



Analisis Perubahan Resistivitas Batuan Akibat Pencemaran Limbah Cair Menggunakan Pendekatan Laboratorium

Helmi Alfiaturrohmah*, Novita Risna Sari, Rohmi Khorium Nisa, Donny Harya Juanda,
Firdha Kusuma Ayu Anggraeni
Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Jember
* E-mail: helmyalfy40@gmail.com

Abstract

Indonesia faces very complex problems in the management of groundwater resources. Industrial wastewater that is not managed properly and discharged into the environment will also have a negative impact on the surrounding community. The Wenner Schlumberger geoelectric method is one of the geophysical methods used to determine soil properties, especially oil content. The geoelectric method is one of the geophysical methods to determine changes in the specific resistance of rock layers below the ground surface. The research will be conducted using 2 methods, namely a direct approach with simulation experiments in the laboratory and a literature approach with literature. The results of the data obtained from the measurement of oil liquid waste injected into the rock arrangement cause the rock resistivity to have a high value due to the low electrical conductivity of the oil. This is because oil is a material that has good insulator properties.

Keywords: Resistivity, Wenner-Schlumberger, Groundwater.

How to Cite: Alfiaturrohmah, H., Sari, N., R., Nisa, R., K., Juanda, D., H., Anggraeni, F., K., A. (2023). Analisis Perubahan Resistivitas Batuan Akibat Pencemaran Limbah Cair Menggunakan Pendekatan Laboratorium. *Schrodinger Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Fisika*, 4 (1): 31-36.

PENDAHULUAN

Di Indonesia, pengelolaan sumber daya air tanah menghadapi berbagai permasalahan yang kompleks. Salah satu penyebabnya adalah curah hujan yang tinggi namun sulit ditampung dan disimpan dengan baik untuk digunakan pada musim kering. Selain itu, pengelolaan sumber daya air juga kompleks karena air memiliki fungsi sosial-budaya, ekonomi, dan lingkungan yang beragam. Dengan pertambahan penduduk dan kegiatan ekonomi yang semakin intensif, terjadi perubahan cepat dalam sumber daya alam.

Pertumbuhan industri yang pesat juga menjadi penyebab utama masalah lingkungan. Lahan pertanian mengalami penyusutan setiap tahunnya, yang berdampak pada degradasi agroekosistem, tradisi dan budaya masyarakat agraris, serta menyempitnya lahan pertanian. Perubahan tersebut juga berdampak pada ketersediaan pangan dan pencemaran udara, yang mempengaruhi ketahanan pangan dan kesejahteraan petani. Oleh karena itu, pengelolaan lahan pertanian yang baik diperlukan untuk mencegah alih fungsi lahan yang merugikan sektor pertanian (Nurjasmi, 2021). Pencemaran air tanah juga menjadi masalah serius akibat limbah industri, termasuk limbah minyak (Kareth & Anou, 2022). Limbah industri seperti limbah cair organik, padatan anorganik, logam berat, sisa bahan bakar, dan tumpahan minyak dapat mencemari air tanah. Jika limbah industri dibuang ke perairan tanpa pengelolaan yang tepat, hal ini dapat mempengaruhi kualitas air dan kelangsungan hidup organisme perairan (Pagoray et al., 2021). Oleh karena itu, limbah cair industri harus dikelola dengan baik untuk menghindari dampak negatif bagi lingkungan dan masyarakat sekitar.

Salah satu pendekatan geofisika adalah metode geolistrik Wenner – Schlumberger, yang digunakan untuk mengukur sifat tanah (Rahmat et al., 2020). Metode ini menggunakan arus listrik DC melalui elektroda arus dan elektroda potensial ke dalam tanah. Konfigurasi Wenner-Schlumberger merupakan kombinasi antara konfigurasi Wenner dan Schlumberger, yang dapat memberikan informasi tentang struktur bawah permukaan dan potensi akuifer dengan menggunakan nilai resistivitas tanah. Metode ini dapat digunakan untuk menghitung perubahan tahanan jenis lapisan batuan di bawah permukaan yang didasarkan pada perbedaan nilai resistivitas. Penelitian ini menggunakan metode geolistrik Wenner-Schlumberger untuk melihat kandungan minyak dalam tanah berdasarkan karakteristik lapisan batuan bawah permukaan (Hasan et al., 2021). Metode ini diharapkan dapat membantu dalam menentukan lokasi dan kedalaman sumber minyak, serta membantu dalam pengelolaan dan pencegahan pencemaran lingkungan. Selain itu, metode ini juga dapat membantu dalam menentukan lokasi pengeboran sumur minyak yang efektif dan efisien (Anas et al., 2020).

