

Aplikasi *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) untuk Sistem *Grounding*: Studi Kasus di Pesisir Bandar Lampung

Rustadi^{1*}

¹Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

*E-mail: rustadi.1972@eng.unila.ac.id

INFO ARTIKEL

Status Artikel:

Dikirim: 31 Agustus 2023

Diterima: 27 Agustus 2023

Dipublikasi: 30 September 2023

Keywords:

ERT; coastal bandar lampung; grounding

Kata kunci:

ERT; grounding; pesisir bandar lampung

Penulis Koresponden

Rustadi,

Jurusan Teknik Geofisika,

Fakultas Teknik, Universitas

Lampung, Kota Bandar

Lampung, Indonesia

E-mail:

rustadi.1972@eng.unila.ac.id

DOI:

10.23960/jpg.v11.i2.28509

ABSTRAK

The Electrical resistivity tomography has been used to mapping the conductive zones as locations for placing lightning rod electrodes on the Bandar Lampung coast. There was three ERT lines with Wenner-Schlumberger configuration, the lengths is 200 m and the spacing between electrodes is 6 m. The subsurface profile shows a similarity of being composed of two layers. The conductive layer at a position of depth 0 – 15 m, covering the resistive layer below. The conductive zone with a resistivity of $<7 \Omega\text{-m}$ is in the form of lenses as shallow groundwater exposed to seawater. The enrichment of elements, especially Na, Cl, and Mg, has made shallow groundwater act as a conductor and meet the specifications for placing lightning rod electrode systems.

Electrical resistivity tomography telah digunakan untuk membantu memetakan zona konduktif sebagai tapak penempatan electrode penangkal petir di Pesisir Bandar Lampung. Terdapat tiga lintasan ERT menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger, panjang lintasan 200 m dan spasi antar electrode 6 m. Profil bawah permukaan memperlihatkan kemiripan tersusun oleh dua lapisan. Lapisan konduktif dengan kedalaman 0 – 15 m, menutup lapisan resistif di bawahnya. Zona konduktif dengan resistivitas $< 7 \Omega\text{-m}$ berupa lensa-lensa sebagai air tanah dangkal yang terpapar oleh air laut. Pengayaan unsur khususnya Na, Cl, dan Mg, telah menjadikan air tanah dangkal berperan sebagai konduktor dan memenuhi spesifikasi untuk penempatan electrode system penangkal petir.

Copyright © 2023 Jurnal Penelitian Geografi-UNILA
This open access article is distributed under a
Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International license



PENDAHULUAN

Fenomena alam yang banyak dijumpai di negara-negara tropis adalah memiliki aktivitas petir tinggi (Baharuddin et al., 2006). Badai petir dapat menghasilkan lebih dari seratus kilatan petir dalam durasi waktu yang pendek. Petir dan hembusan yang terkait, adalah kejadian meteorologi yang indah namun berpotensi memberikan ancaman kerusakan terhadap instrumentasi elektronik, dan kebakaran gedung. Peristiwa tersebut berbahaya bagi makhluk hidup dan harta benda karena pulsa arus listrik yang dihasilkan sangat besar (Kalapuge et al., 2023). Pengetahuan yang komprehensif terkait distribusi spasial dan temporal serta mengembangkan sistem proteksi perlindungan yang tepat menjadi penting dilakukan (Sabiha et al., 2021; Zou et al., 2020).

Wilayah pesisir menjadi aset strategis di sejumlah negara maju dan mengalami pertumbuhan secara cepat. Kegiatan ekonomi meliputi; pengembangan industri dan komersial, fungsi pelabuhan dan pelayaran, dan aspek pariwisata, mewarnai wilayah pesisir. Realita tersebut terjadi di pesisir Bandar Lampung yang telah menjadi gerbang perdagangan, sentra industry, pergudangan dan berbagai infrastruktur pendukung lainnya. Gedung perkantoran, gudang dan berbagai instrumentasi elektronik, memerlukan perlakuan khusus untuk mereduksi kerusakan akibat aktivitas petir.

