

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

Felik Destian Putra, Andri Yadi Paembonan, Reza Rizki

Program Studi Teknik Geofisika, Jurusan Teknik Manufaktur dan Mineral, Institut Teknologi Sumatera

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

Abstrak. Jalan Terusan Ryacudu merupakan jalan utama yang akses keluar masuknya kendaraan yang menghubungkan kota Bandar Lampung dengan pintu masuk tol ITERA-Kotabaru. Sebagai akses jalan utama yang sangat dibutuhkan, pada lokasi masing sering ditemukan beberapa permasalahan pada jalan yang sering terjadi yaitu munculnya lubang dan retakan pada jalan. Permasalahan yang muncul ini selalu terjadi bahkan setelah jalan selesai diperbaiki dan memiliki potensi menyebabkan permasalahan lainnya. Pada penelitian kali ini digunakan metode *Flat Base Electrical Resistivity* untuk melihat persebaran nilai resistivitas bawah permukaan jalan yang nantinya akan dapat dijadikan sebagai bahan interpretasi faktor penyebab kerusakan pada jalan. Metode ini merupakan pengembangan dari metode resistivitas konvensional dimana pada metode ini elektroda yang digunakan tidak ditancapkan langsung ke medium jalan melainkan hanya ditempelkan di permukaan. 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 tufa yang merupakan batuan yang mendominasi lokasi penelitian ini namun di beberapa titik ditemukan adanya sebaran nilai resistivitas yang cenderung lebih rendah dengan nilai 16-80 Ohm.m yang diindikasikan sebagai batuan tufa pasiran yang tersaturasi oleh air yang berada dibawah permukaan maupun air hujan yang dapat masuk melalui celah pada lubang yang sudah terdapat pada jalan sebelumnya.

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

Abstract. *Jalan Terusan Ryacudu is the main road that has access to the entry and exit of vehicles connecting the city of Bandar Lampung with the entrance to the ITERA-Kotabaru toll road. As the most needed main road access, at each location there are often some problems on the road, namely the appearance of holes and cracks on the road. The problems that arise always occur even after the road has been repaired and have the potential to cause other problems. In this research, the method is used Flat Base Electrical Resistivity to see the distribution of resistivity values below the road surface which later can be used as an interpretation of the factors causing damage to the road. This method is an extension of the conventional resistivity method in which the electrode used is not plugged directly into the road medium but only on the surface. Based on the 2D cross-section in this research area, it has a relatively high resistivity value distribution between 1000-5000 Ohm.m and is dominated by the resistivity value of the tuff rock layer which is the rock that dominates the location of this study, but at some points it is found that there is a resistivity value distribution that tends to be more low with a value of 16-80 Ohm.m which is indicated as sandy tuff rock that is saturated by water that is below the surface and rainwater that can enter through the gaps in the holes that are already on the previous road.*

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 (Grigg, 1988). Akan tetapi kondisi jalan ini tidak lepas dari permasalahan seperti munculnya lubang dan kerusakan aspal yang selalu terjadi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Kerusakan yang muncul pada jalan raya ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor seperti geologi

bawah permukaan, drainase dan pembebanan volume kendaraan (Yosritzal dkk., 2017).

Akibat dari sering munculnya masalah tersebut, maka dilakukanlah penelitian untuk mengidentifikasi kondisi lapisan dibawah permukaan jalan yang dapat menjadi penyebab munculnya kerusakan yang sering terjadi di jalan terusan Ryacudu. Salah metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor pemicu munculnya kerusakan di jalan adalah dengan menggunakan metode resistivitas (Adenika dkk., 2018) ;(Amosun dkk., 2018)). Akan tetapi sangat

sulit untuk mengaplikasikan metode resistivitas secara konvensional di jalan raya karena sulit menginjeksikan elektroda. Pengukuran hanya bisa dilakukan di pinggir jalan sehingga data dari titik yang kita ingin dapatkan menjadi kurang akurat. Akan tetapi metode resistivitas konvensional memiliki beberapa keterbatasan salah satunya adalah tidak dapat diaplikasikan langsung pada titik yang mengalami kerusakan. Maka salah satu solusi yang dapat digunakan untuk menutupi kelemahan ini adalah dengan mengaplikasikan metode Flat Base Electrical Resistivity Survey (FBERS) (Athanasidou dkk., 2007), (Park dkk., 2017)).