Dalam metode geolistrik resistivitas, elektroda arus digunakan untuk memberikan arus listrik ke dalam tanah/batuan. Arus ini akan menyebar di bawah permukaan dan beda potensial (tegangan) diukur menggunakan elektroda potensial yang dipasang di permukaan (Sismanto et al., 2019). Dengan demikian, metode ini dapat menggambarkan struktur batuan di bawah permukaan bumi. Pengukuran resistivitas ini sangat berguna dalam menyelidiki lapisan akuifer dan melakukan analisis geometri serta konfigurasi sistem akuifer air tanah (Muhardi et al., 2019). Akuifer adalah lapisan, formasi, atau kelompok formasi geologi yang memiliki sifat permeabilitas baik dalam keadaan terkonsolidasi (lempung) atau tidak terkonsolidasi (pasir). Konduktivitas hidrolik (K) akuifer jenuh air memungkinkan pergerakan air yang ekonomis (Santoso, 2018).. Analisis geometri dan konfigurasi sistem akuifer air tanah dilakukan untuk memahami batas-batas dan lapisan-lapisan yang membentuk akuifer air tanah secara lokal (Budiarjo & Hendrayana, n.d.).. Metode geolistrik menjadi alat yang berguna dalam menyelidiki sifat dan karakteristik akuifer tersebut, dengan pengukuran resistivitas tanah yang memberikan informasi tentang distribusi air dalam lapisan bawah permukaan dan konfigurasi akuifer secara spesifik. Jenis batuan dapat diidentifikasi berdasarkan nilai resistivitasnya. Metode geolistrik resistivitas juga dapat digunakan dalam studi panas bumi.

Metode geolistrik resistivity memanfaatkan sifat kelistrikan lapisan bawah permukaan untuk mencapai tujuan. Nilai resistivitas bahan dapat diukur untuk mengetahui sifat kelistrikan ini. Metode geolistrik resistivitas biasanya menggunakan elektroda arus untuk mengirimkan arus listrik ke permukaan bumi. Arus listrik ini akan merambat ke segala arah di bawah permukaan bumi dan elektroda potensial yang diberapa di permukaan bumi akan mencatat perbedaan potensial atau tegangan pada lapisan batuan (Widodo, 2020). Dalam konteks geofisika, pengukuran resistivitas tanah digunakan untuk memperoleh informasi tentang jenis batuan dan struktur di bawah permukaan, seperti adanya akuifer (lapisan air tanah) atau lapisan batuan keras. Data resistivitas kemudian diolah dan diinterpretasikan untuk membuat model penampang 2D dari lapisan bawah permukaan (Rohmah et al., 2018)

Dalam penelitian ini, penggunaan metode geolistrik resistivitas dengan konfigurasi elektroda Wenner dan Wenner-Schlumberger digunakan untuk memperoleh informasi tentang struktur bawah permukaan dan jenis batuan di dalamnya, tetapi dalam penelitian ini hanya sebatas skala laboratorium.

METODE PENELITIAN

Penelitian akan dilakukan dengan menggunakan 2 metode yaitu pendekatan secara langsung dengan eksperimen simulasi di laboratorium dan pendekatan literatur dengan

kepastakaan. Prosedur penggunaan metode geolistrik Wenner-Schlumberger mengikuti beberapa aspek yang diperlukan. Aspek yang perlu diperhatikan dalam menggunakan metode geolistrik Wenner Schlumberger terhadap minyak dalam tanah meliputi:

1. Pemilihan konfigurasi elektroda yang tepat,
2. Jarak antara elektroda yang sesuai dengan konfigurasi yang dipilih,
3. Injeksi arus listrik dc dengan tegangan tinggi ke dalam tanah melalui elektroda arus,
4. Pengukuran beda potensial yang akurat dengan alat pengukur resistivitas, serta
5. Memperhatikan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran seperti kondisi tanah, kelembaban tanah, dan suhu tanah.

