

JUDUL:

APLIKASI METODE *FLAT BASE ELECTRICAL RESISTIVITY SURVEY* UNTUK MENGETAHUI KERUSAKAN DI JALAN TERUSAN RYACUDU LAMPUNG SELATAN

F. D. Putra ^{a)*}, A. Y. Paembonan ^{a)}, R. Rizki ^{a)}

Jurusan Teknik Manufaktur dan Mineral, Program Studi Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sumatera ^{a)}

e-mail : Felik.12116007@student.itera.ac.id

Abstrak. Telah dilakukan penelitian pada Jalan Raya Terusan Ryacudu Lampung Selatan menggunakan data *Flat Base Electrical Resistivity Survey* dengan tujuan untuk mengetahui faktor penyebab kerusakan jalan yang terjadi di lokasi tersebut. Jalan Terusan Ryacudu merupakan akses keluar masuknya kendaraan yang menghubungkan kota Bandarlampung dengan pintu masuk tol Itera-Kotabaru yang ditemukan banyak titik kerusakan pada permukaan aspal yang dapat memicu munculnya permasalahan di lokasi tersebut. Berdasarkan penampang 2D pada daerah penelitian ini memiliki persebaran nilai resistivitas yang relatif tinggi antara 1000-5000 ohm.m dan didominasi oleh nilai resistivitas dari lapisan batuan tuff yang merupakan batuan yang mendominasi lokasi penelitian ini namun di beberapa titik ditemukan adanya sebaran nilai resistivitas yang cenderung lebih rendah yang diakibatkan oleh adanya proses pemadatan material yang kurang sempurna saat proses pembuatan jalan. Pada penampang 2D resistivitas di lokasi ini juga ditemukan adanya sebaran nilai resistivitas yang cukup rendah dengan nilai 16-80 ohm.m yang diindikasikan sebagai batuan tuff yang proses pemadatannya tidak sempurna dan mengalami infiltrasi oleh adanya air yang letaknya berada di bawah titik yang mengalami kerusakan berupa lubang di permukaan aspal. Secara umum kerusakan yang muncul pada lokasi ini diakibatkan oleh adanya proses pemadatan material jalan yang tidak sempurna dan adanya proses infiltrasi oleh air terutama air hujan.

Kata kunci: Kerusakan Jalan, *Flat Base Electrical Resistivity Survey*, Resistivitas 2D

Abstract. *The research has been conducted on the Terusan Ryacudu Highway in South Lampung using Flat Base Electrical Resistivity Survey data to determine the factors causing road damage that occurred in that location. Terusan Ryacudu highway is the main access for vehicles that connect the city of Bandarlampung with the entrance of the Itera-Kotabaru toll road, which found many points of damage on the surface of the Asphalt that can trigger problems in that location. Based on cross section of 2D resistivity in this study area has a relatively high layer of resistivity between 1000-5000 ohm.m and is dominated by the resistivity value of the tuff layer which is a layer that dominated the location of this study area, but at some points found the distribution of resistivity values that tend to be more low due to imperfect material compaction during the road construction process. In 2D resistivity section in this location also found a fairly low resistivity value distribution with a value of 16-80 ohm.m which is indicated as a rock tuff which process is imperfect compacting and infiltrated by the presence of water that is located below the point of damage in the form of hole in the surface of asphalt. In general, the damage that arises at this location is caused by the process of imperfect compaction of road materials and the process of infiltration by water, especially rain water.*

Keywords: Road Damage, *Flat Base Electrical Resistivity Survey*, 2D Resistivity

PENDAHULUAN

Jalan raya Terusan Ryacudu merupakan salah satu infrastruktur vital yang terdapat di kabupaten Lampung Selatan yang keberadaannya sangat menunjang kebutuhan ekonomi dan sosial masyarakat disana (Grigg, 1988). Akan tetapi kondisi jalan ini tidak lepas dari permasalahan seperti munculnya lubang dan kerusakan aspal yang selalu terjadi setiap tahunnya. Kerusakan yang

muncul pada jalan raya ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor seperti geologi bawah permukaan, drainase dan pembebanan volume kendaraan (Arta, 2017)

Akibat dari sering munculnya masalah tersebut, maka dilakukanlah penelitian untuk mengidentifikasi faktor yang menjadi pemicu munculnya kerusakan yang sering terjadi di jalan terusan Ryacudu. Salah satu solusi yang dapat

digunakan untuk menemukan dan mengidentifikasi faktor yang mampu memicu munculnya kerusakan di jalan adalah dengan menggunakan metode geofisika terutama metode geolistrik resistivitas. Tetapi sangat sulit untuk mengaplikasikan metode tahanan jenis secara konvensional di jalan raya karena lokasinya yang sulit ditancapkan elektroda membuat pengukuran hanya dapat dilakukan di pinggiran jalan yang mudah diukur sehingga data dari titik yang kita ingin dapatkan menjadi kurang akurat. Karena adanya keterbatasan pada metode resistivitas konvensional maka solusi yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan dan mengaplikasikan metode *Flat Base Electrical Resistivity Survey* (FBERS) pada titik jalan yang rusak maupun mengalami permasalahan (Athanasios, 2007).