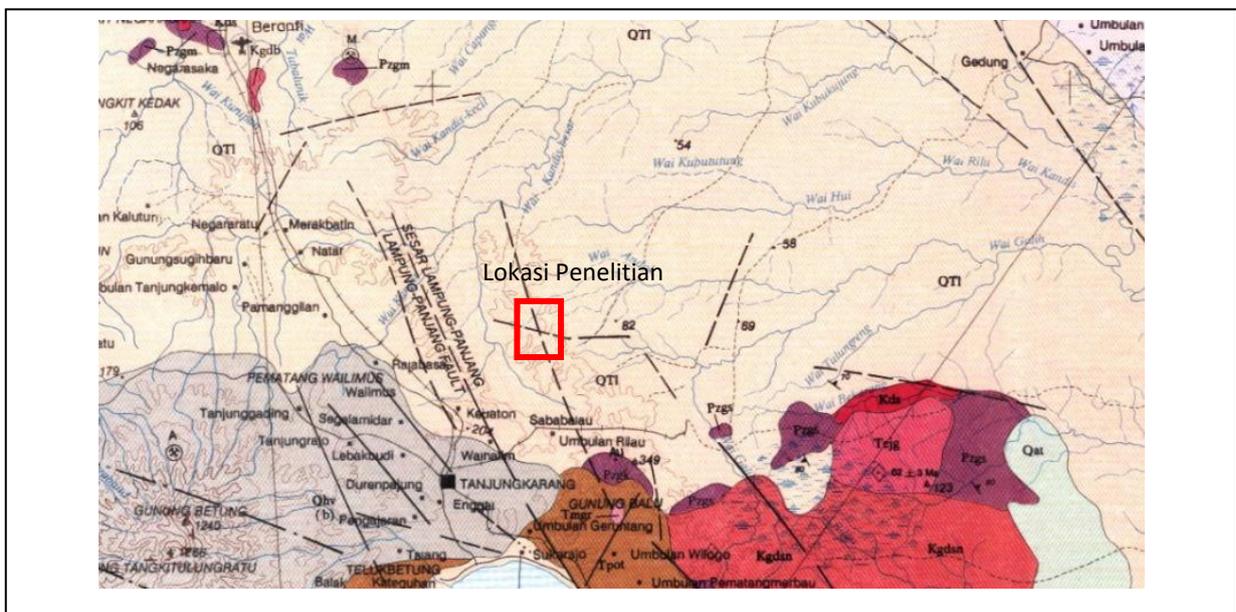
Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh (Athanasidou dkk., 2007), metode *Flat Base Electrical Resistivity Survey* (FBERS) sangat efektif dan cocok digunakan untuk melakukan identifikasi kondisi bawah permukaan pada lokasi yang sulit untuk menggunakan metode resistivitas secara konvensional.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



Gambar 1 Kerusakan yang muncul di Jalan Terusan Ryacudu, Lampung Selatan. (kotak warna merah menunjukan lokasi kerusakan jalan ditemukan)

Berdasarkan peta geologi regional Jalan Terusan Ryacudu berada dalam lembar Tanjung Karang yang ditunjukkan pada Gambar 2 (Amirudin dkk., 1993). Lalu berdasarkan stratigrafinya daerah penelitian ini termasuk dalam Formasi Lampung yang didominasi oleh batuan vulkanik Piroklastik yang merupakan material dari letusan gunung api dengan litologi batuan yang didominasi oleh batuan tufa, tuf pasir dan tuf lempungan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi lapisan dibawah permukaan jalan yang dapat menjadi penyebab utama dari kerusakan jalan yang sering terjadi di Jalan Terusan Ryacudu Lampung Selatan.