Selain itu, keahlian dan pengalaman dalam pengoperasian metode geolistrik Wenner Schlumberger sangat penting untuk mendapatkan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Analisis data yang diperoleh dari pengukuran harus dilakukan secara cermat dan teliti untuk menentukan karakteristik lapisan batuan bawah permukaan, termasuk kandungan minyak dalam tanah. Berikut adalah tata cara menggunakan metode geolistrik Wenner Schlumberger terhadap minyak dalam tanah:

1. Persiapkan peralatan yang dibutuhkan, seperti kabel penghubung, elektroda arus, elektroda potensial, dan alat pengukur resistivitas.
2. Tentukan lokasi yang akan diteliti dan pilih konfigurasi elektroda yang tepat, yaitu konfigurasi Wenner Schlumberger. Pada kasus kali ini kami menggunakan simulasi berupa tanah dalam wadah dan sudah kami cemari dengan minyak oli bekas.
3. Tancapkan elektroda arus dan elektroda potensial ke dalam tanah dengan jarak tertentu sesuai dengan konfigurasi yang dipilih.
4. Injeksikan arus listrik DC dengan tegangan tinggi ke dalam tanah melalui elektroda arus.
5. Ukur beda potensial yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui tanah dengan menggunakan alat pengukur resistivitas.
6. Analisis data yang diperoleh dari pengukuran untuk menentukan karakteristik lapisan batuan bawah permukaan, termasuk kandungan minyak dalam tanah.

Untuk memahami data dengan metode geolistrik, karakteristik batuan di lapangan diamati serta nilai resistivitas yang diperoleh dari pemodelan inverse least square dengan software Res2Dinv. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan metode optimasi least square non linier dengan inversi 2D yang tersedia pada software Res2Dinv. Data yang dihasilkan dari pemodelan ini mencakup informasi tentang jenis nilai tahanan bawah permukaan, ketebalan material bawah permukaan, dan nilai resistivitas. (Mulyasari et al., 2020).

Metode penelitian kedua ialah menggunakan kepastakaan atau library research yang dilakukan dengan cara mengumpulkan data dari berbagai sumber kepastakaan seperti buku, majalah, jurnal, artikel, laporan, dan dokumen lainnya yang berkaitan dengan topik penelitian kemudian menganalisis data yang diperoleh dari sumber-sumber kepastakaan tersebut. Pemilihan metode ini dipakai juga sebagai pembandingan antara hasil simulasi kami terhadap hasil literatur yang dapat digunakan sebagai pendekatan awal untuk mengukur hasil kualitatif dan kuantitatif pada data sekunder yang relevan dengan topik penelitian. Hasil pengukuran harus disusun dalam laporan penelitian yang berisi ringkasan, analisis, dan kesimpulan dari data yang diperoleh dari pengukuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

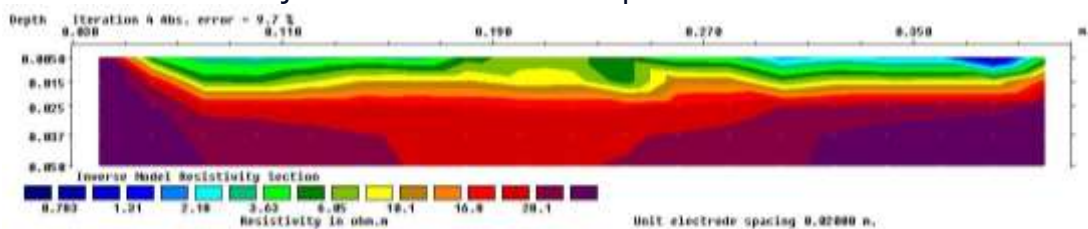
Dasar dari metode resistivitas listrik adalah perbedaan potensial listrik (tegangan) yang terbentuk disekitar elektroda penghantar arus yang ditanam di dalam media konduktif. Distribusi tegangan di sekitar elektroda arus yang didorong ke bawah permukaan tergantung pada resistivitas listrik dari material bawah permukaan dan variasi spasialnya.

