

INSTRUMEN *REAL TIME ROCK RESISTIVITY METER* UNTUK MENGUKUR RESISTIVITAS DAN MEMONITOR SIFAT KELISTRIKAN SAMPEL BATUAN

Ida Bagus Suananda Yogi, Rian Pangestu, I Gede Boy Darmawan, Karyanto

Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung

e-mail : suananda.yogi@eng.unila.ac.id

Abstrak. Resistivitas adalah salah satu sifat fisis batuan yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti eksplorasi sumber daya, geoteknik, teknik lingkungan, dan mitigasi bencana. Nilai resistivitas didapat dengan menggunakan pengukuran geolistrik, MT, ataupun AMT di permukaan. Nilai yang diukur di lapangan dapat divalidasi dengan membandingkan nilai resistivitas sampel batuan secara langsung. Oleh sebab itu, dibuatlah instrumen *Real Time Rock Resistivity Meter* yang dirancang untuk dapat mengukur nilai resistivitas batuan secara otomatis dan langsung (*real time*). Proses monitor dan pengukuran dilakukan di komputer dengan memanfaatkan microcontroller Arduino. Validasi alat dilakukan dengan menggunakan resistor sebesar 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω , dan 1 M Ω dengan error pengukuran kurang dari 2.2 %. Sampel batuan yang diukur berupa batuan Tuf dan batuan beku. Hasil pengukuran menghasilkan dua kecenderungan nilai, yaitu saat hasil pengukuran polaritas positif dan negatif. Perbedaan ini terjadi karena adanya energi listrik yang tersimpan di dalam batuan. Dari analisis yang dilakukan, nilai resistivitas batuan dihitung dari rata-rata kedua polaritas. Batuan tuf memiliki nilai resistivitas sebesar 12,6 k Ω m dan batuan beku sebesar 262 k Ω m. Tuf basah memiliki nilai resistivitas 89,7 Ω m dan berangsur naik hingga 10,1 k Ω m selama 9 hari. Nilai yang bervariasi ini terjadi karena batuan tuf memiliki rekahan yang dapat menyimpan dan cepat melepas air. Dengan kemampuan ini, instrumen *Real Time Rock Resistivity Meter* dapat digunakan untuk validasi atau bahkan menghasilkan referensi nilai resistivitas formasi batuan di sekitar kita.

Kata Kunci: Resistivitas; Arduino; Geolistrik; Instrumentasi

Abstract. Resistivity is one of the physical properties of rock that is widely used in various fields such as resource exploration, disaster mitigation, geotechnical, and environmental engineering. The resistivity value is obtained using geoelectric, MT, or AMT measurements on the surface. The values measured in the field can be validated by comparing the resistivity values of rock samples directly. Therefore, the *Real Time Rock Resistivity Meter* instrument was created which is designed to measure the resistivity value of rocks automatically and in real time. The monitoring and measurement process is carried out on a computer using the Arduino microcontroller. Instrument validation is carried out using resistors of 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω , and 1 M Ω with a measurement error of less than 2.2%. Rock samples measured were Tuff and igneous rocks. The measurement results produce two value trends, namely when the measurement results are positive and negative polarity. This difference occurs because of the electrical energy stored in the rock. From the analysis carried out, the rock resistivity value is calculated from the average of the two polarity. The tuff rock has a resistivity value of 12.6 k Ω m and igneous rock of 262 k Ω m. Wet tuff has a resistivity value of 89.7 Ω m and gradually rises to 10.1 k Ω m for 9 days. This varying value occurs because the tuff rock has fractures that can store and quickly release water. With this capability, the *Real Time Rock Resistivity Meter* instrument can be used for validation or even to generate a reference value for the resistivity of rock formations around us.

Keywords: Resistivity; Arduino; Geoelectric; Instrument

PENDAHULUAN

Geofisika mempelajari bumi dari sifat fisis batuan, salah satunya sifat kelistrikan berupa resistivitas batuan. Resistivitas mengindikasikan kesukaran sebuah batuan untuk melewatkan arus listrik. Nilai ini dipengaruhi oleh faktor-faktor internal dari batuan seperti, kandungan air, porositas, kandungan mineral, sifat matriks batuan,

dsb. Penggunaan resistivitas di bidang keteknikan bangunan salah satunya untuk memetakan keberadaan retakan bendungan. Raji dan Adedoyin, 2020 melakukan survey resistivitas permukaan untuk mendeteksi kerusakan bendungan. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa nilai resistivitas batuan yang tersturasi air kurang dari 100 Ω m,

batuan beku yang dominan di area tersebut memiliki nilai resistivitas 500 Ωm , Sementara itu, fondasi bangunan bendungan yang diisi oleh batuan granit memiliki resistivitas sangat besar (>12000 Ωm). Hal menarik yang didapat dari penelitian ini adalah ditemukannya rongga di fondasi bangunan yang disisipi oleh air dan memiliki nilai resistivitas sangat rendah (<10 Ωm).

Di bidang lingkungan, penentuan resistivitas dapat membantu peneliti untuk mengetahui penyebaran limbah cair pada media padat (Karyanto, 2007). Penelitian lain juga dilakukan untuk mendeliniasi akuifer air tanah di cekungan sedimen (Aluko dkk., 2017). Pada penelitian ini ditemukan bahwa batuan pasir yang tersaturasi air memiliki nilai resistivitas 13,7 Ωm hingga 253 Ωm . Mengacu pada nilai resistivitas permukaan dan data sampel diketahui memiliki permeabilitas 46 l/s hingga 48 l/s. Oleh karena itu, batuan ini yang dianggap sebagai akuifer yang produktif.

Penentuan bidang gelincir yang berpotensi longsor juga dapat dilakukan dengan menggunakan nilai resistivitas batuan. Potensi ini didapat dari menghubungkan parameter geoteknik batuan seperti indeks plastisitas dengan resistivitas batuan (Mohammed dkk., 2019).

Pengukuran resistivitas dapat dilakukan dengan cara mengukur dari permukaan dengan metode Wenner, Schlumberger atau Dipole-dipole, atau dengan secara langsung mengukur sampel batuan. Pengukuran yang biasa dilakukan adalah pengukuran dipermukaan yang dapat mengetahui nilai tahanan jenis di bawah permukaan. Nilai tahanan jenis ini dicocokkan dengan daftar nilai resistivitas batuan di seluruh dunia yang telah dipublikasikan secara global. Permasalahan yang ditemukan adalah nilai di daftar resistivitas tersebut terlalu luas dan saling tumpang tindih, sehingga diperlukan pengukuran langsung terhadap batuan yang kita miliki (Giao dkk., 2003). Dengan mampu mengukur nilai resistivitas batuan secara langsung maka kita bisa mendapatkan sifat kelistrikan yang unik dari geologi Lampung, tanpa perlu mengacu kepada nilai global.