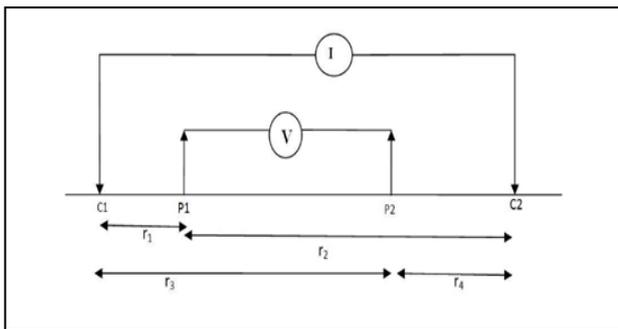


Gambar 2 Peta geologi regional (Amirudin dkk., 1993)

TINJAUAN PUSTAKA

Metode Resistivitas

Metode resistivitas merupakan suatu metode pendugaan kondisi bawah permukaan bumi dengan melakukan 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 dkk., 1990).



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

Pada metode resistivitas nilai resistivitas semu diperoleh dari perhitungan arus dan potensial serta faktor geometri dari konfigurasi yang digunakan. Besarnya nilai faktor geometri akan berubah sesuai dengan jenis konfigurasi yang digunakan. Seperti yang terlihat pada Gambar 3. Sehingga persamaan nilai resistivitas yang diperoleh menjadi:

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

Sehingga diperoleh persamaan untuk memperoleh nilai resistivitas dengan :

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

Metode Flat Base Electrical Resistivity

Metode *flat base electrical resistivity* merupakan salah satu metode resistivitas yang aman dikarenakan penggunaan elektroda yang pipih sehingga tidak perlu melakukan pemasangan secara konvensional atau ditancapkan ke tanah

(*non-destructive*) seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Elektroda flat base yang digunakan oleh Athanasiou dkk dalam penelitian sebelumnya

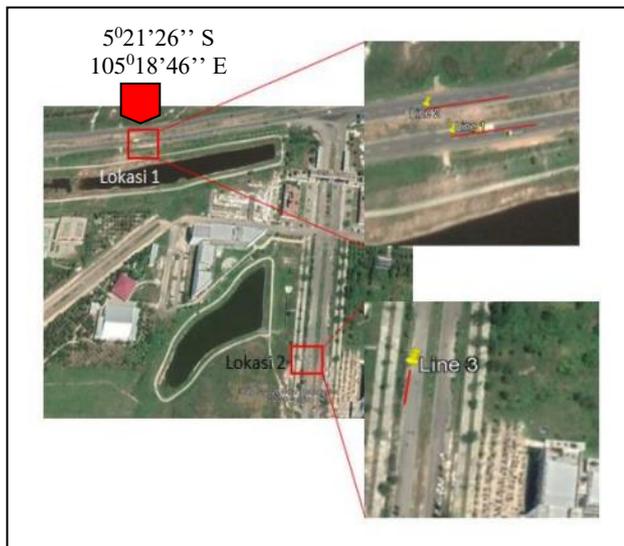
Prinsip kerja dari metode ini pada dasarnya sama dengan prinsip kerja dari elektroda konvensional hanya yang menjadi pembeda adalah posisi dari elektroda yang tidak perlu ditancapkan. Dalam penerapan metode ini, penggunaan larutan elektrolit sangat diperlukan untuk membuat medium dari permukaan di lokasi penelitian menjadi lebih lembap sehingga arus bisa dihantarkan lebih baik kebawah permukaan..

