

Pendugaan Penyebab Keretakan Jalan di Desa Serindang Berdasarkan Interpretasi Data Geolistrik

Viki¹, Azrul Azwar², Zulfian^{2*}, Yudha Arman², Radhitya Perdhana¹,

¹Program Studi Geofisika, FMIPA Universitas Tanjungpura

²Program Studi Fisika, FMIPA Universitas Tanjungpura

e-mail*: zulfian88@gmail.com,

Diterima 14 Oktober 2022

Disetujui 6 Februari 2023

Dipublikasikan 11 Februari 2023

<https://doi.org/10.33369/jkf.5.3.201-210>

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan dan zona lemah daerah keretakan jalan di Desa Serindang, Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat berdasarkan interpretasi data geolistrik. Data penelitian didapatkan dari pengambilan data langsung di lapangan menggunakan alat *automatic resistivitymeter*. Lintasan penelitian berjumlah 4 lintasan dengan spasi elektroda sebesar 3 m. Hasil inversi dari data resistivitas semu menunjukkan sebagian besar tanah di bawah permukaan memiliki resistivitas 2 hingga 440 Ωm . Berdasarkan nilai resistivitas tersebut, diduga bahwa struktur bawah permukaan pada daerah penelitian didominasi lempung, serta adanya jenis tanah lain seperti lanau, lanau berpasir dan pasir kerikil. Dominasi lempung ini menunjukkan adanya zona lemah di bawah permukaan jalan yang diduga menjadi penyebab kerusakan jalan di daerah penelitian.

Kata kunci: Metode geolistrik, struktur bawah permukaan, tanah lempung, zona lemah jalan.

ABSTRACT

This study aims to identify subsurface structures and weak zones of road cracks in Serindang Village, Sambas Regency, West Kalimantan based on geoelectrical data interpretation. Research data obtained from direct data collection in the field using an automatic resistivitymeter. There are 4 research paths with electrode spacing of 3 m. The inversion results of the apparent resistivity data show that most of the subsurface soils have a resistivity of 2 to 440 Ωm . Based on the resistivity value, it is assumed that the subsurface structure in the study area is dominated by clay, as well as the presence of other types of soil such as silt, sandy silt and gravel sand. The dominance of this clay indicates a weak zone under the road surface which is suspected to be the cause of road damage in the research area.

Keywords: Clay soil, geoelectric method, subsurface structure, road weakness zone.

I. PENDAHULUAN

Desa Serindang merupakan salah satu desa di Kecamatan Tebas, Kabupaten Sambas. Pada bulan Juli tahun 2021 telah terjadi kerusakan jalan di Desa Serindang. Kerusakan jalan di daerah tersebut berupa retakan jalan yang membentang sejauh 40 m dengan penurunan jalan akibat jalan yang retak <1 m. Fenomena ini tergolong kejadian yang langka, karena pada daerah tersebut belum pernah mengalami fenomena serupa dan potensi gerakan tanah. Berdasarkan keterangan masyarakat sekitar, diduga fenomena tersebut disebabkan oleh kondisi bawah permukaan jalan yang kurang mendukung. Berdasarkan (1), kerusakan jalan yang terjadi di Desa Serindang tergolong retak memanjang dan disertai dengan penurunan muka jalan.

Kerusakan jalan merupakan salah satu faktor yang dapat menghambat mobilitas masyarakat. Kerusakan tersebut dapat disebabkan oleh faktor manusia seperti pembangunan jalan yang dibawah standar, beban kendaraan yang berlebihan dan rancangan sistem drainase kurang baik (2–4). Selain itu, kerusakan jalan juga dapat terjadi karena faktor alam seperti kondisi spesifik bawah permukaan yang kurang mendukung, adanya deformasi batuan di bawah jalan dan bencana alam (1,5)

Kerusakan jalan dan penurunan muka jalan dapat diidentifikasi menggunakan metode geolistrik

resistivitas. Metode ini memiliki kemampuan menyelidiki keadaan bawah permukaan dengan menggunakan sifat-sifat kelistrikan (resistivitas) batuan (6). Metode ini telah berhasil diterapkan untuk mengidentifikasi lapisan di bawah permukaan jalan yang rusak (7–9). Data geolistrik berupa hasil identifikasi litologi bawah permukaan akan memberikan gambaran jenis dan struktur tanah di bawah permukaan jalan sehingga kerusakan yang terjadi dapat diketahui penyebabnya. Salah satu faktor utama yang diprediksi menyebabkan terjadinya fenomena ini adalah ketidakstabilan tanah yang berada di bawah permukaan jalan yang rusak.