Oleh karena itu, perlu dibuat sebuah instrumen pengukur nilai resistivitas yang mampu mengkuantifikasi nilai resistivitas batuan. Desain dan mekanisme instrumen ini perlu dipelajari dan dipersiapkan sehingga alat yang digunakan dapat menjadi alat yang tepat guna. Sebelumnya desain instrumen ini telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Desain pada Telford dkk., 1990 menggunakan sistem empat elektroda dan arus AC. Giao dkk., 2003 telah mengembangkan instrumen untuk mengukur sampel batuan lempung dengan menggunakan empat elektroda DC. Instrumen pengukuran dengan empat elektroda juga dikembangkan oleh Caselle dkk., 2019 yang digunakan untuk mengukur batuan gipsum. Instrumen dengan empat elektroda cocok digunakan untuk batuan lunak.

Berdasarkan permasalahan tersebut penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membuat sebuah alat pengukur resistivitas batuan secara langsung. Alat ini selanjutnya disebut sebagai *Real Time Rock Resistivity Meter*. Instrumen ini menggunakan arus DC yang sesuai dengan kondisi pengukuran di lapangan, yaitu menggunakan arus DC. Selain itu, instrumen ini menggunakan dua elektroda diujung batuan yang dapat digunakan untuk mengukur sampel batuan lunak dan keras. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan instrumen pengukuran resistivitas batuan secara langsung. Instrumen ini kemudian akan digunakan sebagai sarana utama dalam mengkarakterisasi sifat kelistrikan formasi batuan yang ada, khususnya di Lampung.

TEORI RESISTIVITAS

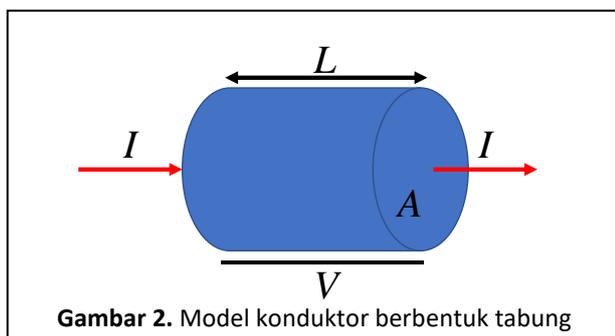
Resistansi adalah kuantitas kelistrikan yang menggambarkan sebuah benda atau material menahan arus listrik yang mengalir di dalamnya. Nilai resistansi (R) memiliki satuan ohm (Ω). Secara matematis, resistansi dapat disebut sebagai perbandingan antara beda potensial dan arus yang dihasilkan. Jika kita menerapkan perbedaan potensial yang sama antara ujung batang tembaga dan kaca yang serupa secara geometris, akan menghasilkan arus yang sangat berbeda.

Karakteristiknya konduktor yang memengaruhi adalah hambatan atau resistansi listrik dari batang. Dengan menentukan resistansi antara dua titik konduktor serta menerapkan perbedaan potensial (V) antara titik-titik tersebut dan mengukur arus (I) yang dihasilkan. Hambatan (R) kemudian dapat ditulis

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

Resistansi konduktor tergantung pada cara pemberian beda potensial yang akan diterapkan. **Gambar 1**, misalnya, menunjukkan perbedaan potensial yang diberikan dalam dua cara berbeda pada konduktor yang sama. Jika aliran arus listrik dimasukkan ke dalam konduktor, maka nilai resistansi di kedua kasus akan berbeda. Kecuali dinyatakan lain, maka beda potensial yang diberikan sebagaimana diterapkan pada **Gambar 1** (Halliday dkk., 2011).

Resistansi (R) adalah sifat dari objek, sedangkan resistivitas (ρ) adalah sifat dari material, jadi berapapun ukuran dari objek nilai resistivitas akan sama. Sama halnya dengan massa jenis pada sebuah material. Resistivitas atau yang juga dikenal sebagai tahanan jenis (ρ) memiliki satuan ($\Omega \cdot m$).



Gambar 2. Model konduktor berbentuk tabung

Nilai resistansi sebuah tabung homogen isotropis seperti pada **Gambar 2** dapat dihitung dengan persamaan.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

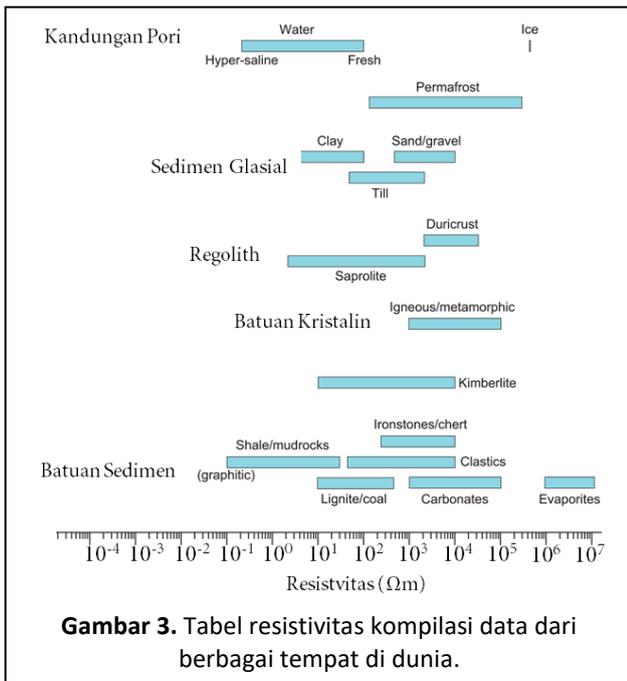
dengan L adalah panjang, A merupakan luas penampang tempat kontak antara elektroda dan

benda, dan ρ adalah resistivitas dari material penyusun benda tersebut.

