

Pengujian sampel pada beberapa titik pada lahan aplikasi perlu dilakukan. Selain itu, penelitian terkait nilai resistivitas maupun konduktivitas air tanah yang terkontaminasi limbah cair kelapa sawit skala laboratorium juga perlu dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi limbah cair kelapa sawit di dalam air tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Fakultas MIPA dan Universitas Tanjungpura karena telah mendanai penelitian ini. Penelitian ini dibiayai oleh dana DIPA Universitas Tanjungpura Tahun Anggaran 2023 dengan Surat Keputusan Rektor Universitas Tanjungpura No. 023.17.2.677517/2023 tanggal 30 November 2022.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kementrian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia. Industri Kelapa Sawit Indonesia: Menjaga Keseimbangan Aspek Sosial, Ekonomi, dan Lingkungan - Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia. ekon.go.id. 2021.
2. Fauzi Y, Widiyastuti, Y. E. Satyawibawa I, Hartono R. Budidaya Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisis Usaha dan Pemasaran Kelapa Sawit. Penebar Swadaya, Jakarta. Jakarta: Penebar Swadaya; 2003.
3. Alatas A. Trend Produksi dan Ekspor Minyak Sawit (CPO) Indonesia. AGRARIS: Journal of Agribusiness and Rural Development Research. 2015;1(2):114–24.
4. Sisnayati S, Dewi DS, Komala R, Meilianti M, Faizal M. Pengolahan limbah Palm Oil Mill Effluent (POME) menggunakan proses aerasi dalam kolom aerator plat berlubang. Jurnal Teknik Kimia. 2022;28(3):107–15.
5. Fauzi. Potensi Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Di Wilayah Kalimantan Barat. Elkha. 2019;9(2):22.
6. Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Sekadau. Buku Statistik Sektor Pemerintahan Daerah Kabupaten Sekadau Tahun 2022. Sekadau: Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Sekadau; 2022.
7. Pujono HR, Kukuh S, Evizal R, Afandi, Rahmat A. The effect of POME application on production and yield components of oil palm in Lampung , Indonesia The effect of POME application on production and yield components of oil palm in Lampung , Indonesia. IOP Conf Series: Earth and Environmental Science. 2021;648 (2021)(012058):1–7.
8. Ngatirah. Teknologi Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit. Ungaran Trubus Agriwidya. Yogyakarta: Instiper Yogyakarta; 2017. 49 p.
9. Sari AR, Langsa MH, Sirampun AD. Pengaruh Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Terhadap Sifat Kimia Dan Fisika Tanah Pada Lahan Perkebunan Kelapa Sawit Milik Pt.Pmp Kabupaten Maybrat. Jurnal Natural. 2019;15(2):46–59.
10. Isakandar, Purwakusuma W. The Use of Palm Oil Mill Effluent in Oil Palm Plantations: Nutrients Recycling and Their Effects on Soil Quality. Sustainable Land Management. 2002;323–30.

11. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2021. Tata Cara Penerbitan Persetujuan Teknis dan Surat Kelayakan Operasional Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan. 2021.
12. Soeryamassoeka SB, Meilasari F, Sutrisno H, Yuniarti E, Zulfian. 3D Modeling of Leachate Distribution Around Zone E of Batu Layang Landfill, Pontianak, West Kalimantan, Indonesia Using the Geoelectrical Method. *Journal of Engineering and Technological Sciences*. 2023;55(2):153–66.
13. Suryani, Muliadi, Zulfian. Identifikasi Sebaran Limbah Kelapa Sawit Di Dusun Panepat Desa Kuala Mandor A Menggunakan Metode Geolistrik. *Prisma Fisika*. 2020;8(1):92–8.
14. Juandi M. Analisis pencemaran limbah berdasarkan nilai resistivitas. *ilmu Lingkungan*. 2009;3(1):25–36.
15. Muhardi, Muliadi, Zulfian. 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*. 2020;17(2):72.
16. Purry A, Muliadi, Zulfian. Identifikasi Sebaran Limbah Kelapa Sawit di Desa Kuala Mandor A Menggunakan Metode Konduktivitas Elektromagnetik. *Prisma Fisika*. 2019;7(3):196–202.
17. GF Instruments. *Advanced Multi-Channel Applications: Automatic Resistivity & IP System*. 2000;
18. Telford WM, Geldart LP, Sheriff RE. *Applied Geophysics*. Second. New York: Cambridge University Press; 1990.
19. Loke MH. *Tutorial: 2D and 3D electrical imaging surveys*. 2022.
20. Triyanto M, Andriyati A, Kamila I, Rohaeti E. Pemodelan Pengaruh Nilai Tukar Rupiah Terhadap Dollar Dengan Indeks Harga Saham Gabungan Kompas 100 menggunakan metode Gauss Newton. *Jurnal Jendela Matematika*. 2024;2(01):1–10.
21. Fajriani, Srigutomo W. Perbandingan Inversi Non-Linier Untuk Interpretasi Anomali Self – Potential Model Fixed Geometry : Metode Least-Square, Gauss Newton, dan Levenberg-Marquardt. *Prosiding SNIPS 2016*. 2016;313–21.
22. Nwosu LI, Nwachukwu M. Integration of Geoelectrical and Geotechnical Data for Soil Characterization in Parts of Owerri Metropolis Southeastern Nigeria. 2019;IV(December):131–9.
23. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi. *Modul Geologi dan Hidrogeologi: Pelatihan Perencanaan Air Tanah*. Bandung: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi; 2019. 76 p.
24. Asif AR, Ali SS, Noreen N, Ahmed W, Khan S, Khan MY, et al. Correlation of electrical resistivity of soil with geotechnical engineering parameters at Wattar area district Nowshera, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Journal of Himalayan Earth Sciences*. 2016;49(1):124–30.

25. Sanyoto P, Pieter PE. Peta Geologi Lembar Pontianak/ Nangataman Kalimantan. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi; 1993.
26. Köken E, Özarslan A, Bacak G. Weathering effects on physical properties and material behaviour of granodiorite rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering: From the Past to the Future*. 2016;1:331–6.
27. Reinhart H, Syahri S, Hashifah DG, Hardini LE. Study of Palm Oil Mill Effluent for Land Application Suitability in Lamandau Regency, Kalimantan Tengah Province. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Smart and Innovative Agriculture (ICoSIA 2021)*. 2021. p. 86–92.
28. Suryani, Muliadi, Zulfian. Identifikasi Sebaran Limbah Kelapa Sawit Di Dusun Panepat Desa Kuala Mandor A Menggunakan Metode Geolistrik. *Prisma Fisika*. 2020;8(1):92.
29. Fetter CW. *Applied Hydrology*. Fourth. New Jersey: Prentice Hall; 2001. 533 p.
30. Habib MAB, Yusoff FM, Phang SM, Ang KJ, Mohamed S. Nutritional values of chironomid larvae grown in palm oil mill effluent and algal culture. *Aquaculture*. 1997;158(1–2):95–105.
31. Khairuddin MN, Zakaria AJ, Isa IM, Jol H, Nazri Wan Abdul Rahman WM, Salleh MKS. The potential of treated palm oil mill effluent (Pome) sludge as an organic fertilizer. *Agrivita*. 2016;38(2):142–54.