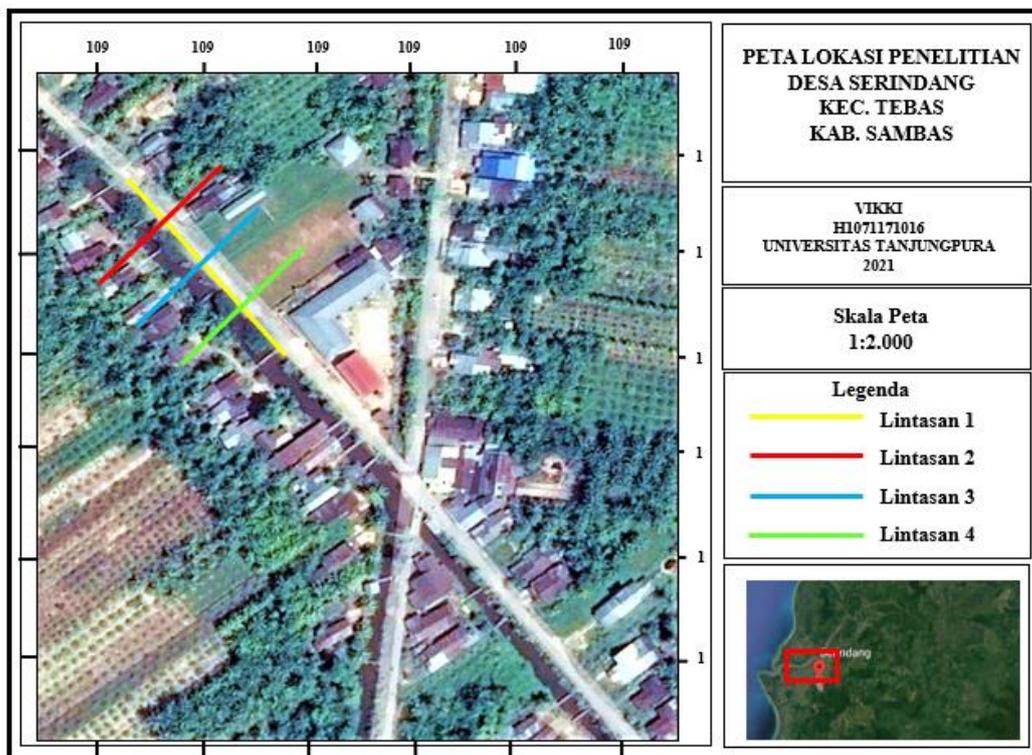
Setiap jenis tanah memiliki ciri khas dan sifat fisik yang berbeda. Dari prinsip tersebut, maka tanah dapat dibedakan berdasarkan resistivitasnya. Tanah dengan resistivitas lebih tinggi memiliki daya dukung lebih baik untuk konstruksi jalan, namun tanah dengan resistivitas lebih rendah dianggap sebagai zona lemah jalan (10). Zona lemah jalan umumnya diidentifikasi sebagai zona dengan nilai resistivitas yang rendah (kurang dari $10 \Omega\text{m}$) dengan kemampuan tanah untuk menahan pembebanan di atasnya tergolong rendah sehingga rentan mengalami kerusakan (8,9). Salah satu jenis tanah yang memiliki resistivitas relatif rendah adalah lempung. Tanah lempung memiliki porositas yang tinggi, namun permeabilitasnya rendah. Selain itu, tanah lempung memiliki sifat ekspansif yang memiliki nilai kembang susut besar dan sangat dipengaruhi oleh air, sehingga tanah lempung dapat menjadi salah satu penyebab ketidakstabilan konstruksi pada jalan (11,12)

Berdasarkan pemaparan mengenai fenomena kerusakan jalan di Desa Serindang, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengidentifikasi lapisan di bawah permukaan tanah di daerah jalan yang mengalami kerusakan tersebut. Informasi mengenai lapisan tanah dapat digunakan untuk menganalisis penyebab kerusakan jalan tersebut. Selanjutnya berdasarkan informasi tersebut dapat dimanfaatkan untuk melakukan perbaikan dan pembangunan jalan di daerah tersebut.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada jalan Serindang, Desa Serindang, Kecamatan Tebas, Kabupaten Sambas, Provinsi Kalimantan Barat (Gambar 1). Pengambilan data geolistrik dilakukan pada tanggal 13 Desember 2021. Jalan Serindang Desa Serindang yang mengalami kerusakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian



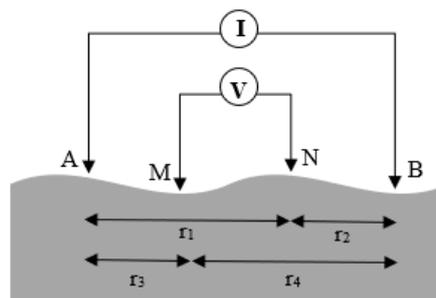
Gambar 2. Dokumentasi kerusakan jalan di Jalan Serindang, Desa Serindang (Dokumentasi pribadi, 2021)

2.2 Akuisisi Data Penelitian

Lintasan penelitian yang digunakan berjumlah 4 lintasan (Gambar 1). Lintasan 1 membentang sepanjang 141 m, sedangkan lintasan 2, 3 dan 4 sepanjang 120 m. Spasi elektroda antar elektroda adalah 3 m. Lintasan 1 ($1^{\circ}08,850$ LU, $109^{\circ}07,781$ BT - $1^{\circ}08,797$ LU, $109^{\circ}07,833$ BT) membentang ke arah 136° N. Lintasan 2 ($1^{\circ}08,789$ LU, $109^{\circ}07,769$ BT - $1^{\circ}08,830$ LU, $109^{\circ}07,819$ BT), lintasan 3 ($1^{\circ}08,785$ LU, $109^{\circ}07,772$ BT - $1^{\circ}08,829$ LU, $109^{\circ}07,822$ BT) dan lintasan 4 ($1^{\circ}08,785$ LU, $109^{\circ}07,772$ BT - $1^{\circ}08,829$ LU, $109^{\circ}07,822$ BT) saling sejajar dan memiliki arah lintasan yang sama yaitu 51° N. Lintasan 2, lintasan 3 dan lintasan 4 didesain memotong lintasan 1. Jarak antara lintasan 2, lintasan 3 dan lintasan 4 terpisah sejauh 15 m. Konfigurasi geolistrik resistivitas yang digunakan pada penelitian ini adalah konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Alat yang digunakan adalah *automatic resistivitymeter*.