Sementara itu, jika kita substitusikan persamaan 1 ke dalam persamaan 2 maka dapat dihitung nilai resistansi sebuah benda. Jika diketahui arus yang mengalir, beda tegangan yang terukur, luas penampang, dan panjang benda maka nilai resistivitas dihitung dengan persamaan

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (3)$$

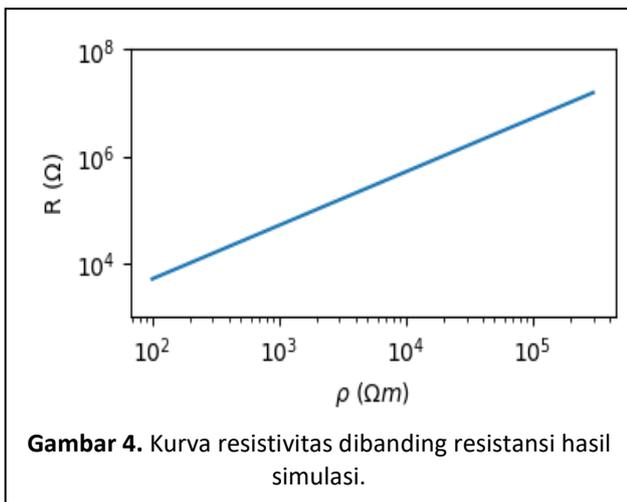
Kita dapat menggunakan resistivitas untuk mengidentifikasi jenis batuan, kandungan air, ataupun porositas batuan, namun berdasarkan data resistivitas empiris yang diukur di batuan dan material di seluruh dunia dapat dilihat pada **Gambar 3** (Dentith & Mudge, 2014), hal ini tidak mudah dilakukan. Pada gambar ini terlihat variasi resistivitas dalam skala log yang cukup lebar dan saling beririsan antar batuan. Hal ini mengindikasikan secara umum cukup susah mendefinisikan batuan berdasarkan nilai resistivitas data permukaan yang tepat, tanpa melakukan pengukuran resistivitas batuan sampel. Hal yang mungkin dilakukan adalah mengambil sampel sebanyak mungkin dan secara langsung menghitung resistivitas batuan tersebut. Semakin banyak data resistivitas yang tersedia, maka studi di masa mendatang akan lebih mudah dalam menentukan jenis batuan berdasarkan resistivitas. Hal ini sudah dilakukan oleh Caselle dkk., 2019 yang melakukan pengukuran langsung nilai resistivitas gypsum dari sampel yang diambil di lokasi penelitian.



Gambar 3. Tabel resistivitas kompilasi data dari berbagai tempat di dunia.

METODOLOGI

Di alam ada berbagai jenis batuan, dari berbagai jenis itu banyak faktor yang memengaruhiresistivitas batuan. Untuk memperkirakan respon resistivitas terhadap nilai tegangan dan arus pertama-tama dihitung nilai resistansi yang mungkin. Resistansi dapat dihitung berdasarkan nilai resistivitas batuan dan dimensi. Berdasarkan tabel resistivitas pada **Gambar 3** dan memperkirakan batuan memiliki dimensi berbentuk tabung dengan diameter 2.5 cm dan ketinggian 2.5 cm. Dipilih batuan yang ada di daerah Lampung, yaitu batuan pasir, batuan beku, dan batuan tuf yang telah termetamorfkan. Rentang resistivitas yang digunakan berdasarkan tabel di atas adalah

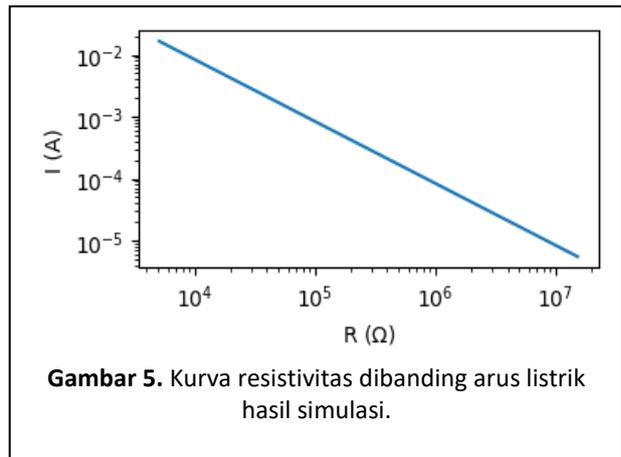


Gambar 4. Kurva resistivitas dibanding resistansi hasil simulasi.

dari 100 Ωm hingga 300000 Ωm. Menggunakan simulasi berdasarkan rumus resistivitas didapat nilai resistansi sesuai **Gambar 4**.

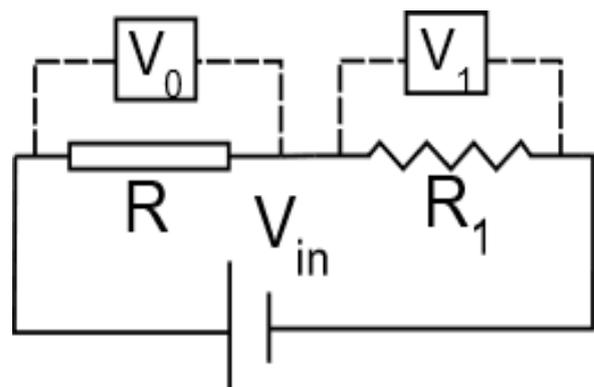
Nilai R terkecil adalah $5 \times 10^3 \Omega$ dan nilai terbesar adalah $15 \times 10^6 \Omega$. Dengan bekal nilai resistansi ini dihitung nilai arus jika diberikan nilai voltase tertentu. Karena besarnya nilai resistansi yang mungkin diukur, dipilih sebuah sumber listrik dengan voltase yang besar. Pada penelitian ini digunakan sumber tegangan yang dapat menghasilkan voltase maksimum 80 V.

Dari perhitungan didapat nilai arus terkecil atau saat resistivitas batuan terbesar adalah 5,5 uA, dan nilai arus terbesar atau saat resistivitas batuan terkecil adalah 16 mA (**Gambar 5**).



Gambar 5. Kurva resistivitas dibanding arus listrik hasil simulasi.