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh E.N. Athanasios tahun 2007, metode *Flat Base Electrical Resistivity Survey* (FBERS) sangat efektif dan cocok digunakan untuk melakukan identifikasi kondisi bawah permukaan pada lokasi yang sulit untuk menggunakan metode resistivitas secara konvensional. Metode ini dapat digunakan langsung di lokasi yang mengalami kerusakan tanpa harus melakukan penancapan elektroda pada permukaan lokasi pengukuran dan memiliki hasil gambaran nilai resistivitas yang cukup akurat dan tidak jauh berbeda dengan menggunakan metode resistivitas konvensional.

Penelitian ini sendiri bertujuan untuk mengetahui faktor yang menjadi penyebab utama dari kerusakan jalan dan aspal yang sering terjadi di Jalan Terusan Ryacudu Lampung Selatan.

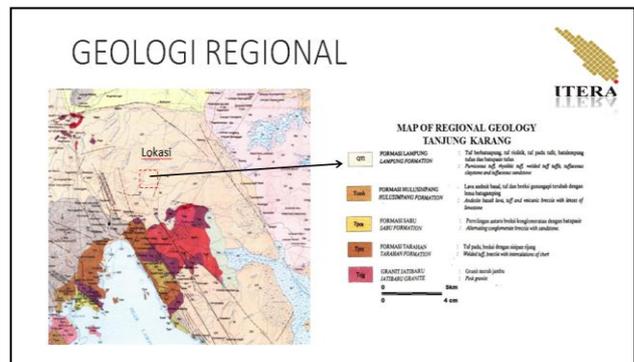


Gambar 1. Kerusakan yang muncul di Jalan Terusan Ryacudu, Lampung Selatan

TINJAUAN PUSTAKA

Geologi Regional

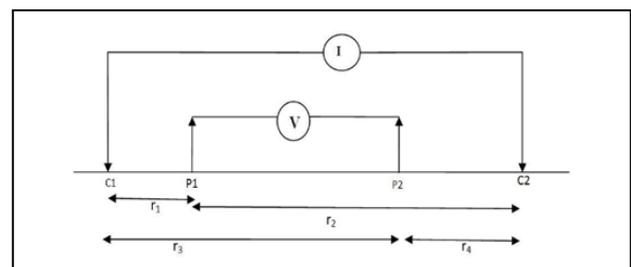
Geologi regional Jalan Terusan Ryacudu termasuk dalam lembar Tanjung Karang (Mangga et al, 1993). Secara stratigrafi daerah penelitian ini termasuk dalam Formasi Lampung yang didominasi oleh batuan vulkanik piroklastik hasil dari letusan gunung api dengan litologi batuan yang didominasi oleh batuan tuff, tuff pasiran dan tuff lempungan.



Gambar 2. Geologi Regional (Mangga et al, 1993). dan lokasi Penelitian

Metode Resistivitas

Metode geolistrik tahanan jenis (*resistivity*) merupakan suatu metode pendugaan kondisi bawah permukaan bumi dengan memanfaatkan injeksi arus listrik ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, kemudian beda potensial yang terjadi diukur dengan menggunakan dua elektroda potensial. Metode ini memanfaatkan sifat kelistrikan dari batuan untuk mengetahui variasi nilai tahanan jenis di bawah permukaan bumi baik secara vertikal maupun horizontal (Telford et.al, 1990).



Gambar 3. konsep dua elektroda arus dan potensial terletak di permukaan tanah homogen isotropis dengan tahanan jenis p (Mannulu, 2018)

Pada metode geolistrik nilai resistivitas yang diperoleh sangat bergantung pada posisi dan konfigurasi elektroda arus dan potensial seperti yang dijelaskan di Gambar 3. Pengaruh konfigurasi tersebut terkait dengan adanya faktor geometri dari masing-masing konfigurasi yang memiliki nilai yang berbeda. Sehingga solusi umum untuk nilai resistivitas yang diperoleh dengan mempertimbangkan nilai faktor geometri konfigurasi sebagai berikut:

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

Pada penelitian ini Konfigurasi elektroda yang digunakan adalah Konfigurasi Wenner. Dimana untuk menentukan besarnya nilai faktor geometri dari konfigurasi Wenner adalah sebagai Berikut:

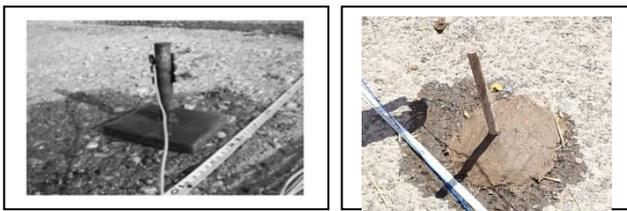
$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{a}\right)} = 2\pi a \quad (2)$$