2.3. Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik resistivitas umumnya digunakan untuk keperluan eksplorasi dangkal, yaitu pada kedalaman sekitar 0-300 m. Prinsip dasar dalam metode geolistrik resistivitas adalah menginjeksikan arus listrik (1-10 mA) ke dalam bumi melalui sepasang elektroda arus (elektroda A dan B) yang selanjutnya akan memberikan respon berupa beda potensial yang diukur melalui sepasang elektroda potensial (elektroda M dan N). Susunan elektroda metode geolistrik resistivitas dapat diperlihatkan oleh Gambar 3. Dari parameter yang telah didapatkan berupa arus dan beda potensial listrik kemudian akan diperoleh variasi harga resistivitas listrik pada lapisan-lapisan (13,14).



Gambar 3. Susunan elektroda metode geolistrik resistivitas

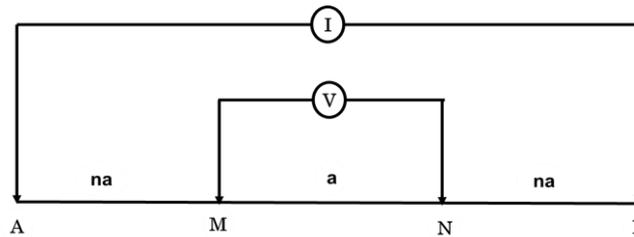
Apabila terdapat elektroda arus A yang terletak pada permukaan suatu medium homogen, terangkai dengan elektroda arus B dan diantaranya ada dua elektroda potensial M dan N yang dibuat dengan jarak tertentu (Gambar 3), maka beda potensial yang berada di dekat titik elektroda tersebut bisa dipengaruhi oleh kedua elektroda arus. Beda potensial tersebut dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \tag{1}$$

dengan I dinyatakan sebagai arus listrik yang terukur (A), ρ adalah resistivitas semu (Ωm) dan $r_1, r_2, r_3,$ dan r_4 adalah jarak antar elektroda (m). Saat penginjeksian arus, maka nilai beda potensial tersebut akan terukur pada alat geolistrik saat pengambilan data di lapangan.

2.4. Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* merupakan konfigurasi yang dapat digunakan untuk mengetahui variasi resistivitas secara lateral (*mapping*) dan variasi resistivitas sebagai fungsi dari kedalaman pada suatu titik pengukuran (*sounding*)(15,16). Pada konfigurasi ini, jarak elektroda antara A-M dan B-N adalah na sedangkan jarak antara M - N adalah a .



Gambar 4. Susunan elektroda konfigurasi *Wenner-Schlumberger*

Pada konfigurasi *Wenner-Schlumberger*, jarak antara elektroda A-M atau B-N adalah $2na+a$ (17). Berdasarkan persamaan (1) dan Gambar 4, maka faktor geometri konfigurasi konfigurasi *Wenner-Schlumberger* ini adalah $K=\pi n(n+1)a$, dengan a jarak spasi elektroda dalam satuan m. Nilai resistivitas semu pada konfigurasi ini dapat dinyatakan sebagai berikut (18).

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \tag{2}$$

$$\rho_a = \pi n(n+1)a \frac{\Delta V}{I} \tag{3}$$

Pada pengolahan data geolistrik berupa pemodelan inversi, nilai resistivitas semu menjadi salah satu data yang akan diinput. Hasil pemodelan inversi berupa penampang resistivitas 2 dimensi (19).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

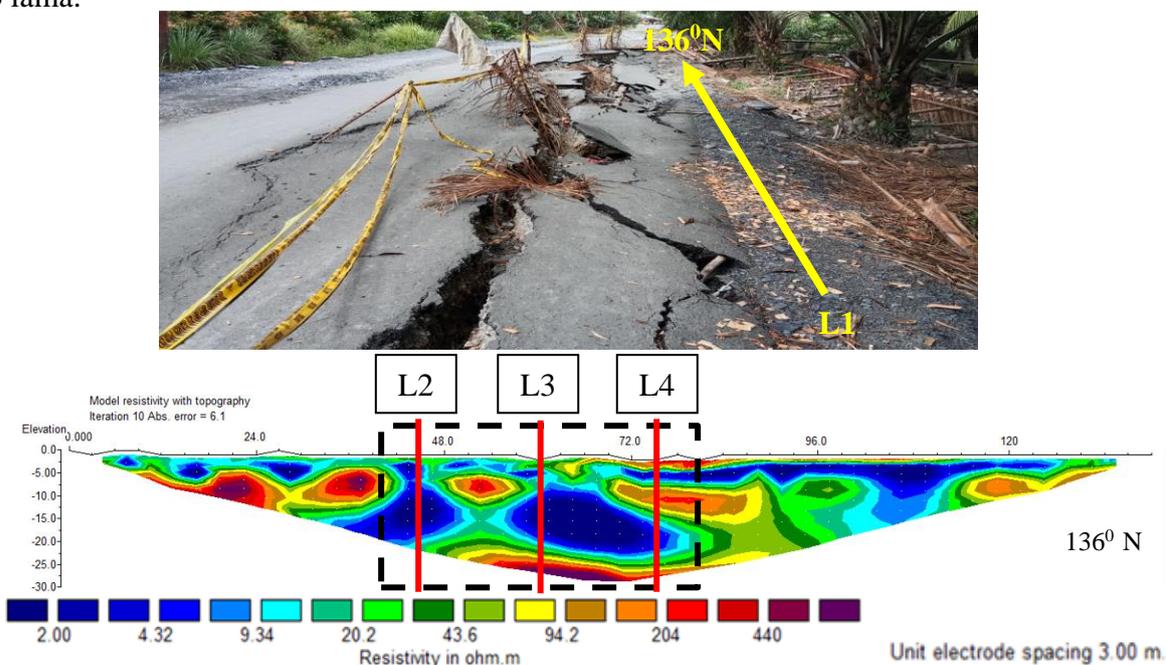
Berdasarkan keterangan dari peta geologi, daerah penelitian merupakan daerah yang berada pada formasi aluvial (Qa) dengan tipe tanah berupa bahan induk endapan liat, pasir dan bahan organik (20). Formasi ini sebagian besar tersusun oleh tanah berbutir halus seperti lempung, lanau, pasir dan kerikil. Objek utama penelitian ini adalah jalan raya yang mengalami kerusakan berupa keretakan besar dan tidak beraturan (Gambar 2). Fenomena ini menyebabkan aspal di permukaan mengalami kerusakan parah dan sebagian besar tertimbun ke dalam tanah.