METODOLOGI

Lokasi penelitian berada di Jalan Terusan Ryacudu dan jalan di area kampus Institut Teknologi Sumatera yang berada di desa Wayhui, Kabupaten Lampung Selatan (Gambar 5). Penelitian ini dilakukan dalam beberapa proses, yang pertama adalah proses akuisisi data lapangan. Pada proses ini mencakup persiapan alat yang digunakan meliputi main unit, kabel, *accu*, dan elektroda *flat base*.

Penelitian ini dilakukan menggunakan teknik pengukuran resistivitas 2D dengan menggunakan 4 buah elektroda *flat base* pada 3 lintasan dengan spasi elektroda terkecil 0.5 m dan panjang masing masing lintasan 20 m sejajar dengan jalan atau berada tepat di atas titik munculnya kerusakan. Pada penelitian kali ini target kedalaman dan penetrasi kedalaman yang ingin di dapatkan adalah 2-2.5 m diatas permukaan jalan. Proses akuisisi data

lapangan dilakukan dengan menghubungkan setiap perangkat dengan kabel pada main unit dan memastikan sambungan terkoneksi dengan baik agar data yang diperoleh lebih akurat. Data yang diperoleh kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai resistivitas semu (*Apparent resistivity*) dengan menggunakan Persamaan 3.



Gambar 5 Lokasi penelitian di jalan terusan Ryacudu dan ITERA (garis berwarna merah merupakan lintasan yang digunakan dalam proses pengambilan data)

Proses selanjutnya dilakukan tahap pengolahan data menggunakan *software* untuk mendapatkan penampang nilai resistivitas sebenarnya. Kemudian dari hasil yang sudah didapatkan, dibuat model resistivitas 2D dari kondisi dibawah permukaany ang selanjutnya dilakukan interpretasi dengan mencocokkan model dan kondisi lapangan. Hal ini bertujuan untuk menemukan faktor yang memicu munculnya kerusakan pada jalan berdasarkan nilai yang diperoleh.

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

dengan 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 Athanasiou dan tim dari (Athanasiou dkk., 2007) Yunani, ditemukan adanya permasalahan yang muncul. Salah satu masalah yang muncul 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 perubahan 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 untuk mendekati nilai kontak dari elektroda konvensional. Oleh karena itu untuk mengurangi permasalahan muncul, pada penelitian ini dilakukan penyesuaian pada ukuran elektroda *Flat Base* menggunakan ukuran yang sudah digunakan oleh (Athanasiou dkk., 2007), yaitu dengan menggunakan spesifikasi elektroda tembaga dengan ukuran 10 cm x 5 cm. Pada Gambar 6 dapat dilihat perbandingan spesifikasi elektroda yang digunakan pada penelitian kali ini dengan elektroda konvensional.

Menurut penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya untuk ukuran elektroda pipih dengan spesifikasi 10 cm x 5 cm setara dengan penggunaan elektroda konvensional dengan diameter 1.5 cm yang ditancapkan ke medium dengan kedalaman 10 cm dari permukaan tanah. Dengan menggunakan spesifikasi tersebut diharapkan hasil yang akan didapatkan pada metode *Flat Base Electrical*