Sehingga Diperoleh persamaan umum resistivitas dengan menggunakan Konfigurasi Wenner akan sama dengan:

$$\rho = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

Metode Flat Base Electrical Resistivity

Metode *flat base electrode* atau yang lebih dikenal dengan metode elektroda pipih merupakan salah satu metode geolistrik tahanan jenis (*resistivity*) yang tergolong sebagai metode yang aman dan ramah karena bersifat *non-destructive* dikarenakan penggunaan elektroda yang pipih sehingga tidak perlu melakukan pemasangan secara konvensional atau ditancapkan ke tanah.



Gambar 4. Elektroda Flat base (E.N. Athanasiou, 2007)

Prinsip kerja dari metode ini pada dasarnya sama dengan prinsip kerja dari elektroda tiang (tancap) hanya yang menjadi pembeda adalah posisi dari elektroda yang tidak perlu ditancapkan dan dalam penerapannya diperlukan bantuan dari larutan

elektrolit untuk membuat medium dari permukaan lokasi penelitian menjadi lebih lembab dan mampu menghantarkan listrik lebih baik.

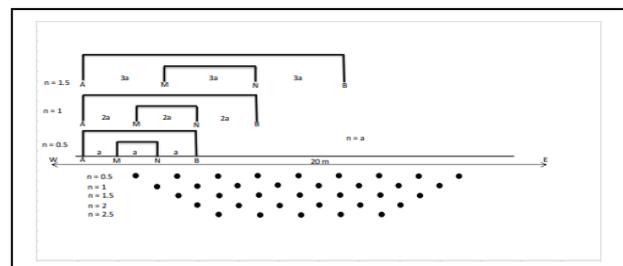
METODOLOGI

Lokasi penelitian berada di Jalan Terusan Ryacudu dan jalan depan gedung E Institut Teknologi Sumatera yang berada di desa Wayhui, Kabupaten Lampung Selatan dengan luas wilayah penelitian 1 km².



Gambar 5. Lokasi penelitian (garis berwarna merah merupakan lintasan yang digunakan dalam proses pengambilan data)

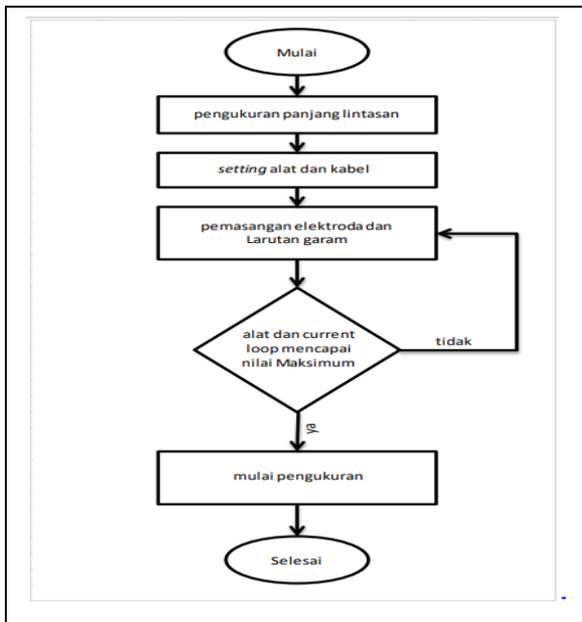
Data yang digunakan dalam penelitian kali ini meliputi data primer dan sekunder, untuk data sekunder yang digunakan merupakan data kenampakan di permukaan dan data kondisi lingkungan tempat dilakukannya pengukuran. Sedangkan data primer diambil langsung di lokasi dengan menggunakan pengukuran resistivitas profiling 2D menggunakan 4 buah elektroda flat base pada 3 lintasan dengan panjang total lintasan 20m.



Gambar 6. Desain Survei yang digunakan

Alat alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Main unit Naniura
2. Kabel
3. Elektroda pipih (Flat base)
4. Aki
5. Meteran
6. Larutan elektrolit
7. GPS



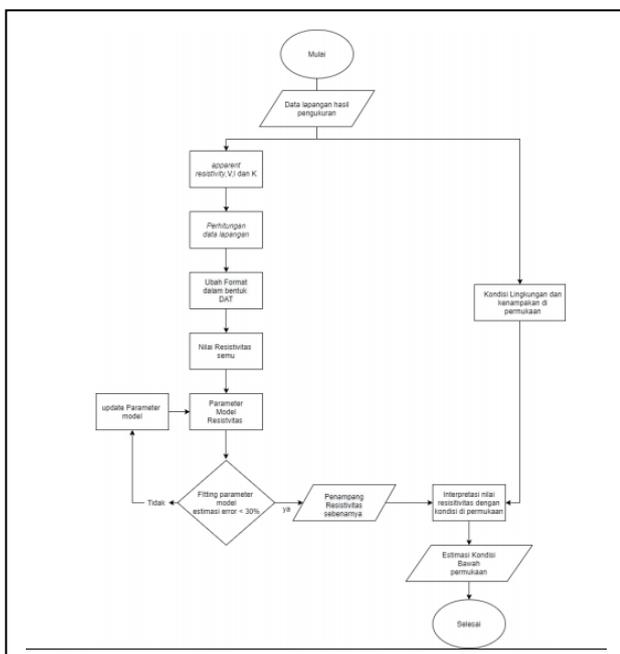
Gambar 7. Diagram alir pengambilan data lapangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Metode *Flat Base*