Dengan demikian, metode resistivitas listrik dapat digunakan untuk mendeteksi variasi lateral atau vertikal pada sifat listrik bawah permukaan (resistivitas / konduktivitas).

Metode resistivitas listrik melibatkan penyuntikan arus listrik ke bawah permukaan melalui dua elektroda arus dan mengukur perbedaan potensial. Pengukuran resistivitas tunggal membutuhkan empat elektroda yang dipasangkan ke tanah dan menghasilkan resistivitas semu dari material yang terletak diantara elektroda potensial. Survei resistivitas biasanya menggunakan beberapa pasang elektroda dalam berbagai susunan yang dipilih berdasarkan parameter lokasi atau aplikasi survey.

Pengukuran resistivitas biasanya mengumpulkan data dan menghasilkan rasio tegangan yang diukur terhadap arus yang diinduksi. Namun, resistansi bukanlah kriteria material diagnostik karena bervariasi dengan jenis dan bentuk material. Dengan demikian, metode resistivitas biasanya menyajikan dan menginterpretasikan data sebagai nilai resistivitas semu. Resistivitas semu (ρ_a) adalah nilai resistivitas dalam ($\Omega \cdot m$) yang dihasilkan oleh setengah ruang yang homogen secara elektrik dan isotropik dengan pengaturan dan jarak elektroda.

Berikut ini merupakan hasil dari pembacaan data pengukuran resistivitas semu pada susunan batuan skala laboratorium menggunakan konfigurasi Wenner - Schlumberger sebelum dan sesudah diinjeksi oleh limbah cair berupa oli.



Gambar 1. Penampang Resistivitas Tanah Sebelum Diinjeksi Limbah Cair

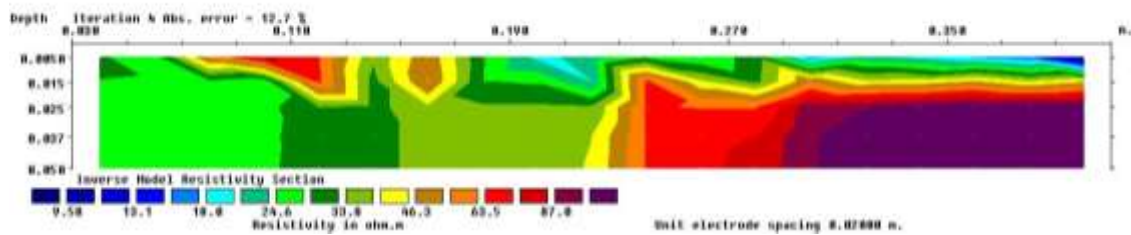
Penampang resistivitas pada struktur batuan yang disusun sebelum tercemar oleh limbah cair ditunjukkan pada gambar 1.1. material yang terdapat di dalamnya terdiri atas batu kerikil, tanah lempung, dan pasir. Interpretasi rincian dari hasil perhitungan dan pengolahan data, secara umum dari tiap datum poin pada penampang resistivitas menunjukkan nilai resistivitas berkisar 0.783 – 28.1 $\Omega \cdot m$. Nilai resistivitas ini dapat dibagi menjadi 3 zona resistivitas yaitu :

1. Zona resistivitas rendah dengan nilai $< 1.31 \Omega \cdot m$ diduga sebagai tanah, dan lempung pasiran.
2. Zona resistivitas sedang dengan nilai $1.31 - 6.05 \Omega \cdot m$ diduga sebagai lapisan lempung dan pasir
3. Zona resistivitas tinggi dengan nilai $> 6.05 \Omega \cdot m$ diduga sebagai lapisan batuan kerikil dengan ukuran cukup besar
4. Secara sederhana, nilai resistivitas pada gambar 1. dapat diinterpretasikan pada tabel 1. berikut ini

Table 1. Interpretasi Litologi Berdasarkan Resistivitas Batuan Pada Gambar 1.