Data resistivitas yang didapatkan dari pengambilan data di lapangan merupakan data resistivitas semu. Pengolahan data berupa inversi akan memvisualisasikan keadaan bawah permukaan melalui beberapa proses yang menunjukkan nilai observasi, nilai kalkulasi dan hasil akhir berupa selisih antara nilai observasi dan nilai kalkulasi (21). Adapun parameter yang perlu didapatkan adalah kedalaman dan jangkauan wilayah pengukuran.

Keretakan yang cukup besar pada titik-titik tertentu pada jalan mengindikasikan adanya perbedaan daya dukung daya tanah di bawah ambang batas atau dikenal dengan zona lemah. Zona lemah ini akan menjadi indikator penting dalam menentukan pendugaan faktor penyebab kerusakan jalan yang terjadi. Melalui proses inversi, maka didapatkan kedalaman yang terukur dan rentang nilai resistivitas pada setiap lintasan, yaitu; lintasan 1(27,4 m; 2,00-440 Ωm)(Gambar 5), lintasan 2(23,6 m; 2,00-204 Ωm)(Gambar 6a), lintasan 3(23,6 m; 2,00-204 Ωm)(Gambar 6b) dan lintasan 4(5,56 m; 2,00- 204)(Gambar 6c).

Hasil interpretasi terhadap resistivitas batuan bawah permukaan pada lintasan 1-4 menunjukkan secara umum tanah pada semua lintasan di daerah tersebut adalah lempung, lanau, lanau berpasir dan pasir kerikil. Dari posisi permukaan sampai dengan kedalaman relatif jauh (3,95 m; 23,6 m; 23,6 m; 5,56m) tanah yang mendominasi adalah lempung. Tanah jenis lempung dan lanau tersebar merata di sepanjang lintasan dari permukaan sampai dengan kedalaman maksimal penampang. Mineral lempung ini memiliki resistivitas relatif lebih rendah dibanding mineral lain di sekitarnya. Hal ini disebabkan adanya kandungan air yang cukup tinggi, sehingga lapisan ini lebih bersifat konduktif dibandingkan lapisan di sekitarnya. Selain itu, letaknya yang berada di permukaan akan membuat air terakumulasi lebih lama di bagian atas lapisan.

Pada penampang lintasan 1 (Gambar 5), terlihat jelas di sepanjang lintasan lempung dan lanau diterobos oleh lanau berpasir (kedalaman 0-20,3 m), sehingga pada area pencampuran mineral tersebut cenderung memiliki daya dukung lebih baik. Perbedaan kondisi bawah permukaan ini menyebabkan kondisi jalan bervariasi dari normal sampai mengalami kerusakan berat pada permukaan. Pasir kerikil yang memiliki resistivitas lebih tinggi tersebar di beberapa titik mulai dari kedalaman 5,56 m dan terakumulasi mulai dari kedalaman 23,6 m. Kemampuan pasir kerikil yang mampu meloloskan air lebih baik dibanding mineral lain menyebabkan mineral ini memiliki resistivitas cukup tinggi (22). Namun, letaknya yang berada cukup jauh di bagian bawah permukaan menyebabkan aliran fluida cenderung terkonsentrasi pada bagian permukaan dalam waktu yang cukup lama.



Gambar 5. Penampang hasil inversi lintasan 1

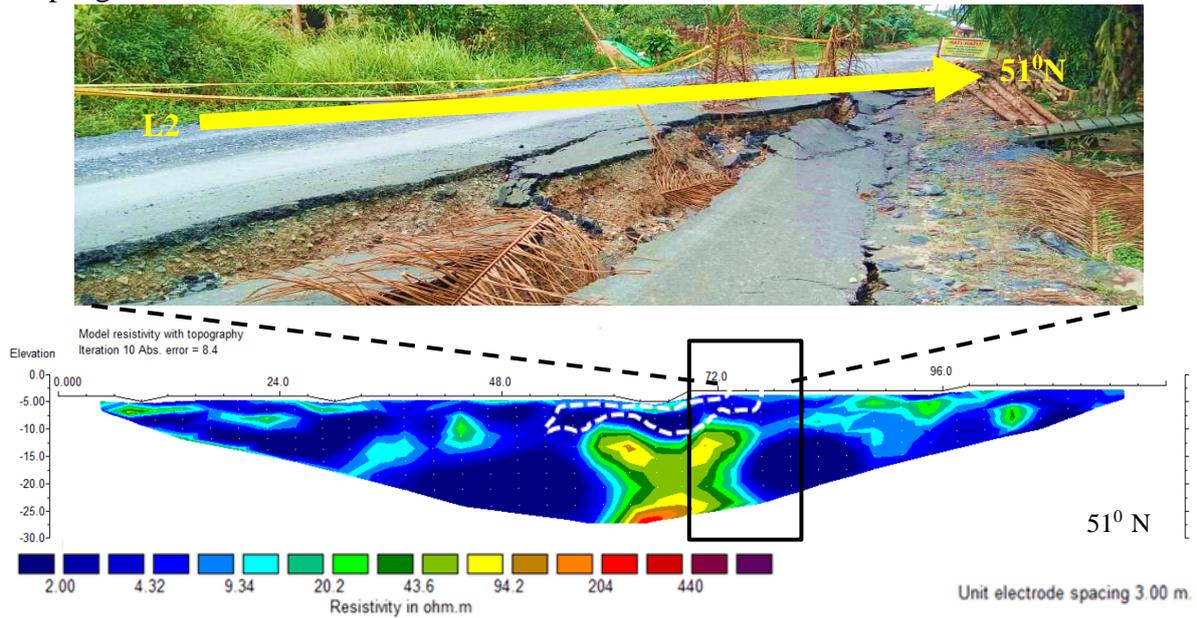
Tabel 1. Sebaran mineral/tanah pada lintasan 1-4