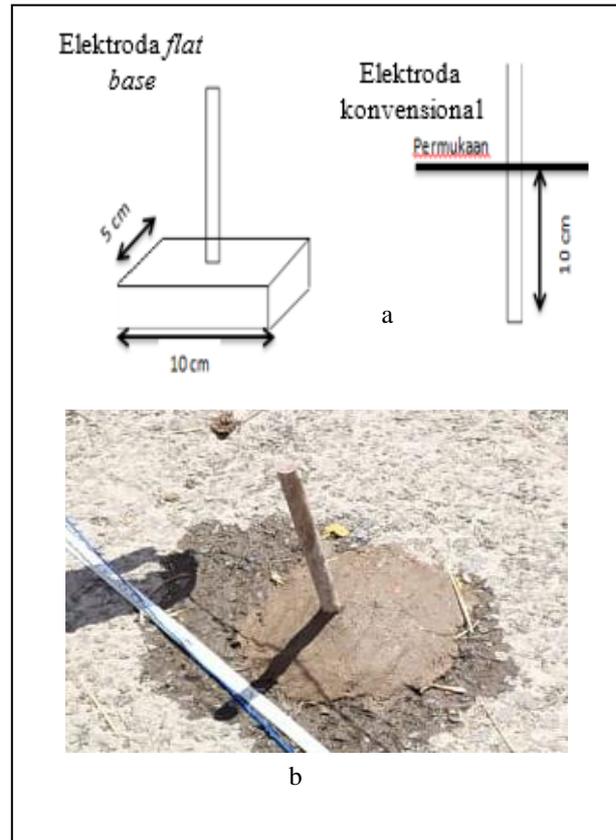
resistivity akan mendekati hasil yang didapatkan dengan menggunakan metode konvensional.

Tabel 1 Nilai resistivitas batuan di sekitar wilayah penelitian

Jenis Batuan	Nilai Resistivitas	Sumber
Lempung Tuffaan	< 20 Ωm	(Rizka dan Satiawan, 2019)
Pasir Tuffaan	20 – 80 Ωm	(Rizka dan Satiawan, 2019)
Tufa	80 – 150 Ωm	(Rizka dan Satiawan, 2019)
Tuff Kompak	> 150 Ωm	(Rizka dan Satiawan, 2019)
Lempung Tuffaan (Basah)	4.5 – 15 Ωm	(Paembonan dkk., 2020)
Tufa(Basah)	15 – 50 Ωm	(Paembonan dkk., 2020)
Lempung Tuffaan (Kering)	93 – 293 Ωm	(Paembonan dkk., 2020)
Tufa (Kering)	76 – 268 Ωm	(Paembonan dkk., 2020)

Selain itu penggunaan larutan elektrolit juga dapat membantu mengurangi perubahan nilai resistivitas yang menjadi lebih besar yang sering muncul dalam pengukuran menggunakan metode ini. Nilai yang cukup besar ini dapat diakibatkan oleh adanya pengaruh dari besarnya nilai kontak resistansi efektif. Besarnya nilai ini dipengaruhi oleh adanya *moisture contact* atau kelembaban dan kadar air yang terkandung di dalam suatu medium (Athanasίου dkk., 2007). Dengan menggunakan bantuan dari larutan elektrolit diharapkan mampu membantu meningkatkan kadar air dan kelembaban pada lokasi dan membuat medium jalan menjadi lebih konduktif dan mudah untuk dilakukan injeksi arus.

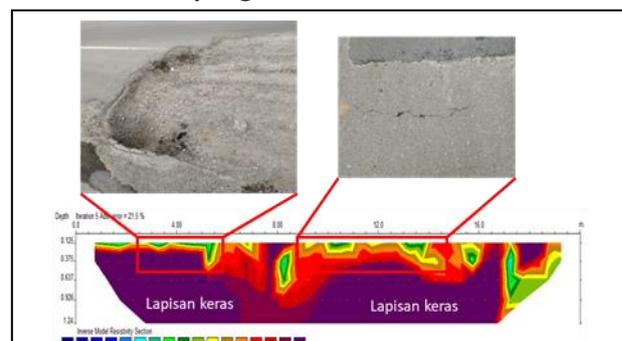
Pada penelitian kali ini digunakan bantuan larutan elektrolit yang terbuat dari campuran air garam dan tanah liat yang digunakan sebagai bidang kontak antara elektroda dan permukaan medium jalan yang akan dilakukan pengukuran.



Gambar 6 (a) Perbandingan antara elektroda konvensional dan elektroda *plate base* (Athanasίου dkk., 2007), (b) elektroda yang digunakan pada penelitian kali ini

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.