Sistem proteksi penangkal petir bertujuan untuk melindungi dan mengurangi resiko bahaya terhadap makhluk hidup, bangunan, listrik, peralatan elektronik, telekomunikasi, dan aset penting lainnya. Sistem proteksi petir terdiri dari tiga bagian utama, terminasi udara, down konduktor, dan sistem penangkal petir (grounding). Diperlukan sistem penangkal petir yang efektif untuk menghantarkan arus listrik secara cepat saat terkena sambaran petir (Andersen & Barker, 2000; Naukowe & Rzeszowskiej, 2012).

Material geologi memiliki tipikal resistivitas bervariasi 30 – 3000 Ω -m (Briški et al., 2020; McCarter, 1984; Shin et al., 2021), diperlukan teknik khusus secara efektif memetakan zona konduktif untuk aplikasi sistem penangkal petir. Metode pencitraan bawah permukaan *non destructive*, saat ini telah banyak dipelajari untuk membantu perencanaan sistem proteksi tersebut (Kovarski, 2015; Naukowe & Rzeszowskiej, 2012).

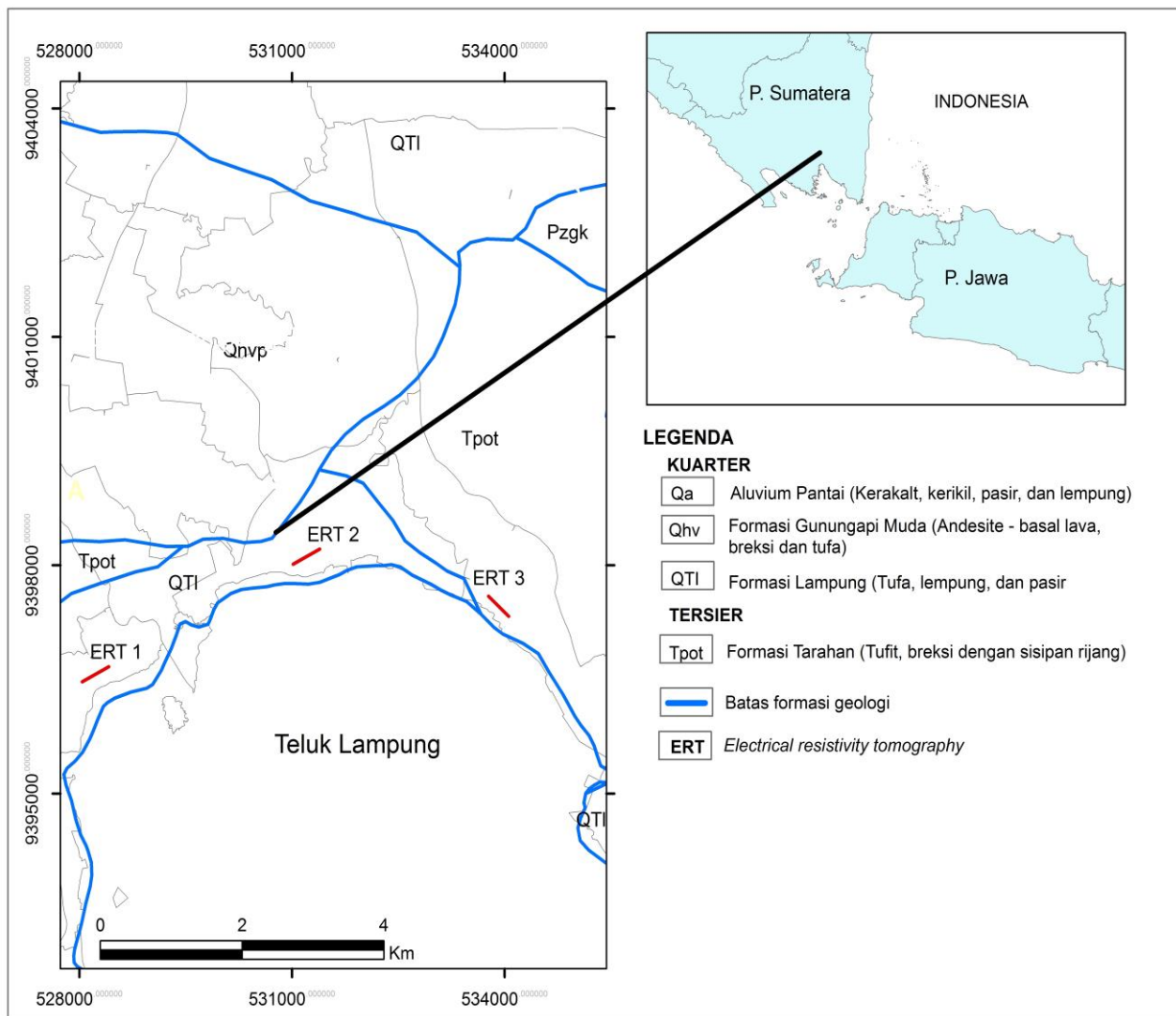
Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi sifat konduktivitas lapisan tanah, dan akan berbeda dari satu tempat ke tempat lainnya (Hazreek et al., 2015; Pandey et al., 2015). Pengembangan metode pencacahan karakteristik tanah tanpa merusak, dapat mengaplikasikan teknik *electrical resistivity tomography* (ERT). Metode ini menjadi pilihan terbaik tanpa melakukan penggalian dan menguji sampel di laboratorium (Loke et al., 2013; Loke & Barker, 1996). Metode geolistrik menjadi solusi dimana pencacahan nilai konduktivitas material bawah permukaan dapat dilakukan melalui injeksi arus listrik di permukaan tanpa memerlukan pemboran (Dawalibi et al., 1994). Berbagai konfigurasi dan teknik pencacahan, memungkinkan mendapatkan hasil nilai resistivitas bawah permukaan secara cepat. Distribusi data secara lateral dan vertical dapat memberikan keuntungan terhadap sistem pengujian yang ekonomis dan akurat. Nilai resistivitas dapat di cacah melalui teknik pemetaan terhadap arah lateral, perubahan terhadap kedalaman atau *scanning* yang memberikan informasi 2D dan 3D bawah permukaan (Calixto et al., 2022; Calixto et al., 2012).