Resistivitas (ohm.m)	Jenis tanah
2,00 – 4,32	Lempung
4,32 – 20,2	Lanau (basah lembek)
20,2 – 94,2	Lanau berpasir
94,20 - 440	Pasir kerikil

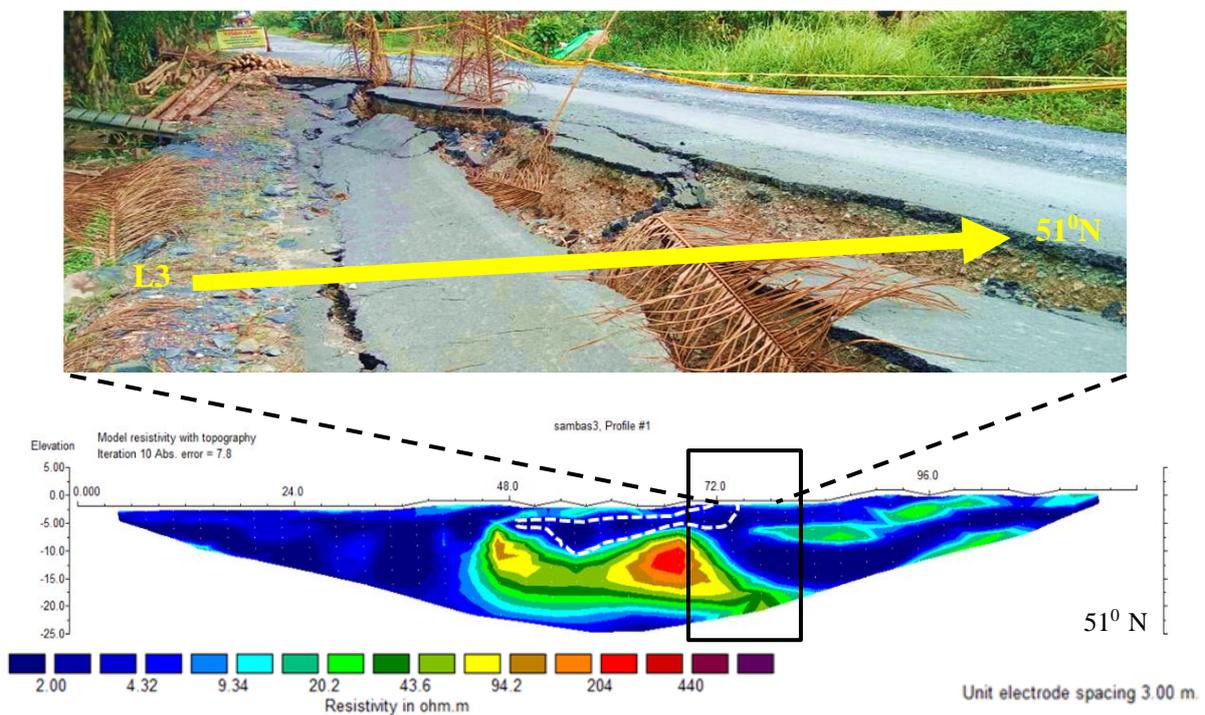
Pada lintasan 2 dan 3, mulai dari kedalaman 7,46 m (3,83 m untuk lintasan 4) lempung tersebut disisipi oleh beberapa mineral lain seperti lanau berpasir yang sebagian besar berada pada jarak 57-75 m (lintasan 2); 45-81 m (lintasan 3) dan 87-99 m (lintasan 4). Indikasi ini menunjukkan bahwa keberadaan lanau berpasir baru terlihat setelah cukup jauh dari permukaan. Mineral ini terlihat jelas memiliki resistivitas relatif lebih tinggi dibanding mineral lempung dan lanau di sekitarnya. Hal ini

disebabkan adanya kandungan pasir pada lanau tersebut yang membuat permeabilitasnya menjadi lebih tinggi. Mineral lain seperti pasir kerikil hanya terakumulasi dalam jumlah yang sangat sedikit dan terletak berpusat pada tanah lanau berpasir di sekitarnya. Pada area tersebut terlihat akumulasi yang cukup besar dan terkonsentrasi.