Resistivitas sebenarnya ($\Omega \cdot m$)	Warna	Zona resistivitas	Interpretasi Litologi
< 1.31		Rendah	Tanah dan lempung pasiran
$1.31 - 6.05$		Sedang	Lempung dan pasir
> 6.05		Tinggi	Lempung dan batuan kerikil

Rendahnya tingkat resistivitas suatu batuan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya : 1) kandungan pirit yang tinggi pada batuan membuat batuan menjadi sangat konduktif dan mengurangi resistivitas reservoir, 2) kandungan lempung yang tinggi dan distribusi konduktifnya secara efektif meningkatkan konduktivitas batuan, 3) struktur pori yang kompleks pada batuan, dimana beberapa lapisan dengan resistivitas rendah memiliki proporsi pori intragranular yang lebih tinggi, 4) invasi lumpur dengan salinitas tinggi dapat menyebabkan penurunan resistivitas disekitar batuan. Namun, nilai resistivitas yang rendah pada batuan tidak selalu menunjukkan kualitas reservoir yang buruk. Hal ini dapat disebabkan oleh variabel internal dan eksternal yang kompleks. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis menyeluruh untuk mengidentifikasi komponen yang mempengaruhi nilai resistivitas batuan.



Gambar 2. Penampang Resistivitas Tanah Setelah Diinjeksi Limbah Cair

Penampang resistivitas pada struktur batuan yang disusun tercemar oleh limbah cair ditunjukkan pada gambar 1.2. Material yang terdapat di dalamnya terdiri atas batu kerikil, tanah lempung, pasir, dan limbah cair berupa oli. Interpretasi rincian dari hasil perhitungan dan pengolahan data, secara umum dari tiap datum poin pada penampang resistivitas menunjukkan nilai resistivitas berkisar 9.58 – 87.0 Ω . m.

Hasil dari susunan batuan yang diinjeksi oleh limbah cair (oli) memiliki nilai resistivitas yang rendah. Dalam rentang 10 – 100 Ω .m struktur batuan tanah yang mengandung cairan yang memiliki sifat konduktor yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. Saat zat cair meresap ke dalam batuan, zat cair tersebut mengalir mengisi pori – pori dan celah batuan sehingga mengakibatkan susunan batuan memiliki resistivitas yang rendah.

Sama seperti pada hasil penampang resistivitas tanah sebelum diinjeksi oleh limbah cair, maka penampang resistivitas tanah sesudah diinjeksi limbah cair juga dapat dibagi dalam 3 zona, yaitu : zona rendah dengan rentang resistivitas 9.58 – 18.0 Ω . m, zona sedang dengan rentang resistivitas 24.6 – 46.3 Ω . m, dan zona resistivitas tinggi dengan rentang 63.5 – 87.0 Ω . m.

PENUTUP

Rendahnya tingkat resistivitas suatu batuan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kandungan pirit yang tinggi, kandungan lempung yang tinggi, struktur pori yang kompleks, dan invasi lumpur dengan salinitas tinggi. Namun, nilai resistivitas rendah pada batuan tidak selalu menunjukkan kualitas reservoir yang buruk, karena faktor internal dan eksternal yang kompleks dapat mempengaruhi nilai resistivitas batuan. Metode resistivitas listrik efektif digunakan untuk memahami sifat listrik bawah permukaan, termasuk resistivitas dan konduktivitas batuan. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan nilai resistivitas sebelum dan setelah tercemar oleh limbah cair, dimana dalam penelitian ini oli sebagai limbah cair. Penelitian ini menggambarkan pentingnya analisis menyeluruh dalam mengidentifikasi komponen yang mempengaruhi nilai resistivitas batuan. Hasil data yang diperoleh dari pengukuran Limbah cair oli yang diinjeksikan pada susunan batuan menyebabkan resistivitas batuan memiliki nilai yang rendah karena konduktivitas listrik yang