Sistem tektonik regional Pulau Sumatera telah berlangsung sejak masa Pra Tersier. Pengaruh subduksi rentang waktu yang panjang menghasilkan geologi kompleks di Bandar Lampung (Barber & Crow, 2003). Wilayah pesisir Bandar Lampung ditafsirkan terdapat beberapa bagian yang mengalami akresi dampak dari gangguan subduksi. Morfologi berundulasi di kompleks vulkanik Gunung Betung merupakan bagian dari hasil subduksi yang membentuk Bukit Barisan sebagai volcanic belt di Pulau Sumatera.

Beberapa wilayah di pesisir menyiratkan keberadaan batuan beku pengaruh naiknya magmatik. Jalur vulkanisme (*magmatic arc*) menerobos batuan meta sedimen yang di beberapa bagian mengalami pengangkatan dan relative dangkal. Pembentukan jalur vulkanik di bagian barat Bandar Lampung berasosiasi dengan keberadaan beberapa jalur patahan yang telah teridentifikasi saat ini (Gambar 1).

Sebagian besar wilayah pesisir tersusun oleh Formasi Aluvial Pantai (Qa) hasil pengendapan material daratan dan pantai (Barber, 2000). Sebagai zona dengan topografi rendah, aliran run of dari air hujan akan menuju pesisir dengan membawa sejumlah material sedimen. Arus laut menghasilkan sortiran berbagai ukuran partikel, dan area tertentu membentuk terumbu karang. Formasi Aluvial Pantai memiliki umur geologi paling muda (Holosen), dan menutup tidak selaras Formasi Lampung (QT1) berumur Pliosen – Plistosen dan Formasi Tarahan (Tpot) berumur Paleosen - Eosen.