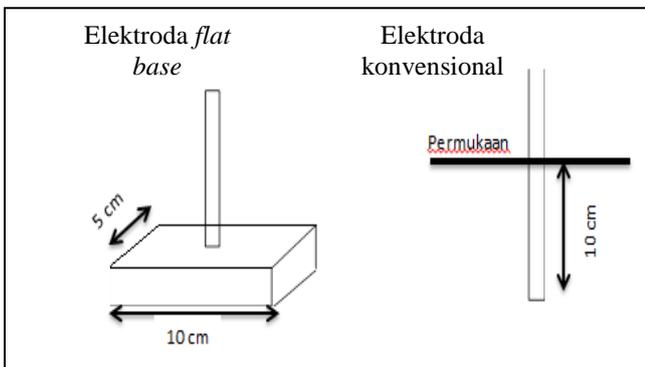
Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh beberapa peneliti di bidang geofisika terutama di bidang geoteknik, penggunaan metode flat base merupakan salah satu metode yang efektif dan baik digunakan untuk melihat dan menginvestigasi lapisan bawah permukaan pada daerah yang sulit diterapkan metode resistivitas konvensional. Selain karena dapat langsung mengukur di lokasi yang mengalami permasalahan, gambaran dan nilai resistivitas yang didapatkan dari metode ini memiliki akurasi dan korelasi nilai yang mendekati hasil yang didapatkan dengan menggunakan metode resistivitas konvensional.

Akan tetapi menurut analisa yang sudah dilakukan oleh E.N. Athanasiou dan tim dari Yunani, ditemukan adanya permasalahan yang muncul salah satunya adalah hasil dari nilai resistivitas yang didapatkan dengan menggunakan metode *Flat Base Electrical resistivity* ini cenderung bernilai sedikit lebih besar (resisten) dibandingkan dengan menggunakan metode konvensional hal ini diakibatkan oleh adanya efek dari perbesaran dan perubahan dari jarak kontak resistansi efektif elektroda dengan medium permukaan. Pada dasarnya medium kontak tidak selalu menjadi faktor utama yang memicu munculnya perubahan nilai resistivitas, akan tetapi untuk memperkecil peluang tersebut dapat dilakukannya penyesuaian nilai kontak resistansi efektif dengan membuat ukuran dan spesifikasi dari elektroda pipih yang akan digunakan mendekati nilai kontak dari elektroda konvensional. Oleh karena itu untuk mengurangi permasalahan muncul, pada penelitian dilakukan penyesuaian pada ukuran elektroda *Flat Base* menggunakan ukuran yang sudah digunakan pada penelitian sebelumnya (E.N. Athanasiou, 2007) yaitu dengan menggunakan spesifikasi elektroda tembaga dengan ukuran 10 cm x 5 cm. Menurut penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya untuk ukuran elektroda pipih dengan spesifikasi 10 cm x 5 cm hasil yang didapatkan akan sama dengan penggunaan elektroda konvensional dengan



Gambar 8. Diagram alir pengolahan data

diameter 1.5 cm yang ditancapkan ke medium dengan kedalaman 10 cm dari permukaan. Dengan menggunakan spesifikasi tersebut diharapkan hasil yang akan didapatkan pada metode *Flat Base Electrical resistivity* akan mendekati hasil yang didapatkan dengan menggunakan metode konvensional.



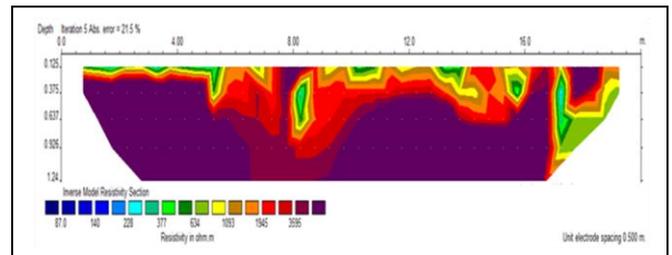
Gambar 9. perbandingan ukuran elektroda

Selain itu penggunaan larutan elektrolit juga dapat membantu mengurangi perubahan nilai resistivitas yang menjadi lebih besar yang sering muncul dalam pengukuran menggunakan metode ini. Karena besarnya nilai kontak resistansi efektif juga dapat dipengaruhi oleh adanya *moisture contact* atau kelembaban dan kadar air yang terkandung di dalam suatu medium (E.N. Athanasiou, et al. 2007) yang mengakibatkan semakin rendah kadar air dan kelembaban pada suatu medium dapat membuat nilai dari resistansi dari medium tersebut menjadi semakin tinggi. Sehingga dengan menggunakan bantuan dari larutan elektrolit dapat membantu meningkatkan kadar air dan kelembaban pada lokasi dan membuat medium jalan menjadi lebih konduktif dan mudah untuk dilakukan injeksi arus.