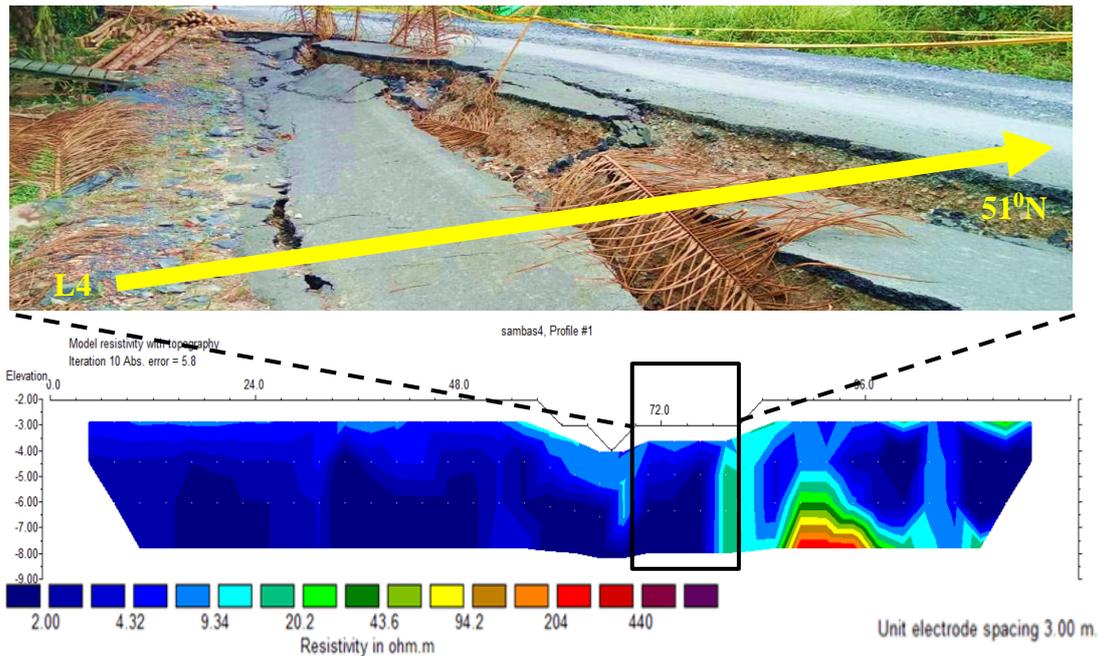
Apabila dilihat dari aspek homogenitas, penyebaran mineral merata di daerah penelitian pada jarak tertentu dipengaruhi oleh morfologi dataran rendah dan rata serta kondisi geologi yang relatif seragam. Homogenitas batuan terlihat cukup jelas pada penampang yang ditunjukkan oleh dominasi mineral lempung di setiap kedalaman dan sepanjang lintasan. Adanya akumulasi lanau berpasir dan pasir kerikil memberikan kontribusi untuk heterogenitas batuan walaupun dalam jumlah yang relatif kecil, seperti pada lintasan 3 yang cukup tinggi. Walaupun heterogenitas pada beberapa lintasan cukup tinggi, namun homogenitas batuan lempung masih terlihat cukup dominan pada semua penampang.



Gambar 6. Penampang inversi lintasan 2



Gambar 7. Penampang inversi lintasan 3



Gambar 8. Penampang inversi lintasan 4

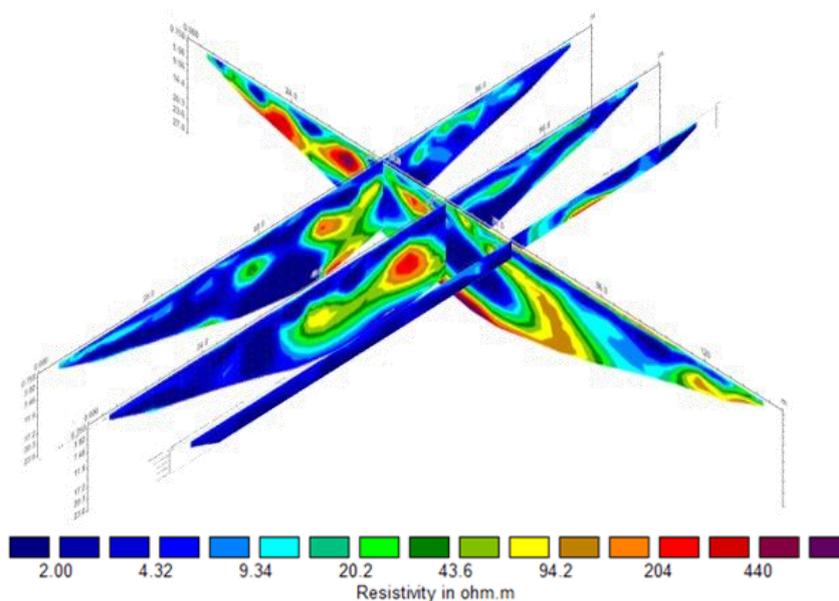
Pada lintasan 1-4, keberadaan lapisan batuan/tanah sebagai zona lemah (berpotensi ambles) diinterpretasikan sebagai lapisan lempung dengan nilai resistivitas $2.00 - 20.02 \Omega\text{m}$. Zona lemah ini terindikasi pada setiap lintasan terutama daerah kerusakan utama jalan yaitu; lintasan 1 (jarak 45- 75 m) dan lintasan 2, 3, 4 (jarak 69-81 m)(kotak hitam pada penampang). Secara umum mineral yang berada di permukaan terutama di daerah kerusakan jalan adalah mineral lempung dengan perlapisan lateral yang disisipi oleh mineral lain seperti lanau, lanau berpasir dan pasir kerikil. Hal ini menyebabkan daerah permukaan yang didominasi oleh mineral lempung di sepanjang permukaan tanah cenderung tidak stabil dan mudah mengalami deformasi (kerusakan). Pada kedalaman di bawahnya, area lintasan masih didominasi lempung dengan sebagian area terdapat sisipan lanau dan lanau berpasir. Dengan kejenuhan yang sedikit lebih rendah lanau dan lanau berpasir memiliki daya dukung lebih baik dalam mendukung lapisan di atasnya.