Formasi Aluvial Pantai ditafsirkan tersusun oleh kerakal, kerikil, pasir, lempung, lanau dan terumbu karang (Barber, 2000). Ketebalan Formasi Aluvial Pantai memberikan pengaruh kuat terhadap pembentukan litologi sedimen bersifat poros dan keberadaan air di dalamnya. Fluida pada porositas batuan memberikan kontribusi besar terhadap daya hantar kelistrikan dan penerapan untuk sistem proteksi penangkal petir.

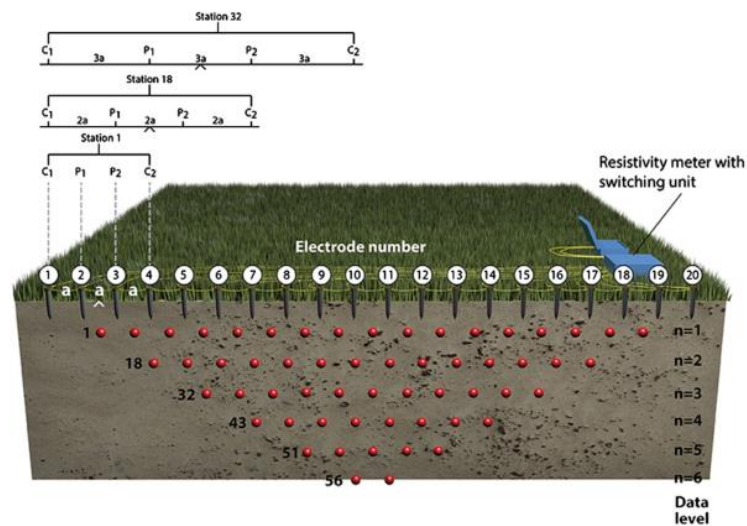


Gambar 1. Peta geologi pesisir Bandar Lampung dan sekitarnya

METODE

Pengujian material geologi untuk sistem penangkal petir saat ini banyak mengadopsi pada geolistrik sounding, dengan asumsi model homogen isotropis dua lapis. Namun aplikasi geolistrik sounding memiliki limitasi terhadap beberapa keadaan geologi tertentu yang menghasilkan tatanan kompleks. Interpretasi keadaan bawah permukaan untuk sistem proteksi petir, membutuhkan estimasi akurat zona konduktif untuk mengalirkan secara cepat frekuensi rendah dan tinggi dari gelombang arus listrik yang dihasilkan oleh sambaran kilat. Perkembangan instrumentasi geolistrik telah memungkinkan untuk mengembangkan model akuisisi bawah permukaan secara akurat, efektif dan cepat. Makalah ini menyajikan alternative penggunaan teknik electrical resistivity tomography yang lebih presisi dibandingkan pendekatan yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya melalui teknik sounding (Selvam, 2016; Tsepav et al., 2015).

Metode ERT atau geolistrik 2D yang dikembangkan oleh Dahlin, merupakan penggabungan antara konsep *mapping* dan *sounding*. Penataan titik data cacahan diatur sedemikian rupa secara konsisten, mengikuti konfigurasi yang digunakan. Pengukuran, memungkinkan untuk meneliti resistivitas material pada arah lateral dan vertical (2D atau *scanning*). Distribusi data saat pengukuran menggunakan konfigurasi Wenner diperlihatkan pada Gambar 2, Distribusi data yang tertata dan rapat lateral dan vertical memberikan resolusi yang lebih baik dibandingkan sounding dan mapping (Loke et al., 2013).