Metode yang digunakan untuk mengukur arus adalah dengan melakukan pembagian tegangan antara tegangan sampel dan tegangan sebuah resistor sesuai dengan **Gambar 6**. R adalah sampel batuan yang diukur, R_1 adalah resistor batuan yang digunakan untuk membagi tegangan, dan V_{in} adalah



Gambar 6. Skema pembagi tegangan

sumber tegangan. Berdasarkan hukum pertama Ampere arus dan nilai R dapat dihitung dilakukan dengan persamaan 3

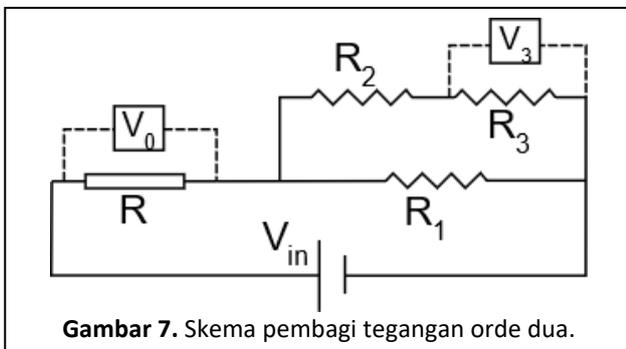
$$I = V_1 / R_1$$

$$R = V_0 / I \tag{3}$$

Pada skema ini hasil V_1 yang terukur bervariasi dari 0.005 V hingga 79.92 V. Karena ingin dibuat sebuah instrument pengukuran digital, maka voltase yang diukur harus mampu terakomodasi oleh toleransi dari Arduino, yaitu 5 V. Berkaca pada hal tersebut dibuat sebuah mekanisme pembagi tegangan orde dua, sebagai berikut

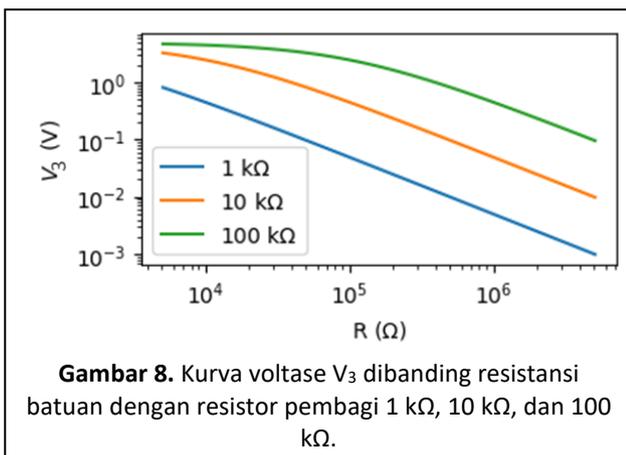
$$I = V_3 \frac{R_1 + (R_2 + R_3)}{R_1 R_3} \tag{4}$$

$$R = V_0 / I$$



Gambar 7. Skema pembagi tegangan orde dua.

Dengan persamaan di atas dicoba simulasi pengukur V_1 nilai R_p yang bervariasi, yaitu 1 k Ω , 10 k Ω , dan 100 k Ω . Simulasi ini dilakukan karena Arduino memiliki ADC ADS1115 sebesar 15-bit atau mampu mengukur nilai V terkecil sebesar 0.1875 mV atau 0.0001875 V.



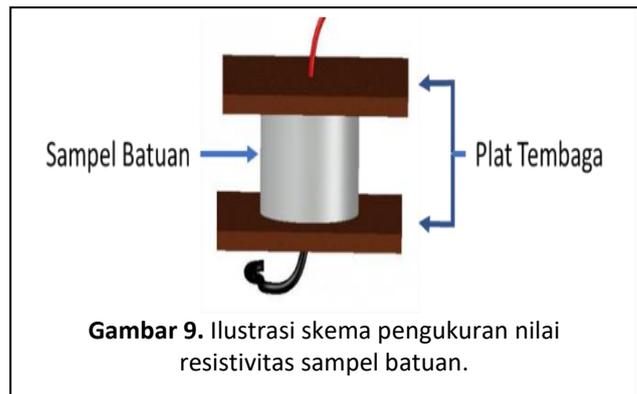
Gambar 8. Kurva voltase V_3 dibanding resistansi batuan dengan resistor pembagi 1 k Ω , 10 k Ω , dan 100 k Ω .

Dari kurva pada Gambar 8 dan Tabel 1 diketahui bahwa nilai R_p yang optimal adalah 100 k Ω karena pada saat mengukur min V_3 (resistivitas batuan terbesar) dan max V_3 (resistivitas batuan terkecil) menghasilkan hasil yang cukup besar dibanding resolusi minimal ADC ADS1115 Arduino.

Tabel 1. Nilai maksimum dan minimum yang dapat diukur untuk resistor pembagi 1 k Ω , 10 k Ω , dan 100 k Ω .

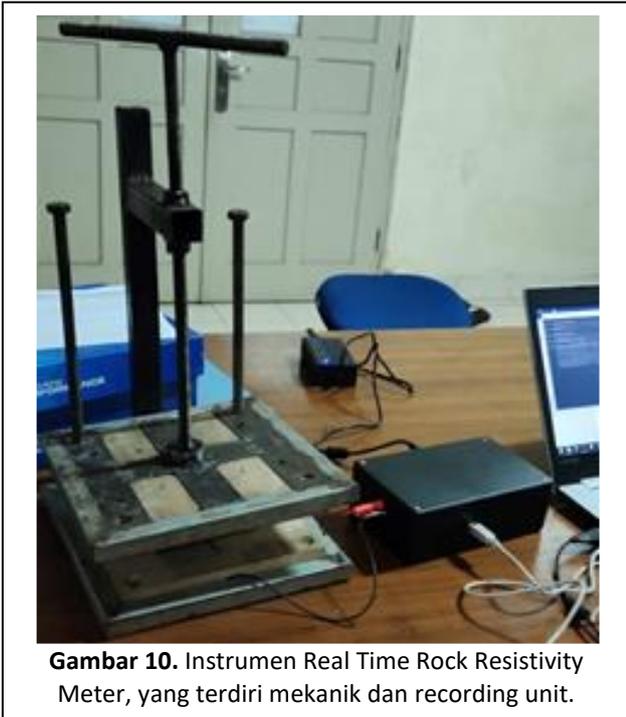
R_p (Ω)	V_3 (V)	
	Min	Max
10^3	0.0002	0.656
10^4	0.0026	2.650
10^5	0.0260	3.806

Mengacu pada Halliday dkk., 2011 listrik dialirkan dari permukaan sampel bukan menusuk batuan dengan elektroda. Sampel yang telah dipotong sedemikian rupa sehingga berbentuk silinder atau balok dihubungkan dengan plat tembaga di kedua ujung permukaan seperti Gambar 9.