Pada penelitian kali ini digunakan bantuan larutan elektrolit yang terbuat dari campuran air garam dan tanah liat yang digunakan sebagai bidang kontak antara elektroda dan permukaan medium jalan yang akan dilakukan pengukuran. Dengan menambahkan dan menyemprotkan larutan garam ke permukaan aspal mampu membuat medium aspal yang sifatnya isolator dan sulit di injeksikan

arus menjadi lebih konduktif dan mampu mengalirkan arus yang diinjeksikan ke bawah permukaan dengan lebih efektif. Lalu dengan menambahkan tanah yang dicampurkan dengan larutan garam membuat kontak antara elektroda dengan permukaan aspal menjadi lebih baik sehingga pada saat pengukuran arus dapat diinjeksikan lebih optimal.

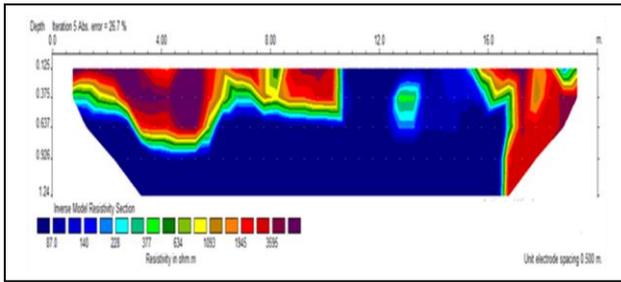
Penampang Resistivitas 2D



Gambar 10. Penampang Lintasan 1

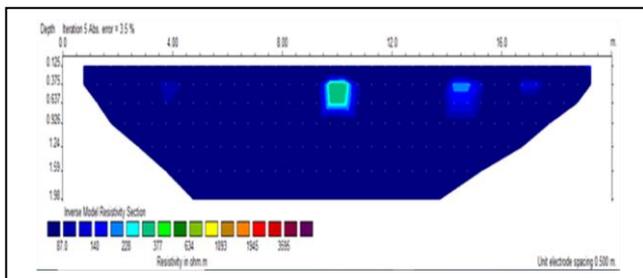
Gambar 10 memperlihatkan penampang 2D bawah permukaan sepanjang Lintasan 1 dengan ketinggian antara 87 mdpl dan kedalaman yang dicapai adalah 1.5 meter dengan panjang bentangan 20 meter dan menggunakan Konfigurasi Wenner. Pengukuran lapangan dilakukan pada tanggal 29 juni 2020 dengan kondisi lingkungan kering dan cuaca cerah sepanjang hari.

Pada lintasan ini dapat terlihat adanya persebaran nilai resistivitas yang cukup beragam namun masih didominasi oleh lapisan dengan nilai resistivitas yang cukup tinggi >1000 ohm.m. Untuk lapisan paling atas pada kedalaman yang relatif dangkal (0.5m) didominasi oleh lapisan dengan nilai resistivitas medium rendah dengan nilai resistivitas antara 244-977 ohm.m, lalu di bawahnya cenderung memiliki nilai yang lebih besar berkisar dari 1000-5500 ohm.m dengan ketebalan kurang lebih 1 meter.



Gambar 11. Penampang Lintasan 2

Gambar 11 memperlihatkan penampang 2D bawah permukaan sepanjang Lintasan 2 dengan ketinggian antara 87 mdpl dan kedalaman yang dicapai adalah 1.5 meter dengan jarak bentangan 20 meter menggunakan konfigurasi wenner. Pengukuran lapangan dilakukan pada tanggal 30 juni 2020 dengan kondisi pengukuran dilakukan pada 2 tahap yaitu pada saat kering dan 30 menit setelah hujan sehingga pada lokasi ini persebaran nilai resistivitas bawah permukaan terbagi menjadi 2 yaitu lapisan dengan nilai resistivitas tinggi dan rendah. Pada lintasan 2 memiliki rentangan nilai tahanan jenis dari 16 - 5000 ohm.m. Pada lintasan ini dapat terlihat adanya persebaran nilai resistivitas yang terbagi menjadi 2 lapisan utama yaitu lapisan dengan nilai resistivitas yang cukup tinggi >1000 ohm.m dan lapisan dengan nilai resistivitas rendah pada 16-200 ohm.m. Untuk lapisan paling atas pada kedalaman sampai dengan 0.7 meter didominasi oleh lapisan dengan nilai resistivitas relatif lebih tinggi dengan nilai resistivitas antara 1000-5000 ohm.m, lalu dibawahnya cenderung memiliki nilai yang lebih rendah berkisar dari 16-200 ohm.m dengan ketebalan kurang lebih 0.8 meter.