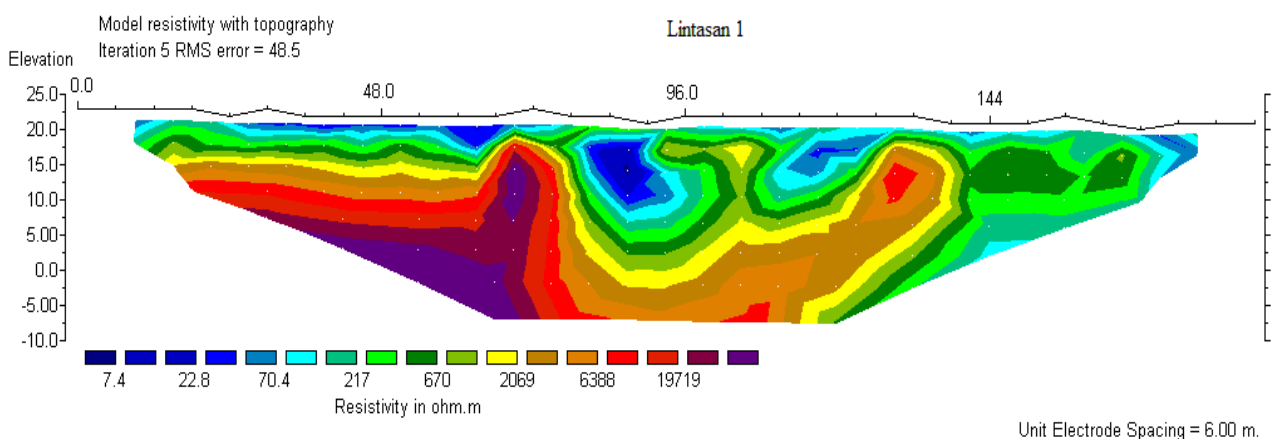
Gambar 2. Diagram skematik sistem multi-elektroda, dan urutan pengukuran untuk menelaah konduktivitas lapisan tanah melalui pseudosection 2-D (Loke et al., 2013).

Pengukuran ERT dilakukan pada 3 lintasan di pesisir Bandar Lampung dengan posisi diperlihatkan pada Gambar 1. Instrumentasi ARES produk Cekoslovakia memberikan kemudahan pengukuran dilakukan secara otomatis tanpa perlu melakukan pemindahan posisi electrode secara manual. Pengukuran menggunakan konfigurasi Wenner – Schlumberger dengan panjang lintasan mencapai 200 m, dan spasi antar electrode 6 m, mampu memberikan informasi bawah permukaan sampai kedalaman 30 m.

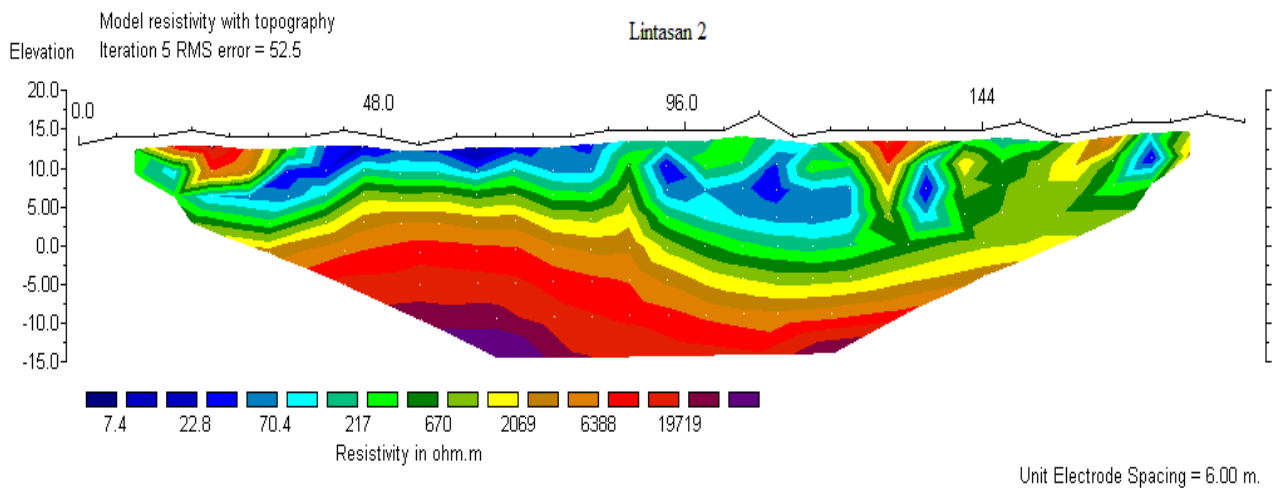
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penampakan citra bawah permukaan melalui teknik ERT di lintasan 1, 2 dan 3 diperlihatkan pada Gambar 3, 4 dan 5. Pencacahan sampai kedalaman 30 m memperlihatkan penyusun bawah permukaan dengan nilai resistivitas 7 - 19700 Ω -m. Terdapat dua kelompok respon kelistrikan, pertama rendah sampai dengan sedang sebagai penyusun lapisan dengan kedalaman < 15 m. Lapisan kedua berupa material resistif > 600 Ω -m berperan sebagai alas.