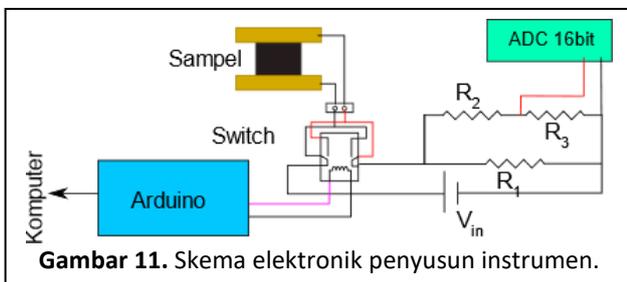
Gambar 9. Ilustrasi skema pengukuran nilai resistivitas sampel batuan.

Untuk menahan agar pengukuran tetap stabil, model standar tersebut dikembangkan menjadi mekanik seperti Gambar 10.



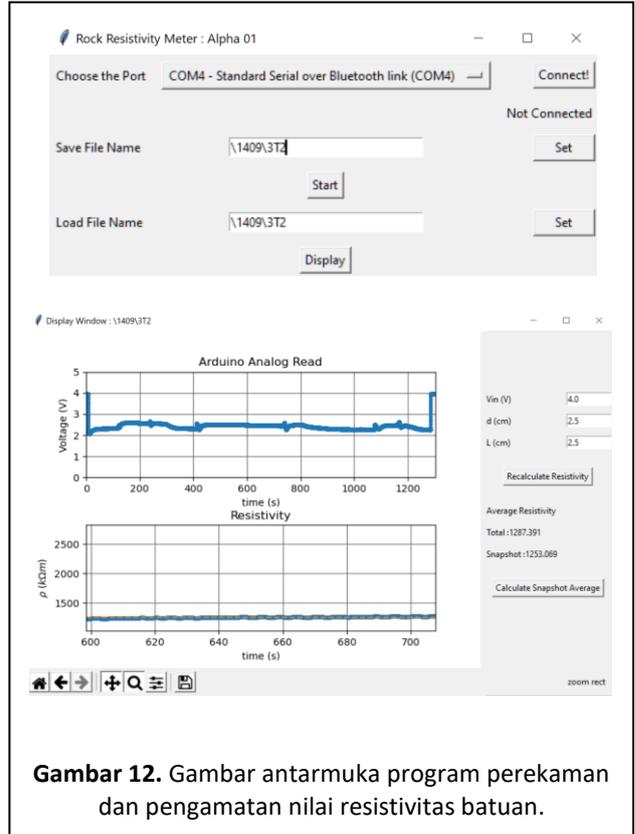
Gambar 10. Instrumen Real Time Rock Resistivity Meter, yang terdiri mekanik dan recording unit.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan rangkaian di bawah. Nilai tegangan V_3 diukur dengan analog to digital converter (ADC) yang memiliki kemampuan resolusi hingga 15-bit, yaitu ADS1115. Data dari ADS1115 dikirim melalui Arduino ke komputer secara langsung (real time). Pada instrumen ini juga digunakan switch untuk membalik polarisasi listrik yang masuk ke sampel. Switch dikontrol langsung dengan komputer.



Gambar 11. Skema elektronik penyusun instrumen.

Pada **Gambar 11**, data yang direkam oleh Arduino dikirim ke perangkat komputer untuk dipantau dan direkam. Pemantauan dan perekaman dilakukan dengan sebuah program yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman python. Hasil pengukuran disimpan ke dalam komputer dengan jenis file .csv. Program ini juga dapat digunakan untuk menampilkan dan menganalisis data yang

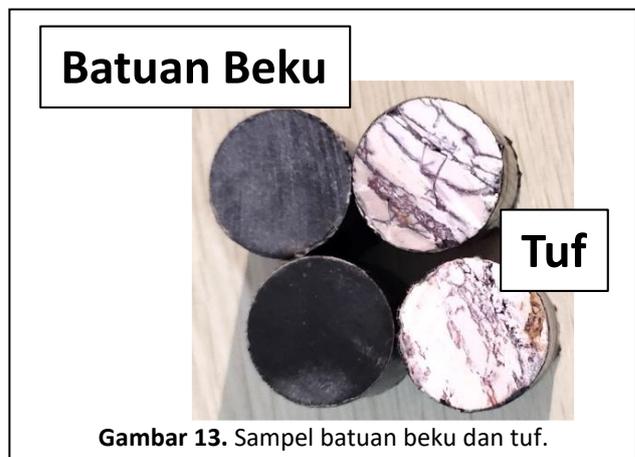


Gambar 12. Gambar antarmuka program perekaman dan pengamatan nilai resistivitas batuan.

direkam. Berikut tampilan program antarmuka di sistem operasi Windows 10. Program dapat menghitung nilai resistivitas sampel berdasarkan dimensi sampel (**Gambar 12**).

Sampel batuan yang keras diusahakan dibentuk dalam bentuk silinder, sedangkan untuk batuan yang lunak dan mudah pecah bentuk yang digunakan adalah balok.

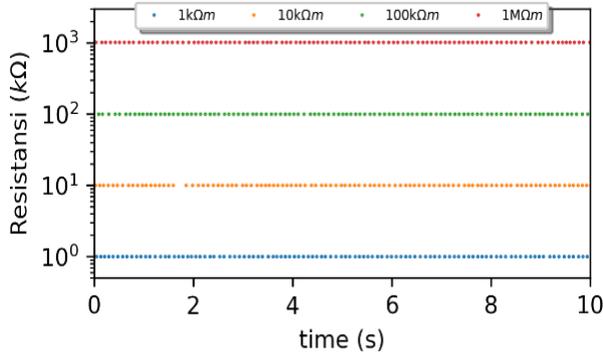
HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 13. Sampel batuan beku dan tuf.

Untuk mengetahui performa dari alat yang digunakan, dilakukan uji dengan resistor 1 k Ω , 10 k Ω

dan 100 kΩ dengan rentang kesalahan ±1%. Hasil uji resistor 1 kΩ adalah 1.003 kΩ, sedangkan untuk resistor 10 kΩ adalah 10.07 kΩ, dan 100 kΩ adalah 100.9 kΩ dan 1M, toleransi 2%, 1021731.511.



Gambar 14. Hasil pengukuran resistor 1 kΩ, 10 kΩ, 100 kΩ, dan 1 MΩ.