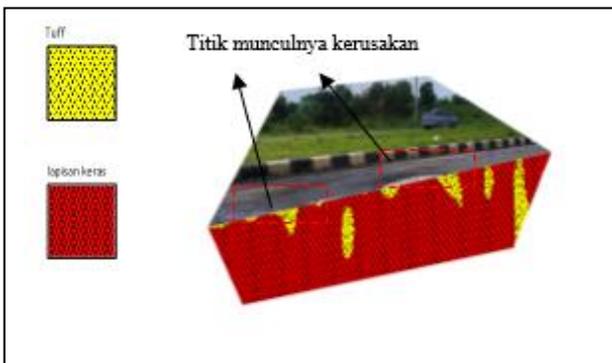
Analisis Penampang Resistivitas



Gambar 7 Penampang resistivitas 2D Lintasan 1 (Bawah). Terlihat gambar kerusakan jalan (Atas)

Dari data sekunder berupa data geologi dan data lingkungan serta ketampakan di permukaan pada ini, diketahui bahwa area pengukuran tersusun pada Formasi Lampung yang didominasi oleh litologi batuan berupa batuan tufa, tuf lempungan dan tuf pasir. Sedangkan berdasarkan pengamatan yang dilakukan di lapangan sebagian besar litologi yang menjadi batuan yang mendominasi daerah penelitian merupakan batuan tuff dan tuff pasir seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Pada Gambar 7 yang merupakan penampang Lintasan 1 terlihat adanya lapisan dengan nilai resistivitas yang cenderung medium rendah (244-977 Ohm.m), yang sebagai batuan tufa 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 berupa lapisan tuff dari jalan Terusan Ryacudu.

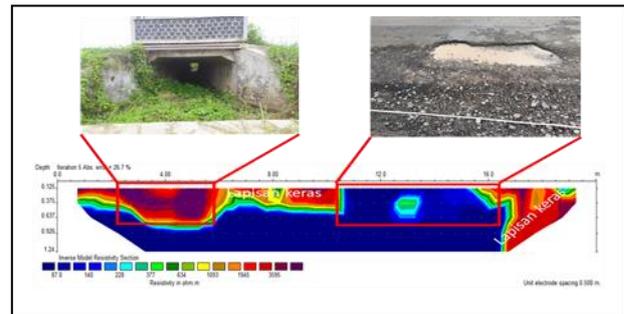


Gambar 8 Model geologi Lintasan 1 berdasarkan penampang resistivitas 2D

Pada Gambar 8 terlihat bahwa setelah dilakukan proses modeling untuk mendapatkan kondisi litologi di bawah permukaan berhasil diketahui bahwa kerusakan yang muncul pada jalan ini muncul tepat pada area dengan nilai resistivitas yang cukup rendah.

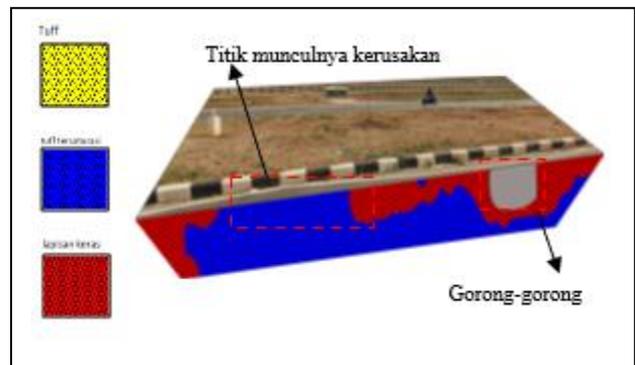
Pada Gambar 9 pada penampang Lintasan 2 ditemukan adanya nilai resistivitas yang cukup rendah dengan nilai resistivitas rendah pada 16-200 Ohm.m yang diidentifikasikan sebagai batuan tuff yang tersaturasi penuh oleh air hujan sehingga membuat nilai resistivitasnya menjadi lebih rendah

dari batuan tuff yang sebenarnya. Sama seperti di lintasan ke 2.