Dengan butiran yang tergolong sangat halus, tanah lempung memiliki porositas yang tinggi, namun memiliki permeabilitas yang rendah (23). Sifat ini akan memicu air hujan atau air permukaan masuk dengan mudah menuju ke bawah permukaan dan menyerapnya dalam waktu relatif lama. Pada saat mineral lempung dalam kondisi jenuh akan air, mineral akan bersifat agak lunak, mudah hancur dan berubah bentuk secara signifikan, sedangkan pada kondisi kering batuan akan bersifat keras namun lebih rapuh. Adanya perbedaan antara dua kondisi tersebut mengakibatkan tanah lempung rentan mengalami kerusakan apabila diberi pembebanan melebihi daya dukungnya.

Pada kolom kerusakan jalan umumnya tidak ditemukan batuan yang lebih kompak sampai kedalaman 10 m. Mineral yang umumnya ditemukan adalah lanau berpasir dan sedikit pasir kerikil. Campuran pasir dan kerikil yang lebih kasar dibanding lempung memiliki kemampuan yang cukup baik dalam meloloskan air, sehingga tidak mengakumulasi fluida dalam waktu yang lama. Kondisi ini terlihat cukup jelas pada bagian sisi jalan. Dengan daya dukung yang lebih baik dibanding lempung, mineral ini diperkirakan berkontribusi dalam memperkuat konstruksi jalan di atasnya. Namun, mineral ini diestimasikan hanya bisa memberikan sedikit kontribusi untuk memperkuat zona lemah pada area tersebut. Lapisan lempung pada daerah ini yang relatif tebal dan bervolume cukup besar menjadikannya dominan mengontrol zona lemah (amblesan) tersebut.

Pada kolom kerusakan jalan, dari permukaan sampai dengan kedalaman 15 - 20 m terdapat pola kontinu mineral lempung, pola tersebut terlihat menjurus sampai ke bagian bawah kolom kerusakan,

sehingga tekanan yang diterima pada kolom tersebut lebih besar dibanding bagian lainnya. Bagian ini terlihat kontras dengan bagian tepi jalan dan daerah di luar jalan. Pada daerah kerusakan jalan hampir seluruhnya terisi oleh lempung dengan daerah yang memiliki kontras tertinggi ditunjukkan pada jarak 72-75 m, sedangkan di bagian tepi jalan lempung bercampur dengan jenis tanah lain. Pada rentang ini pola kontinuitas lempung terlihat jelas pada bagian permukaan dan bagian di bawahnya sehingga pada rentang tersebut merupakan zona lemah jalan. Hal ini juga didukung oleh bagian kerusakan jalan yang tergolong parah terdapat pada zona lemah jalan tersebut.



Gambar 9. Hasil korelasi penampang litologi bawah permukaan pada lintasan 1–4

Dari Gambar 9, lintasan 1 dari jarak 57-75 m merupakan bagian dari area kerusakan jalan. Dari penampang resistivitas lintasan 1, pada kedalaman 5-20 m diduga terdapat konsentrasi fluida yang cukup besar, sedangkan pada lintasan 2, 3 dan 4 yang memotong terlihat penjurusan kontinu mengarah ke sisi kiri penampang terutama pada area kerusakan jalan diduga sebagai aliran fluida. Konsentrasi fluida tersebut diperkirakan diakumulasi oleh tanah lempung pada kolom tersebut. Kondisi tersebut tampak jarak 72-78 m yang merupakan alur utama jalan dan pada bagian bawah permukaannya terdapat pola penyebaran dan penjurusan lempung sampai ke bagian terbawah penampang. Adanya kandungan lempung yang cukup tinggi pada bagian permukaan menyebabkan tanah cenderung mudah mengalami perubahan. Fluida yang terdapat pada tanah lempung tersebut juga sulit mengalami migrasi, disebabkan oleh permeabilitas lempung yang sangat rendah. Sifat lempung yang ekspansif dan tingkat plastisitas tinggi menyebabkan ketidakstabilan pada konstruksi di bagian atas jalan, sehingga perubahan bentuk lempung bisa dipengaruhi oleh aktivitas transpor fluida di dalamnya.

Tingginya kandungan fluida pada lempung diduga sebagai salah satu pendorong utama dari ketidakstabilan zona tersebut (24). Akumulasi fluida secara vertikal pada kolom kerusakan jalan membuat penunjaman pada kolom tersebut, sehingga bagian permukaan jalan menunjukkan kondisi berbeda jauh yaitu berupa keretakan besar. Sedangkan, adanya akumulasi mineral lain berupa lanau dan lanau berpasir pada permukaan menyebabkan perbedaan kondisi jalan, berupa daerah yang ditopang oleh mineral tersebut tidak mengalami kerusakan atau hanya sampai kerusakan ringan.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1. Simpulan

Mineral penyusun pada daerah penelitian terdiri atas lempung, lanau, lanau berpasir dan pasir kerikil. Dominasi lempung di setiap lintasan sangat terlihat jelas pada setiap lintasan yang diduga sebagai penyebab utama dari kerusakan jalan di Desa Serindang. Dengan nilai resistivitas yang rendah, lempung ini diidentifikasi sebagai zona lemah jalan. Hal ini didukung oleh keretakan yang

terjadi searah dengan pola penunjaman lempung ke arah parit di daerah penelitian. Selain itu, tidak adanya batuan keras di permukaan sebagai pendukung konstruksi jalan menambah dampak kerusakan jalan di daerah tersebut.