tinggi dari oli. Hal ini disebabkan oli merupakan bahan yang memiliki sifat konduktor yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anas, N. A., Syamsuddin, S., Harimei, B., & Nasri, M. (2020). Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Di Sekitar Manifestasi Panasbumi Reatoa Kabupaten Maros Menggunakan Survey Geolistrik Resistivitas. *Jurnal Geoelebes*, 4(1), 23. <https://doi.org/10.20956/geoelebes.v4i1.8916>
- Budiarjo, & Hendrayana, H. (n.d.). Analisis Geometri dan Konfigurasi Sistem Akuifer Air Tanah berdasarkan Data Geofisika di Kabupaten Sleman Bagian Timur. *Artikel Riset*.
- Hasan, M. F. R., Azhari, A. P., & Agung, P. A. M. (2021). Investigasi Sumber Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger Dan Pengeboran. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 7(2), 140–148. <https://doi.org/10.20527/jukung.v7i2.11950>
- Kareth, Z. V., & Anou, K. N. (2022). Studi Potensi Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Dan Wenner Di Kampung Nambon Kabupaten Jayapura. *JFT: Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 9(1), 45–54. <https://doi.org/10.24252/jft.v9i1.27289>
- Muhardi, M., Perdhana, R., & Nasharuddin, N. (2019). Identifikasi Keberadaan Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger (Studi Kasus: Desa Clapar Kabupaten Banjarnegara). *Prisma Fisika*, 7(3), 331–336. <https://doi.org/10.26418/pf.v7i3.39441>
- Mulyasari, R., Darmawan, I. B., Effendi, D. S., Saputro, S. P., Hesti, H., Hidayatika, A., & Haerudin, N. (2020). Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Untuk Analisis Bidang Gelincir Dan Studi Karakteristik Longsoran Di Jalan Raya Suban Bandar Lampung. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 6(1), 66–76. <https://doi.org/10.23960/jge.v6i1.61>
- Nurjismi, R. (2021). Review: Potensi Pengembangan Pertanian Perkotaan oleh Lanjut Usia untuk Mendukung Ketahanan Pangan. *Jurnal Ilmiah Respati*, 12(1), 11–28. <https://doi.org/10.52643/jir.v12i1.1406>
- Pagoray, H., Sulistyawati, S., & Fitriyani, F. (2021). Limbah Cair Industri Tahu dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air dan Biota Perairan. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 9(1), 53–65. <https://doi.org/10.36084/jpt.v9i1.312>
- Rahmat, F., Juventa, & MZ, N. (2020). Identifikasi Sebaran Batubara berdasarkan Nilai Resistivitas Batuan Konfigurasi Wenner Desa Sungai Buluh, Kecamatan Muara Bulian, Kabupaten Batanghari. *Jurnal Teknik Kebumihan*, 6(1), 44–52. <https://online-journal.unja.ac.id/jtk/article/view/14583>
- Rohmah, S. A., Maryanto, S., & Susilo, A. (2018). Identifikasi Air Tanah Daerah Agrotechno Park Cangar Batu Jawa Timur Berdasarkan Metode Geolistrik Resistivitas. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 14(1), 5–11. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v14i1.3106>
- Santoso, B. (2018). Identifikasi Akuifer Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Di Daerah Bebandem, Karang Asem, Bali. *EKSAKTA*, 19(1), 24–24.
- Saputra, F., Baskoro, S. A., Supriyadi, S., & Priyantari, N. (2020). Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner dan Wenner-Schlumberger pada Daerah Mata Air Panas Kali Sengon di Desa Blawan-Ijen. *Berkala Sainstek*, 8(1), 20–24. <https://doi.org/10.19184/bst.v8i1.11991>
- Sismanto, S., Sutanto, Y., Akbar, R., & Alaidin, S. F. (2019). Identifikasi Sebaran dan Kedalaman Pasir Besi Di Daerah Pantai Samas Dusun Ngepet Desa Srigading Kab.Bantul dengan Menggunakan Metode Geofisika Magnetik, Dan Geolistrik. *Jurnal Fisika Indonesia*, 21(3), 26–37. <https://doi.org/10.22146/jfi.42357>
- Widodo, dan. (2020). Analisis Pengaruh Intrusi Air Laut terhadap Keberadaan Air Tanah di Desa Nusapati, Kabupaten Mempawah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas. In *Indonesian Journal of Applied Physics* (Vol. 10, Issue 2).