Gambar 9 Penampang resistivitas 2D Lintasan 2 (Bawah). Terlihat gambar kerusakan jalan dan keberadaan Tunnel air (Atas)

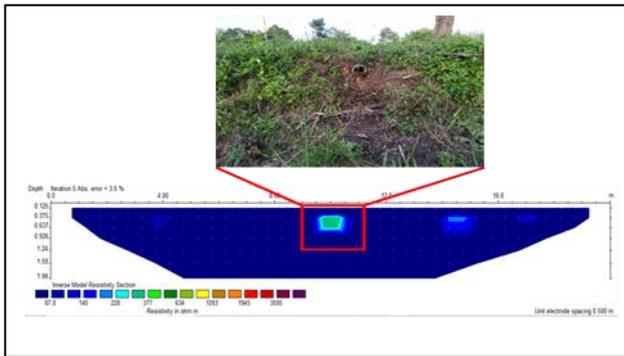
Selain itu pada lintasan ini juga ditemukan adanya nilai resistivitas yang lebih tinggi > 5000 Ohm.m dan diidentifikasikan sebagai tunnel air dengan lebar sekitar 1.5 m yang memang memotong jalan pada Lintasan 2 ini.



Gambar 10 Model geologi Lintasan 2 berdasarkan penampang resistivitas 2D

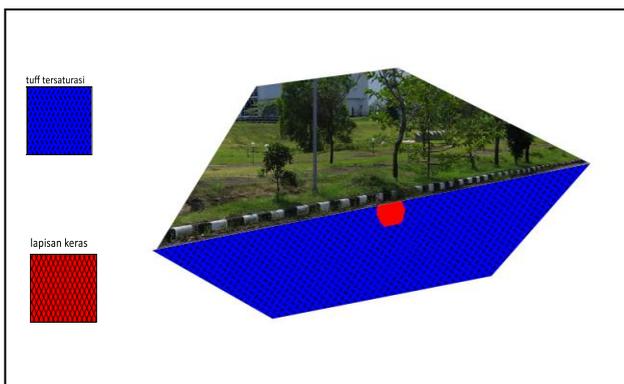
Pada Gambar 10 terlihat bahwa setelah dilakukan proses modeling diperoleh bahwa kondisi litologi di bawah permukaan pada bagian jalan yang rusak memiliki nilai resistivitas yang cukup rendah. Hal ini mengindikasikan adanya saturasi air yang cukup besar pada daerah tersebut yang menyebabkan kerusakan jalan.

Pada Gambar 11 di Lintasan 3 juga ditemukan adanya lapisan batuan dengan nilai resistivitas rendah pada 16-200 Ohm.m yang diidentifikasikan sebagai batuan tuff yang tersaturasi penuh oleh air. Pada daerah ini juga ditemukan adanya anomali resistivitas yang lebih tinggi.



Gambar 11 Penampang resistivitas 2D Lintasan 3 (Bawah). Terlihat keberadaan pipa air yang memotong jalan/lintasan pengukuran (Atas)

Setelah dilakukan observasi di lapangan, ditemukan adanya pipa PVC yang memotong jalan yang dapat dilihat dengan jelas pada model geologi (Gambar 12). Pada lintasan ini kerusakan jalan ditemukan hampir di setiap titik elektroda dipasang. Dari penampang yang didapatkan terlihat bahwa memang kondisi lapisan dibawah jalan ini sangat tersaturasi dengan air yang memungkinkan terjadinya kerusakan pada lintasan ini.



Gambar 1 Litologi Lintasan 3

Dari penampang resistivitas yang didapatkan dari ketiga lintasan, ditemukan adanya korelasi antara nilai resistivitas dengan kondisi lingkungan yang ada permukaan jalan. Dari ketiga penampang yang digunakan pada penelitian kali ini, besarnya nilai error yang didapatkan cukup bervariasi. Namun besarnya nilai error ini merupakan nilai error yang sudah disesuaikan antara model resistivitas dengan kondisi geologi dan lingkungan sekitar lokasi pengukuran. Sehingga gambaran dari penampang

resistivitas yang didapatkan dapat dengan mudah diinterpretasi.