Gambar 12. Penampang Lintasan 3

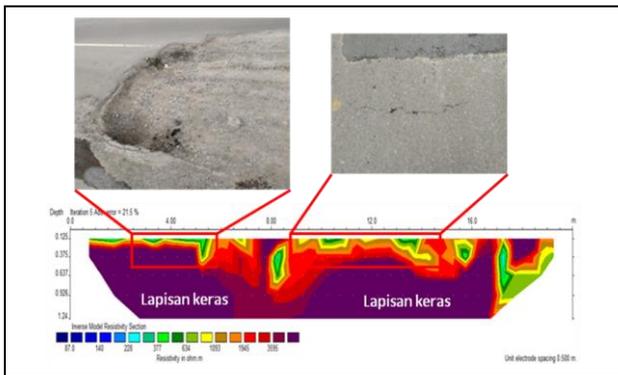
Gambar 12 memperlihatkan penampang 2D bawah permukaan sepanjang Lintasan 3 dengan ketinggian antara 85 mdpl dan kedalaman yang dicapai adalah 2 m dengan jarak bentangan 20 meter menggunakan konfigurasi wenner. Pengukuran lapangan dilakukan pada bulan maret 2020 dengan kondisi pengukuran dilakukan pada kondisi 30 menit setelah hujan. Pada lintasan 3 memiliki rentangan nilai tahanan jenis dari 16 - 300 ohm.m. Pada lintasan ini dapat terlihat adanya persebaran nilai resistivitas yang cenderung didominasi oleh lapisan memiliki nilai resistivitas yang relatif rendah pada rentang nilai 38-72 ohm.m.

Analisis Penampang Resistivitas

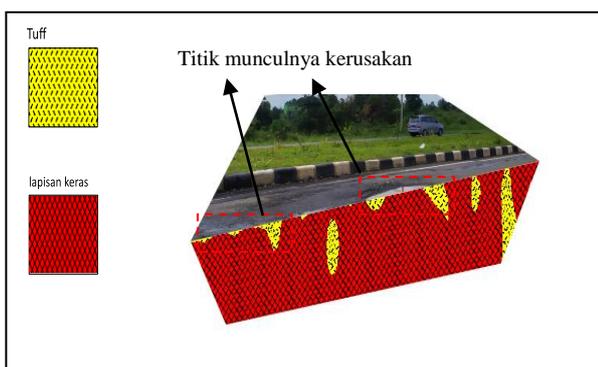
Dari data sekunder berupa data geologi dan data lingkungan serta kenampakan di permukaan pada ini, diketahui bahwa area pengukuran tersusun pada Formasi Lampung yang didominasi oleh litologi batuan berupa batuan tuff, tuff lempungan dan tuff pasir. Sedangkan berdasarkan pengamatan yang dilakukan di lapangan sebagian besar litologi yang menjadi batuan yang mendominasi daerah penelitian merupakan batuan tuff dan tuff pasir dengan nilai resistivitas sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai resistivitas batuan tuff di ITERA

jenis batuan	nilai resistivitas	penulis
lempung tuffaan	< 20 Ωm	(Rizka & Satiawan,2019)
pasir tuffan	20 – 80 Ωm	(Rizka & Satiawan,2019)
tuff	80 - 150 Ωm	(Rizka & Satiawan,2019)
tuff kompak	>150 Ωm	(Rizka & Satiawan,2019)
lempung tuffan (basah)	4.5 - 15 Ωm	(Paembonan dkk,2020)
tuff (basah)	15 - 50 Ωm	(Paembonan dkk,2020)
lempung tuffan (kering)	93-292 Ωm	(Paembonan dkk,2020)
tuff (kering)	76-268 Ωm	(Paembonan dkk,2020)