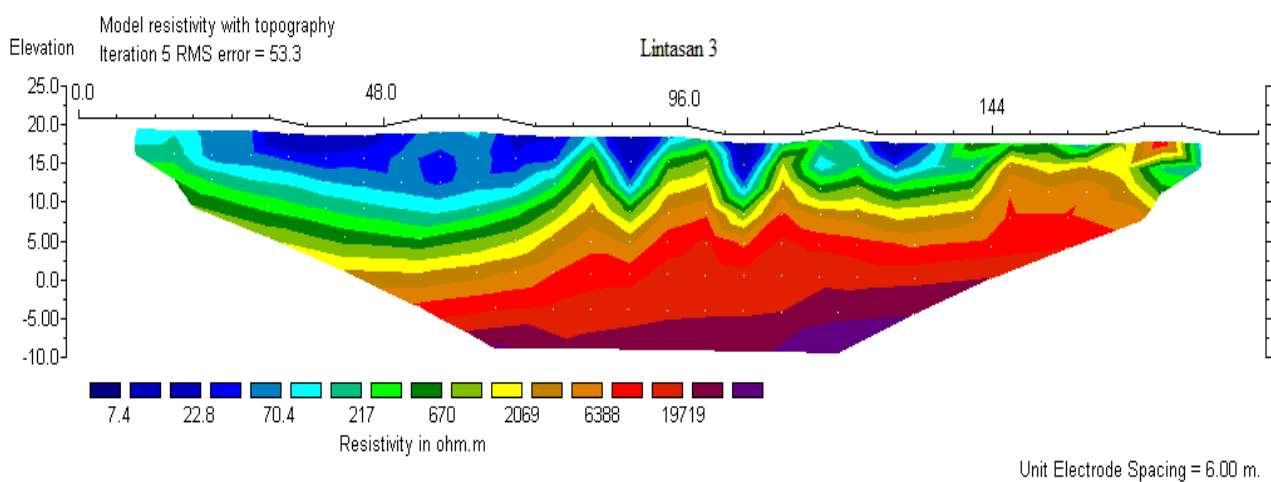
Keberadaan lapisan bersifat resistif relative dangkal masih belum diketahui komponen penyusunnya. Respon resistivitas tersebut dapat dihasilkan oleh berbagai jenis batuan yang langka komponen berperan sebagai penghantar arus listrik. Pesisir barat Pulau Sumatera secara langsung dipengaruhi oleh pertemuan antar lempeng, dan menghasilkan akresi dari batuan dasar di bagian timur Bandar Lampung. Selain batuan metamorf, juga menghasilkan sisipan – sisipan batuan beku bagian dari pembentukan volcanic belt. Kedua jenis batuan termasuk pada kelompok batuan kristalin, langka terhadap kandungan air dan menjadikan bersifat resistif (Rustadi et al., 2022; Lachassagne et al., 2021; Sk et al., 2018).