Pengukuran dilakukan dengan waktu 10s, dengan rentang pengukuran 85 ms hingga 100 ms. Total pengukuran selama 10s adalah kurang lebih 100 data. Dari hasil tersebut didapatkan nilai berikut. Pada **Tabel 2** tampak bahwa nilai yang terukur masih sesuai dengan nilai resistor dan lebih rendah dari error yang tertera pada resistor. Hal ini menunjukkan bahwa instrumen yang dibuat dapat secara tepat mengukur resistansi dan dapat diterapkan untuk mengukur resistivitas sampel batuan.

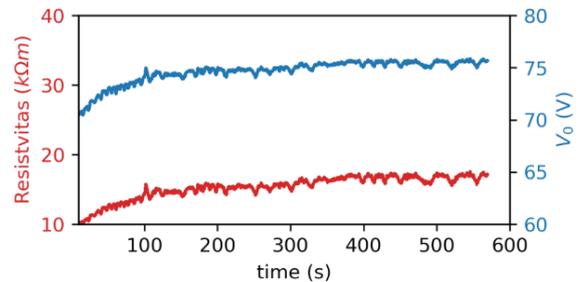
Tabel 2. Validasi instrumen *Real Time Rock Resistivity Meter* dengan mengukur resistor.

Resistor (Ω)	Error	Rata-rata Pengukuran (Ω)	Error Pengukuran	Std dev
1000	1 %	1003	0.4 %	1.38
10000	1 %	10073	0.7 %	1.56
100000	1 %	100926	0.9 %	14.07
1000000	2 %	1021735	2.2 %	157.89

Selanjutnya adalah mengukur sampel batuan yang ada, yaitu batuan tuf. Batuan tuf yang digunakan adalah batuan tuf yang telah mengalami fase metamorfosa sehingga batuan tersebut menjadi lebih keras dan menjadi lebih padat. Selain menjadi lebih keras, di batuan tersebut muncul rekahan-rekahan.

Listrik dengan beda tegangan 80V diinjeksikan ke dalam sampel batuan tuf, dengan menggunakan

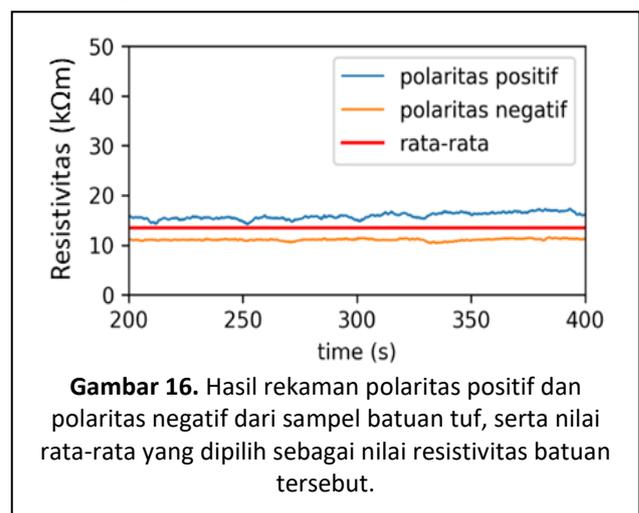
instrumen *Real Time Rock Resistivity Meter* didapatkan pola tegangan dan resistivitas pada sampel sebagai berikut. Pada **Gambar 15** tampak bahwa pola tegangan di sampel (V_0) naik dan berangsur konstan di akhir pengukuran. Sementara itu ketika dikonversi kedalam besaran resistivitas nilai resistivitas juga naik sebanding dengan kenaikan tegangan V_0 .



Gambar 15. Kurva rekaman tegangan dan resistivitas sampel batuan.

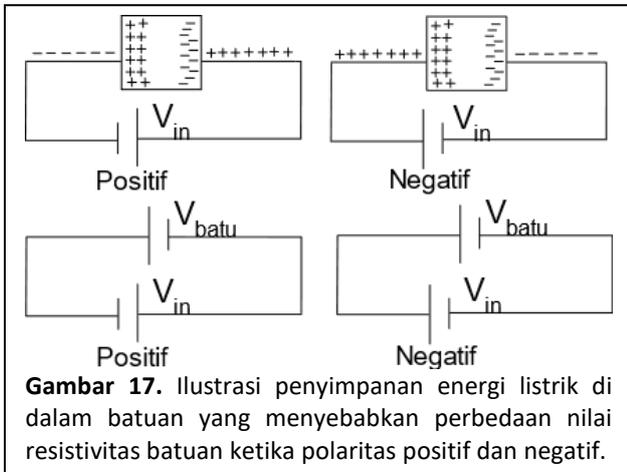
Untuk saat ini, kami mendefinisikan resistivitas batuan ketika nilai resistivitas yang terukur stabil, hal ini juga dilakukan ketika mengukur nilai resistivitas di lapangan dengan menggunakan alat geolistrik manual seperti Naniura.

Berikut ini adalah hasil pengukuran nilai resistivitas sampel tuf dengan posisi sampel yang berbeda. Posisi awal disebut sebagai polaritas positif, atau posisi pertama batuan ketika dialiri arus dan polaritas negative atau posisi setelah batuan itu dibalik dari posisi awal. Saat polaritas positif nilai resistivitas terukur sebesar 15,9 kΩm. Sementara itu, ketika polaritas negative nilai resistivitas batuan beku yang terukur sebesar 11,1 kΩm.



Gambar 16. Hasil rekaman polaritas positif dan polaritas negatif dari sampel batuan tuf, serta nilai rata-rata yang dipilih sebagai nilai resistivitas batuan tersebut.