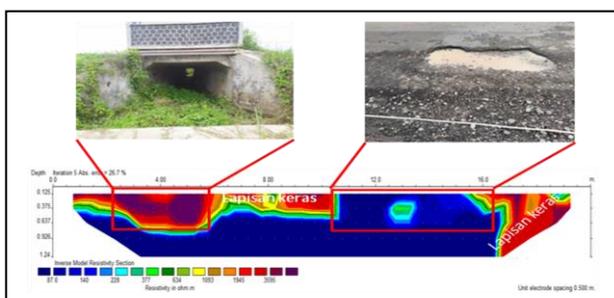


Gambar 13. Penampang Lintasan 1

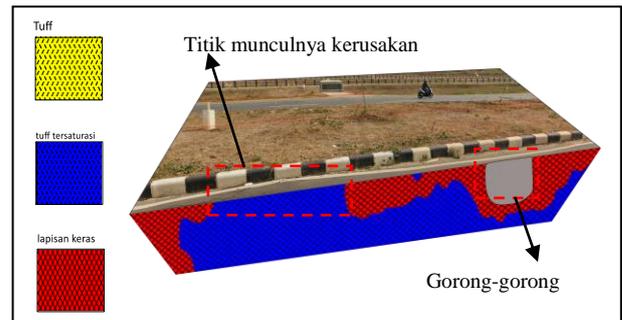


Gambar 14. Litologi Lintasan 1

Pada gambar 13 pada penampang lintasan 1 terlihat adanya lapisan dengan nilai resistivitas yang cenderung medium rendah (244-977 ohm.m), yang sebagai batuan tuff yang memang merupakan batuan asli dan terendapkan di lokasi tersebut lalu di bawahnya ditemukan lapisan batuan dengan nilai resistivitas dengan nilai 1000-5500 ohm.m yang di identifikasikan sebagai lapisan keras dari jalan Terusan Ryacudu.

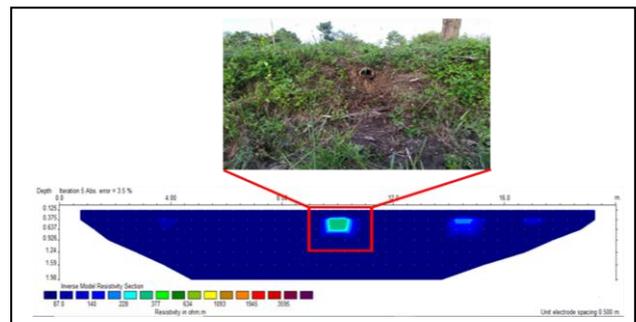


Gambar 15. Penampang Lintasan 2

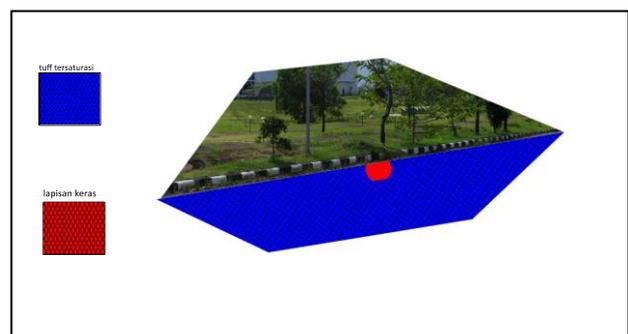


Gambar 16. Litologi Lintasan 2

Lalu pada gambar 15 pada penampang lintasan 2 ditemukan adanya nilai resistivitas yang cukup rendah dengan nilai resistivitas rendah pada 16-200 ohm.m yang diidentifikasikan sebagai batuan tuff yang tersaturasi penuh oleh air hujan sehingga membuat nilai resistivitasnya menjadi lebih rendah.dari batuan tuff yang sebenarnya. Sama seperti di lintasan ke 2. Selain itu pada lintasan ini juga ditemukan adanya nilai resistivitas yang lebih tinggi > 5000 ohm.m dan diidentifikasikan sebagai gorong gorong yang memang membentang di bawah lintasan 2 ini.



Gambar 17. Penampang Lintasan 3



Gambar 18. Litologi Lintasan 3

pada lintasan 3 juga ditemukan adanya lapisan batuan dengan nilai resistivitas yang sama yaitu

dengan nilai resistivitas rendah pada 16-200 ohm.m yang di identifikasikan juga sebagai batuan tuff yang tersaturasi penuh oleh air hujan. Dari penampang resistivitas yang didapatkan dari ketiga lintasan, ditemukan adanya beberapa kesamaan yang muncul setelah dilakukan korelasi dengan menggunakan data kondisi lingkungan dan kenampakan di permukaan jalan. Pada lintasan 1 dan 2 ditemukan adanya nilai resistivitas yang cenderung lebih rendah dibandingkan nilai resistivitas lainnya dimana setelah dilakukan korelasi dan interpretasi dengan menggunakan data kondisi lingkungan, lokasi dimana munculnya kerusakan pada jalan berada tepat di titik yang memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah. Sehingga dapat diasumsikan bahwa kerusakan yang muncul pada jalan ini dapat diakibatkan oleh adanya lapisan dengan nilai resistivitas yang rendah yang berada pada lokasi tersebut. Nilai resistivitas yang rendah ini dapat diakibatkan oleh adanya konsentrasi air hujan yang berada dalam lapisan batuan ataupun muncul akibat dari proses pemadatan material jalan yang dilakukan tidak sempurna sehingga nilai resistivitasnya menjadi lebih rendah dan rentan untuk menimbulkan kerusakan.