Gambar 3. Citra ERT pada lintasan 1



Gambar 4. Citra ERT pada lintasan 2



Gambar 5. Citra ERT pada lintasan 3

Hasil ketiga lintasan ERT memperlihatkan kemiripan profil lapisan pertama menutup batuan resistif. Lapisan tipis konduktif dengan nilai $< 10 \Omega\text{-m}$ berada pada kedalaman 2 – 15 m, dapat menjadi alternatif untuk penempatan elektroda system penangkal petir (*grounding*). Keberadaan zona konduktif tersebut dapat berkorelasi dengan keberadaan air tanah dangkal yang telah mengalami pencampuran dengan air laut. Penelitian salinitas pada sejumlah sumur dangkal di sekitar pesisir, menghasilkan nilai > 750 Ppm hingga 1,5 Km dari garis pantai (Rustadi et al., 2022).

Sistem penangkal petir sangat kuat dipengaruhi oleh material konduktif tempat penempatan elektroda yang berperan sebagai mengalirkan arus listrik dari petir ke dalam bumi. Semakin rendah nilai resistansi *grounding* pada suatu instalasi listrik, maka semakin handal kemampuan instalasi tersebut. Terjadinya intrusi air laut di pesisir Bandar Lampung, secara tidak langsung telah memberikan keuntungan untuk penempatan electrode system penangkal petir. Kandungan Na, Cl dan Mg dari intrusi air laut membantu mereduksi resistivitas lensa-lensa akuifer menjadi lebih konduktif. Zona konduktif tersebut relative dangkal sehingga penanaman electrode menjadi lebih mudah dan ekonomis tanpa diperlukan rekayasa.

KESIMPULAN

Aplikasi *electrical resistivity tomography* memberikan efektivitas memetakan keberadaan zona konduktif untuk penempatan electrode penangkal petir. Zona konduktif dengan resistivitas $< 7 \Omega\text{-m}$ terdapat di kedalaman 3 – 15 m. Keberadaan lapisan tersebut ditafsirkan sebagai lensa – lensa akuifer air tanah dangkal di Formasi Aluvial Pantai yang telah mengalami paparan air laut. Pengayaan unsur khususnya Na, Cl, dan Mg, telah menjadikan air tanah dangkal berperan sebagai konduktor.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penelitian ini. Terutama penyedia data penelitian ini yaitu Badan Informasi Geospasial.