Dimana nilai resistivitas yang cenderung lebih rendah ditemukan tepat dibawah lokasi ditemukannya kerusakan berupa lubang pada jalan. Nilai resistivitas yang cukup rendah ini dapat diakibatkan oleh adanya konsentrasi air yang berada dalam lapisan batuan ataupun muncul akibat dari adanya lubang atau retakan pada jalan yang sudah muncul sebelumnya yang membuat air hujan dapat masuk kebawah permukaan jalan.

PENUTUP

Kesimpulan 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 konsentrasi air 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 konduktif dan mampu meneruskan arus yang diinjeksikan ke bawah permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adenika, C.I., Ariyibi, E.A., Awoyemi, M.O., Adebayo, A.S., Dasho, O.A. dan Olagunju, E.O. (2018), "Application of Geophysical Approach to Highway

Pavement Failure: A Case Study from Basement Complex Terrain Southwestern Nigeria", *International Journal of Geo-Engineering*, Vol.9, No.1, hal. 8. <http://doi.org/10.1186/s40703-018-0076-0>.

Suliki - Simpang Sungai Dadok Kabupaten Lima Puluh Kota,.

- Amirudin, Mangga, S.A., Suwarti, T., Gafoer, S., dan Sidarto (1993), *Peta geologi lembar Tanjung Karang, Sumatera: Geological map of the Tanjung Karang quadrangle, Sumatera*.
- Amosun, J.O., Olayanju, G.M., Sanuade, O.A. dan Fagbemigun, T. (2018), "Preliminary Geophysical Investigation for Road Construction Using Integrated Methods", *Materials and Geoenvironment*, Vol.65, No.4, hal. 199–206. <http://doi.org/10.2478/rmzmag-2018-0017>.
- Athanasiau, E.N., Tsourlos, P.I., Vargemezis, G., Papazachos, C. dan Tsokas, G.N. (2007), "Non-destructive DC resistivity surveying using flat-base electrodes", *Near Surface Geophysics*, Vol.5. <http://doi.org/10.3997/1873-0604.2007008>.
- Grigg, N.S. (1988), *Infrastructure Engineering and Management*, J. Wiley, New York.
- Manrulu, R.H., Nurfalaq, A. dan Hamid, I.D. (2018), "Pendugaan Sebaran Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Dan Schlumberger Di Kampus 2 Universitas Cokroaminoto Palopo", *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, Vol.15, No.1, hal. 6–12. <http://doi.org/10.20527/flux.v15i1.4507>.
- Paembonan, A., Febriansanu, D.R., Sinaga, R., Putra, F. dan Rahmanda, V. (2020), "Investigasi Air Tanah Pada Endapan Piroklastik dengan Menggunakan Metode Electrical Resistivity Imaging (ERI)", *Gravitasi*, Vol.19, hal. 1–5. <http://doi.org/10.22487/gravitasi.v19i1.15182>.
- Park, C., Jeong, J.-H., Park, H.-W. dan Kim, K. (2017), "Experimental Study on Electrode Method for Electrical Resistivity Survey to Detect Cavities under Road Pavements", *Sustainability*, Vol.9, hal. 2320. <http://doi.org/10.3390/su9122320>.
- Rizka dan 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*, Vol.17, No.2, hal. 91–100. <http://doi.org/10.24198/bsc-geology.v17i2.22393>.
- Telford, W.M., Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. dan Sheriff, R.E. (1990), Google-Books-ID: oRP5fZYjhXMC, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press.
- Yosritzal, Y., Arta, Y. dan Yuliet, R. (2017), *Identifikasi Masalah dan Jenis Penanganan Kerusakan Jalan*