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil gambaran bawah permukaan dan penampang resistivitas yang sudah didapatkan pada lokasi penelitian menggunakan metode *flat base*, didapatkan disimpulkan bahwa pada lintasan 1, 2 dan 3 didapatkan beberapa lapisan batuan berada di bawah permukaan lokasi penelitian yang lapisan utamanya didominasi oleh lapisan tuff. Dari hasil yang didapatkan juga terlihat adanya persebaran nilai resistivitas yang cukup rendah pada lintasan 1 dan 2 yang menimbulkan terjadinya kerusakan pada jalan tersebut yang dapat diakibatkan oleh faktor pemadatan jalan yang belum sempurna dan konsentrasi air hujan tersaturasi penuh pada lapisan tersebut. Secara keseluruhan berdasarkan hasil yang sudah didapatkan juga membuktikan bahwa metode ini

dapat dijadikan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk menentukan kondisi bawah permukaan pada lokasi atau wilayah yang sulit diterapkan metode resistivitas konvensional ditambah dengan penggunaan larutan elektrolit yang terbuat dari campuran air garam dan tanah liat cukup efektif digunakan cukup baik untuk membuat medium yang dijadikan objek penelitian (permukaan jalan) menjadi lebih konduktor dan mampu meneruskan arus yang diinjeksikan ke bawah permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arta, Y. (2017). IDENTIFIKASI MASALAH DAN JENIS PENANGANAN KERUSAKAN JALAN SULIKI-SIMPANG SUNGAI DADOK KABUPATEN LIMA PULUH KOTA . *Prosiding 4th Andalas Civil Engineering (ACE)* , 543-552.
- Athanasiou, E. (2007). Non-destructive DC resistivity surveying using flat-base electrodes. *Near Surface Geophysics* .
- Telford, W., Geldart, L., & Sheriff, R. (1990). *Applied Geophysics Secon Edition*.
- Budiyanto, J. (2009). Fisika: Untuk SMA/MA Kelas XII. Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta, 298.
- Grigg, N. S. (1988). Infrastructure engineering and management.
- Hadi, A.I, Suhendra & R. Alpabet. 2009. Survei Sebaran Air Tanah dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner di Desa Banjar Sari, Kec. Enggano, Kab. Bengkulu Utara. *Jurnal Gradien*, Edisi Khusus, 22-26.
- Mangga, S. A. Amirudin., Suwarti, T., Gafoer, S. dan Sidarto. 1993. Peta Geologi Lembar Tanjung Karang, Sumatera.
- Mudiarto, A. (2012). Pemodelan Fisik Untuk Monitoring Kebocoran Pipa Air Dengan Metode Geolistrik. *Unnes Physics Journal*, 1(1).
- Paembonan, A., Febriansanu, D. R., Sinaga, R. E., Putra, F. D., & Rahmanda, V. (2020). Investigasi Air Tanah Pada Endapan Piroklastik dengan Menggunakan Metode Electrical Resistivity Imaging (ERI). *Jurnal Fisika Gravitasi*, 19(1), 1-5.
- Park, C. S., Jeong, J. H., Park, H. W., & Kim, K. (2017). Experimental Study on Electrode Method for

Electrical Resistivity Survey to Detect Cavities under Road Pavements. *Sustainability*, 9(12), 2320.

Satiawan, S. (2019). Bedrock Investigation using Resistivity Method as an effort to Provide Subsurface Data at ITERA Campus. *Journal of Science and Applicative Technology*, 2(1), 60-70.

Satiawan, S. (2019). Investigasi Lapisan Akuifer Berdasarkan Data Vertical Electrical Sounding (VES) dan Data Electrical Logging; Studi Kasus Kampus ITERA. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, 17(2), 91-100.

Santoso, B. (2016). PENERAPAN METODE GEOLISTRIK-2D UNTUK IDENTIFIKASI AMBLASAN TANAH DAN LONGSORAN DI JALAN TOL SEMARANG "SOLO KM 5+ 400 "KM 5+ 800. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 1(2), 179-186.

Setiawan, M. R., Al Farishi, B., & Agustin, L. K. (2019). Analisis Aliran Air Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metode Geolistrik. *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, 2(4), 111-116.

Suyono, E., 1976, Seminar Pengembangan Air Tanah untuk Irigasi, Jakarta: Direktorat Jenderal Perairan.

Udiana, I. M., Saudale, A. R., & Pah, J. J. (2014). Analisa Faktor Penyebab Kerusakan Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan WJ Lalamentik dan Ruas Jalan Gor Flobamora). *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 13-18.

Victor, E., & Mamah, L. Geophysical investigation of road failure the case of Opoji in Nigeria.

Youssef, A. M., El-Kaliouby, H. M., & Zabramawi, Y. A. (2012). Integration of remote sensing and electrical resistivity methods in sinkhole investigation in Saudi Arabia. *Journal of Applied Geophysics*, 87, 28-39.