REFERENSI

- Andersen, B., & Barker, C. (2000). A new era in HVDC? *IEE Review*, 46(2), 33–39.
- Baharuddin, M. Z., Abiding, I. Z., Hashim, A. H., Hussein, H., Chin, Y. E., & Mohamad, A. M. (2006). Application of lightning performance analysis for a tropical climate country. *First International Power and Energy Conference, (PECon 2006) Proceedings*, 591–596.
- Barber, A. J. (2000). The origin of the Woyla Terranes in Sumatra and the late Mesozoic evolution of the Sundaland margin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6), 713–738.
- Barber, A. J., & Crow, M. J. (2003). An evaluation of plate tectonic models for the development of Sumatra. *Gondwana Research*, 6(1), 1–28.
- Briški, M., Stroj, A., Kosović, I., & Borović, S. (2020). Characterization of aquifers in metamorphic rocks by combined use of electrical resistivity tomography and monitoring of spring hydrodynamics. *Geosciences (Switzerland)*, 10(4).
- Calixto, Wesley P., Silva, C. L. B., Gomes, V. M., Reis, M. R. C., Silva Filho, A. M., Coimbra, A. P., & Wainer, G. A. (2022). Application of the Horizontal Soil Stratification and Lateral Profiling Methods for 3D Mapping of the Soil Electrical Resistivity. *Energies*, 15(6).
- Calixto, Wesley Pacheco, Coimbra, A. P., Alvarenga, B., Molin, J. P., Cardoso, A., & Neto, L. M. (2012). 3-D soil stratification methodology for geoelectrical prospecting. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(3), 1636–1643.
- Dawalibi, F. P., Ma, J., & Southey, R. D. (1994). Behaviour of grounding systems in multilayer soils: A parametric analysis. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 9(1), 334–342.
- Hazreek, Z. A. M., Aziman, M., Azhar, A. T. S., Chitral, W. D., Fauziah, A., & Rosli, S. (2015). The behaviour of laboratory soil electrical resistivity value under basic soil properties influences. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 23(1).
- Kalapuge, V., Maduranga, D., Alahacoon, N., & Edirisinghe, M. (2023). Overview of Lightning Trend and Recent Lightning Variability over Sri Lanka. *International Journal of Geo-Information*, 12(67).
- Kovarski, D. (2015). *Ground Resistivity Modelling for the Study of Large Grounding*. May.
- Lachassagne, P., Dewandel, B., & Wyns, R. (2021). Review: Hydrogeology of weathered crystalline/hard-rock aquifers—guidelines for the operational survey and management of their groundwater resources. *Hydrogeology Journal*, 29(8), 2561–2594.
- Loke, M. H., & Barker, R. D. (1996). Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44(1), 131–152.
- Loke, M. H., Chambers, J. E., Rucker, D. F., Kuras, O., & Wilkinson, P. B. (2013). Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method. *Journal of Applied Geophysics*, 95, 135–156.
- McCarter, W. J. (1984). The electrical resistivity characteristics of compacted clays. *Geotechnique*, 34(2), 263–267.
- Naukowe, Z., & Rzeszowskiej, P. (2012). Analysis of a Simple Grounding System. *Electrotechnika*, 32(287).
- Pandey, L. M. S., Shukla, S. K., & Habibi, D. (2015). Electrical resistivity of sandy soil. *Géotechnique Letters*, 5(3), 178–185.

- Rustadi, Darmawan, I. G. B., Haerudin, N., Setiawan, A., & Suharno. (2022). Groundwater exploration using integrated geophysics method in hard rock terrains in Mount Betung Western Bandar Lampung, Indonesia. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 10(1), 10–18.
- Rustadi, Setiawan, A., Darmawan, I. G. B., Haerudin, N., & Suharno. (2022). Identification of Saline Water Intrusion Using Integrated Geoelectrical Method in the Coastal Aquifer of Holo-Quaternary Formation , Lampung Bay. *Applied Environmental Research*, 44(3), 76–87.
- Sabiha, N. A., Alsharif, M., Taha, I. B. M., Elattar, E. E., Metwaly, M. K., & Abd-Elhady, A. M. (2021). Assessment of grounding grid for enhancing wind turbine service sustainability. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 577–589.
- Selvam, S. (2016). 1D geoelectrical resistivity survey for groundwater studies in coastal area: A case study from Pearl city, Tamil Nadu. *Journal of the Geological Society of India*, 87(2), 169–178.
- Shin, S., Cho, S., Kim, E., & Lee, J. (2021). Geophysical properties of precambrian igneous rocks in the gwanin vanadiferous titanomagnetite deposit, korea. *Minerals*, 11(10).
- Sk, M., Ramanujam, N., Champoil, V., Biswas, S. K., Rasool, Q. A., & Ojha, C. (2018). Identification of Groundwater in Hard Rock Terrain Using 2D Electrical Resistivity Tomography Imaging Technique: Securing Water Scarcity at the Time of Seasonal Rainfall Failure, South Andaman. *International Journal of Geosciences*, 09(01), 59–70.
- Tsepav, M. T., Adamu, Y., & Umar, M. A. (2015). *Evaluation of Aquifer Protective Capacity and Soil Corrosivity Using Geoelectrical Method*. 9(11), 676–685.
- Zou, L., Yang, F., Gao, B., Luo, H., Ye, L., & Li, W. (2020). Grounding current dispersion of hvdc grounding system under dynamic seasonal frozen soil. *Progress In Electromagnetics Research C*, 103(July), 211–223.