4.2. Saran

Pendugaan untuk memastikan struktur pada daerah kerusakan jalan sudah memperhatikan berbagai parameter terkait, namun diperlukan metode lain seperti uji sampel dan pengeboran tanah sebagai data validasi. Sebagai bentuk tindak lanjut dari identifikasi yang telah dilakukan, sebaiknya pada ruas jalan di daerah tersebut dilakukan penguatan konstruksi sisi jalan seperti pemasangan turap beton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak *Comdev and Outreaching* Universitas Tanjungpura dan Dirjen Belmawa Kemendikbudristek yang telah memberikan bantuan beasiswa dan memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pandey SV. Kerusakan Jalan Daerah akibat Beban Overloading. *J Tekno*. 2013;11(58):1–14.
2. Kalangit SVN, Manoppo FJ, Lumeno SS. Model Pengelolaan Risiko pada Pembangunan Jalan Lingkar Utara Siau Guna Peningkatan Kinerja Proyek. *J Sipil Statik*. 2018;7(1):1–14.
3. Sari DN. Analisa Beban Kendaraan erhadap Derajat Kerusakan Jalan dan Umur Sisa (Studi Kasus: PPT. Senawar jaya Sumatera Selatan). *J Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2014;2(4):615–20.
4. Muliawan W. Dampak Genangan Air Hujan terhadap Kondisi Jalan Antasura di Kecamatan Denpasar Timur. *PADURAKSA: J Teknik Sipil Universitas Warmadewa*. 2019;8(1):44–50.
5. Udiana IM, Saudale AR, Pah JJS. Analisa Faktor Penyebab Kerusakan Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan WJ Lalamentik dan Ruas Jalan Gor Flobamora). *J Teknik Sipil*. 2014;3(1):13–8.
6. Vaidila N. Penentuan Arah Fluida Panas Bawah Permukaan di Obyek Wisata Guci Menggunakan Metode Self Potential. *J Unnes Physics Journal*. 2015;4(2):16–28.
7. Apriany R, Muliadi M, Zulfian Z. Analisis Struktur Bawah Permukaan Tanah Daerah Rawan Kerusakan Jalan di Tanjakan Semboja Kabupaten Sanggau dengan Metode Geolistrik Resistivitas. *J Prisma Fisika*. 2021;9(1):21–9.
8. Supriyanto S. Identifikasi Zona Lemah di Jalan Poros Samarinda Bontang dengan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner Schlumberger. *J Geosains Kutai Basin*. 2021;4(1):1–7.
9. Sehad S, Murwiyanti T, Raharjo SA. Identifikasi Zona Lemah pada Ruas Jalan Utama Ajibarang - Gumelar Kabupaten Banyumas Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas. *J Teras Fisika: Teori, Modeling, dan Aplikasi Fisika*. 2020;3(1):1-14
10. Yuspancana BD, Purwanto MS, Bahri AS, Utama W. Integrasi Data Resistivitas 2D dengan Parameter Fisis dan Mekanis Tanah Untuk Evaluasi Daya Dukung Tanah (Studi Kasus: Ruas Jalan Kawasan Jiipe, Manyar, Gresik). *J Geosaintek*. 2019;5(2):85–90.
11. Lestari IGA. Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif (Studi Kasus di Desa Tanah Awu, Lombok Tengah). *J Ganec Swara*. 2014;8(2):15–9.
12. Juansyah Y. Analisa Karakteristik Tanah Timbunan Ditinjau dari Hubungan Gradasi Butiran Tanah dengan Nilai CBR Rendaman dan Tanpa Rendaman. *Rekayasa: J Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*. 2016;20(1):13–22.

13. Munaji M, Imam S, Lutfinur I. Penentuan Tahanan Jenis Batuan Andesit Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger (Studi Kasus Desa Polosiri). *J Fisika Unnes*. 2013;3(2):117-121.
14. Santoso D. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: Penerbit ITB; 2002.
15. Usman B, Manrulu RH, Nurfaalq A, Rohayu E. Identifikasi Akuifer Air Tanah Kota Palopo Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger. *J Fisika Flux*. 2017;14(2):65–72.
16. Wijaya AS. Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Untuk Menentukan Struktur Tanah di Halaman Belakang SCC ITS Surabaya. *J Fisika Indonesia*. 2015;19(55):1–5.
17. Kanata B, Zubaidah T. Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner-Schlumberger untuk Survey Pipa Bawah Permukaan. *J Teknologi Elektro*. 2008;7(2):84–91.
18. Telford WM, Geldart LP, Sheriff RE. *Applied Geophysics, Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press; 1990.
19. Zulfian Z. Aplikasi Metode Geolistrik dalam Pendugaan Ketebalan Lapisan Tanah Gambut (Studi Kasus: Daerah di Sekitar Jl. Perdana, Kota Pontianak). *J Kumparan Fisika*. 2022;5(1):55–62.
20. Marjuni M, Wahyono SC, Siregar SS. Identifikasi Litologi Bawah Permukaan dengan Metode Geolistrik pada Jalan Trans Kalimantan yang Melewati Daerah Rawa di Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan. *J Fisika Flux*. 2015;12(1):54–62.
21. Loke MH, Barker RD. Least-Squares Deconvolution of Apparent Resistivity Pseudosections. *Geophysics*. 1995;60(6):1682–1690.
22. Suryo EA, Suroso S, Zaika Y, Ato'urrahman M. Pengaruh Kepadatan dan Kadar Air Tanah Pasir terhadap Nilai Resistivitas pada Model Fisik dengan Metode Geolistrik. *J Rekayasa Sipil*. 2017;10(3):178–186.
23. Mulyono A, Lestiana H, Fadilah A. Permeabilitas Tanah Berbagai Tipe Penggunaan Lahan di Tanah Aluvial Pesisir DAS Cimanuk, Indramayu. *J Ilmu Lingkungan*. 2019;17(1):1–6.
24. Supeno NP, Halik G. Penentuan Struktur Bawah Permukaan Daerah Rawan Longsor Berdasarkan Interpretasi Data Resistivitas. *J Ilmu Dasar*. 2008;9(1):48–55.