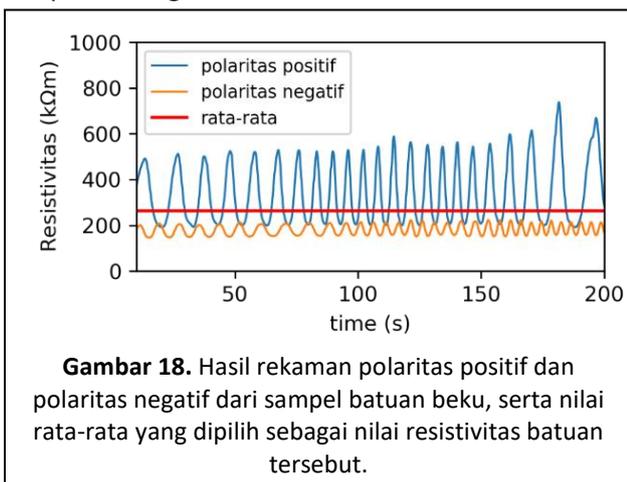
Hal ini diperkirakan karena adanya beda tegangan yang disimpan di dalam batuan. Oleh karena itu saat arus listrik searah dengan listrik yang tersimpan maka nilai V_0 yang terukur akan semakin besar dari nilai yang seharusnya, tapi akan berkurang jika arah terbalik. Seperti ilustrasi berikut



Gambar 17. Ilustrasi penyimpanan energi listrik di dalam batuan yang menyebabkan perbedaan nilai resistivitas batuan ketika polaritas positif dan negatif.

$$\begin{aligned} \text{Polaritas Positif} \quad V_0^+ &= V_{in} + V_{batu} \\ \text{Polaritas Negatif} \quad V_0^- &= V_{in} - V_{batu} \quad (4) \\ V_0 &= (V_0^+ + V_0^-) / 2 \end{aligned}$$

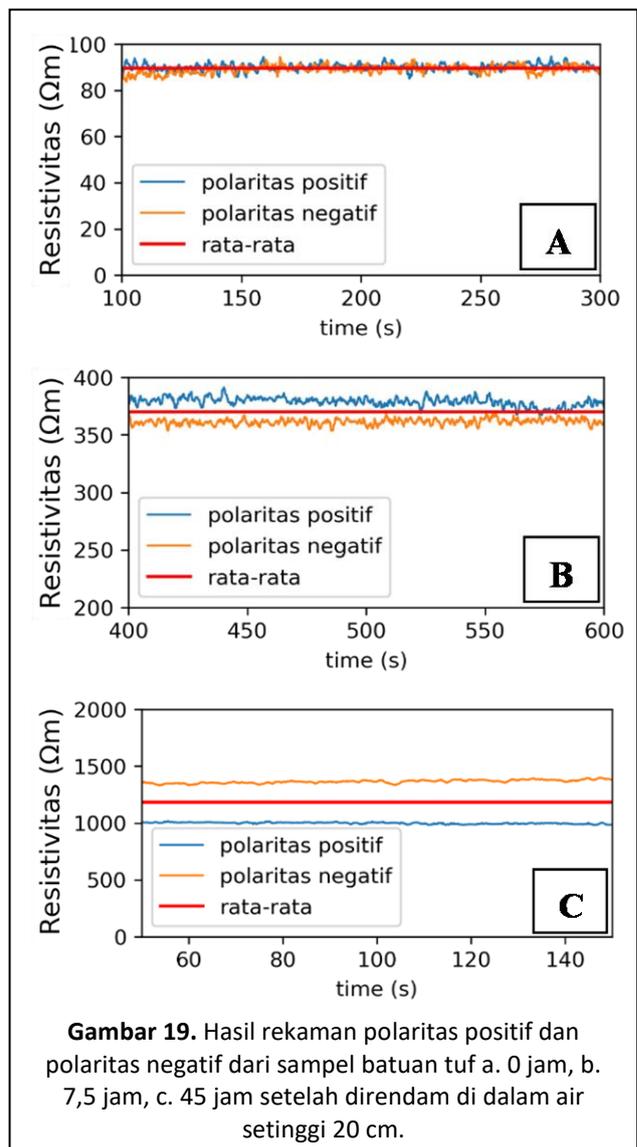
Dari data ini nilai resistivitas dapat dihitung dari rata-rata antara nilai polaritas positif dan negatif sehingga efek tegangan di dalam batuan dapat diminimalisir. Pada sampel batuan tuf, nilai rata-rata kedua polarisasi adalah 12,6 k Ω m. Hal ini juga diterapkan pada pengukuran batuan beku, namun perbedaannya pada pengukuran nilai resistivitas batuan beku ditemukan adanya fluktuasi nilai yang teratur seperti pada gambar. Pola fluktuasi periodik ini muncul pada polaritas positif maupun negatif, tetapi rentang fluktuasi berbeda. Jika dirata-rata



Gambar 18. Hasil rekaman polaritas positif dan polaritas negatif dari sampel batuan beku, serta nilai rata-rata yang dipilih sebagai nilai resistivitas batuan tersebut.

maka nilai resistivitas pada polaritas positif dan negatif memiliki kecenderungan yang mirip dengan data sebelumnya yang mana nilai polarisasi positif dan negatif mencerminkan adanya beda tegangan yang tersimpan di dalam batuan. Proses meratakan dapat menghilangkan efek tersebut. Nilai yang didapat dari pengukuran batuan beku adalah 262 k Ω m. Nilai ini masih masuk dalam rentang batuan beku pada **Gambar 3**.

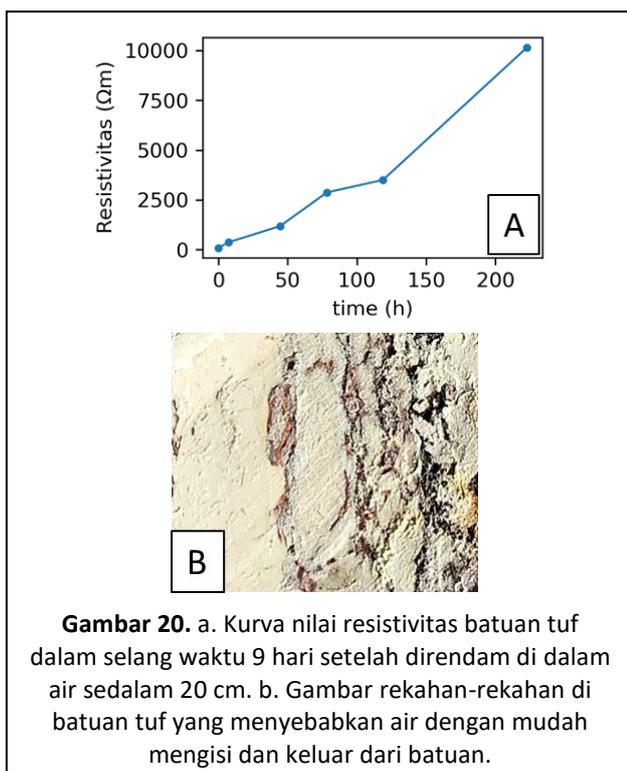
Kami juga mencoba merendam sampel di dalam air untuk mengetahui efek air terhadap batuan. Sampel batuan direndam di dalam air selama 24 jam setinggi 20 cm. Setelah itu diukur dan didapat hasil berikut. Batuan tuf memberikan perubahan nilai yang signifikan masih di dalam rentang pengukuran sebelum direndam di dalam



Gambar 19. Hasil rekaman polaritas positif dan polaritas negatif dari sampel batuan tuf a. 0 jam, b. 7,5 jam, c. 45 jam setelah direndam di dalam air setinggi 20 cm.

air, yaitu 89.6 Ω m. Hasil pengukuran ini sangat rendah, dibanding pengukuran awal sebesar 12,6 k Ω m. Penurunan ini dikarenakan air memiliki konduktivitas yang lebih baik sehingga nilai resistivitas batuan yang mengandung air akan lebih mudah menghantarkan listrik. Selain pengukuran nilai resistivitas yang lebih rendah, perbedaan antara nilai polaritas positif dan negatif lebih kecil, yaitu 90,1 Ω m untuk polaritas positif dan 89,1 Ω m untuk polaritas negatif.

Nilai resistivitas tuf secara berangsur membesar sehingga dan juga perbedaan polaritas positif dan negatif makin besar juga (**Gambar 19**). Pada kasus ini terlihat bahwa semakin tinggi konten air di batuan maka nilai resistivitas semakin rendah dan kemampuan batuan dalam menyimpan listrik semakin rendah. Ini dapat diakibatkan oleh adanya rekahan-rekahan di sampel yang menjadi tempat air mengisi. Porositas yang dibentuk oleh rekahan ini bisa berperan sebagai jalur mengalirnya air, sehingga jumlah air dengan cepat berkurang (**Gambar 20**). Dengan perubahan ini otomatis nilai resistivitas akan naik.



Gambar 20. a. Kurva nilai resistivitas batuan tuf dalam selang waktu 9 hari setelah direndam di dalam air sedalam 20 cm. b. Gambar rekahan-rekahan di batuan tuf yang menyebabkan air dengan mudah mengisi dan keluar dari batuan.

Desain yang digunakan dalam pembuatan *Real Time Rock Resistivity Meter* ini adalah dengan menerapkan prinsip pembagi tegangan dan mekanisme pembalikan polaritas sumber listrik. Dari simulasi dan uji coba alat, dihasilkan sebuah instrumen *Real Time Rock Resistivity Meter* yang mampu menghitung nilai resistivitas. Hasil pengukuran alat ini divalidasi dengan mengukur resistor dengan resistansi 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω , dan 1M Ω dengan nilai error kurang dari 2.2%.

Dengan menggunakan *Real Time Rock Resistivity Meter* dapat dibedakan nilai resistivitas batuan beku sebesar 262 k Ω m, batuan tuf sebesar 12,6 k Ω m. Batuan memiliki sifat menyimpan energi listrik, sehingga ketika diukur dengan polaritas yang berbeda nilai pengukuran resistivitas berbeda. Untuk itu dibuat sebuah mekanisme yang mampu meminimalisir pengaruh energi listrik yang tersimpan tersebut yaitu dengan membalik sumber listrik. Dari mekanisme yang diterapkan dipilih nilai rata-rata resistivitas. Selain itu, setelah direndam di dalam air batuan tuf menjadi lebih rendah. Di batuan tuf ditemukan banyaknya rekahan-rekahan yang bisa menyimpan air dan juga melewati air, oleh karena itu nilai resistivitas batuan tuf yang telah mengandung air akan berangsur membesar karena jumlah air yang berkurang melalui rekahan tersebut, sesuai dengan penelitian Lamur dkk., 2017. Dengan kemampuan ini, instrumen *Real Time Rock Resistivity Meter* dapat digunakan untuk validasi atau bahkan menghasilkan referensi nilai resistivitas formasi batuan di sekitar kita.

Dari penelitian ini, hal yang perlu diteliti lebih lanjut adalah sifat kelistrikan batuan terhadap waktu, seperti pola periodik saat polaritas positif dan negatif. Selain itu, perlu didalami penyebab perbedaan nilai kapasitas batuan untuk kondisi dan jenis batuan tertentu.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Lampung yang telah mendanai penelitian ini melalui skema dana penelitian BLU Penelitian Dosen Pemula.

PENUTUP

Simpulan dan Saran

DAFTAR PUSTAKA

(Second
Edi).
<https://doi.org/10.1201/9780367812614-1>

- Aluko, K. O., Raji, W. O., & Ayolabi, E. A. (2017). Application of 2-D Resistivity Survey to Groundwater Aquifer Delineation in a sedimentary terrain: Application of 2-D resistivity survey to groundwater aquifer delineation in a sedimentary terrain: A case study of south-western Nigeria. *Water Utility Journal*, 17(May), 71–79. <https://www.researchgate.net/publication/325091526>
- Caselle, C., Bonetto, S., & Comina, C. (2019). Comparison of laboratory and field electrical resistivity measurements of a gypsum rock for mining prospection applications. *International Journal of Mining Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.09.002>
- Dentith, M., & Mudge, S. (2014). Geophysics for the mineral exploration geoscientist. In *AusIMM Bulletin*. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139024358>
- Giao, P. H., Chung, S. G., Kim, D. Y., & Tanaka, H. (2003). Electric imaging and laboratory resistivity testing for geotechnical investigation of Pusan clay deposits. *Journal of Applied Geophysics*. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(03\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(03)00002-8)
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2011). Fundamentals of Physics 9th Edition. *Fundamentals of physics*.
- Karyanto. (2007). Pendeteksian Penyebaran Limbah Cair Pada Media Padat dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis 3D. *Jurnal Sains MIPA Unila*, 13.
- Lamur, A., Kendrick, J. E., Eggertsson, G. H., Wall, R. J., Ashworth, J. D., & Lavallée, Y. (2017). The permeability of fractured rocks in pressurised volcanic and geothermal systems. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05460-4>
- Mohammed, M. A., Senosy, M. M., & Abudeif, A. M. (2019). Derivation of empirical relationships between geotechnical parameters and resistivity using electrical resistivity tomography (ERT) and borehole data at Sohag University site, upper Egypt. *Journal of African Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103563>
- Raji, W. O., & Adedoyin, A. D. (2020). Dam safety assessment using 2D electrical resistivity geophysical survey and geological mapping. *Journal of King Saud University - Science*, 32(1), 1123–1129. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.10.016>
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). Applied Geophysics. In *Cambridge University Press*