

**IDENTIFIKASI POTENSI SUMBER DAYA ANDESIT BERDASARKAN
METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS DAN PENGUKURAN
RESISTIVITAS BATUAN MENGGUNAKAN ALAT *REAL TIME ROCK
RESISTIVITY METER* DAERAH UMBAR, KELUMBAYAN, TANGGAMUS,
LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

**NAIRA PRASIAMRATRI
NPM. 1815051050**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**IDENTIFIKASI POTENSI SUMBER DAYA ANDESIT BERDASARKAN
METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS DAN PENGUKURAN
RESISTIVITAS BATUAN MENGGUNAKAN ALAT *REAL TIME ROCK
RESISTIVITY METER* DAERAH UMBAR, KELUMBAYAN, TANGGAMUS,
LAMPUNG**

Oleh

NAIRA PRASIAMRATRI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

IDENTIFIKASI POTENSI SUMBER DAYA ANDESIT BERDASARKAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS DAN PENGUKURAN RESISTIVITAS BATUAN MENGGUNAKAN ALAT *REAL TIME ROCK RESISTIVITY METER* DAERAH UMBAR, KELUMBAYAN, TANGGAMUS, LAMPUNG

Oleh

NAIRA PRASIAMRATRI

Kebutuhan akan informasi terkait potensi bahan galian industri dirasakan cukup besar. Salah satu sumber daya alam yang membantu pembangunan infrastruktur adalah sumber daya batuan. Jenis batuan yang dapat digunakan untuk infrastruktur adalah batuan andesit. Batuan andesit merupakan batuan *intermediate* yang terjadi hasil pendinginan magma pada permukaan bumi ataupun aktivitas gunung api akibat perbedaan suhu pada saat pendinginan. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai resistivitas batuan andesit pada daerah penelitian berdasarkan pengukuran alat *Real Time Rock Resistivity Meter*, mengidentifikasi pola persebaran dan mengestimasi potensi sumberdaya batuan andesit berdasarkan pendekatan resistivitas pada daerah penelitian. *Real Time Rock Resistivity Meter* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur nilai resistivitas yang mampu menguatisasi nilai resistivitas batuan. Untuk memperkirakan potensi batuan andesit pada daerah penelitian, dilakukan pengukuran geolistrik resistivitas guna mengetahui sebaran dan kedalaman lapisan batuan andesit. Pengukuran dilakukan dalam 8 lintasan dengan jarak elektroda 6 m menggunakan konfigurasi *wenner*. Hasil menunjukkan persebaran batuan andesit dari arah barat daya – timur laut. Variasi sebaran titik batuan andesit dari seluruh lintasan yaitu pada kedalaman 0,5 – 35 meter. Hasil interpretasi ini telah digabungkan dengan hasil pengukuran laboratorium terhadap nilai resistivitas andesit di daerah tersebut. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa nilai resistivitas andesit berkisar antara 500 – 23000 Ωm . Estimasi potensi sumberdaya batuan andesit pada daerah penelitian berdasarkan pendekatan resistivitas dengan rentang nilai 500 Ωm sampai dengan 5200 Ωm untuk luasan $\pm 8,5$ Ha yaitu sebesar 1.373.498 m^3 dengan tonase 4.112.290 ton.

Kata kunci : Geolistrik, resistivitas, *Real Time Rock Resistivity Meter*, volumetrik

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF ANDESITE RESOURCE POTENTIAL BASED ON RESISTIVITY GEOELECTRIC METHOD AND ROCK RESISTIVITY MEASUREMENT USING REAL TIME ROCK RESISTIVITY METER IN UMBAR AREA, KELUMBAYAN, TANGGAMUS, LAMPUNG

By

NAIRA PRASIAMRATRI

The need for information related to the potential of industrial minerals is quite large. One of the natural resources that help infrastructure development is rock resources. The type of rock that can be used for infrastructure is andesite rock. Andesite rock is an intermediate rock that occurs as a result of magma cooling on the earth's surface or volcanic activity due to temperature differences during cooling. This study aims to obtain the resistivity value of andesite rock in the research area based on measurements of the Real Time Rock Resistivity Meter tool, identify distribution patterns and estimate the potential of andesite rock resources based on the resistivity approach in the research area. Real Time Rock Resistivity Meter is a tool used to measure resistivity values that can corroborate rock resistivity values. To estimate the potential of andesite rock in the study area, resistivity geoelectric measurements were carried out to determine the distribution and depth of andesite rock layers. Measurements were carried out in 8 lines with an electrode spacing of 6 m using a wenner configuration. The results show the distribution of andesite rocks from the southwest - northeast direction. Variations in the distribution of andesite rock points from all tracks are at a depth of 0.5 - 35 meters. The results of this interpretation have been combined with the results of laboratory measurements of andesite resistivity values in the area. Laboratory test results show that the resistivity value of andesite ranges from 500 - 23000 Ωm . The estimated potential of andesite rock resources in the study area based on the resistivity approach with a value range of 500 Ωm to 5200 Ωm for an area of ± 8.5 Ha is 1,373,498 m^3 with a tonnage of 4,112,290 tons.

Keywords: Geoelectric, Resistivity, Real Time Rock Resistivity Meter, volumetric.

**Judul Skripsi : IDENTIFIKASI POTENSI SUMBER DAYA
ANDESIT BERDASARKAN METODE
GEOLISTRIK RESISTIVITAS DAN
PENGUKURAN RESISTIVITAS BATUAN
MENGUNAKAN ALAT *REAL TIME ROCK
RESISTIVITY METER* DAERAH UMBAR,
KELUMBAYAN, TANGGAMUS, LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : Naira Prasiamratri

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815051050

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



Pembimbing 1

Pembimbing 2

Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T
NIP. 19700120 200003 1001

Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.
NIP. 19720928 199903 1001

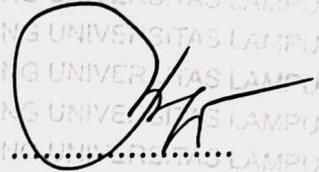
2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Karyanto, S.Si., M.T.
NIP. 196912301998021001

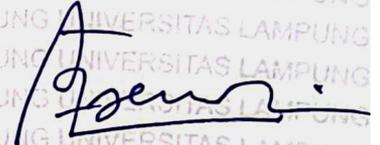
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.



Sekretaris : Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.



Anggota : Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP. 19750928 200112 1002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 27 Juli 2023

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan.

Apabila pernyataan ini tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 10 Agustus 2023

Penulis



Naira Prasiamratri

NPM. 1815051050

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sriwijaya pada tanggal 3 Desember 1999 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara pasangan Bapak Budimin dan Ibu Sri Purwanti. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Sindang Sari (2012), Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Tanjung Sari (2015), dan Sekolah Menengah Atas (2018) di SMAN 6 Bandar Lampung. Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam beberapa Unit Kegiatan Kemahasiswaan, seperti Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM-FT) sebagai Staf Bidang Eksternal (2020-2021), Himpunan Mahasiswa (HIMA) TG Bhuwana Universitas Lampung sebagai anggota Bidang Sosial Budaya Masyarakat (2020-2021) dan mengemban amanah sebagai Sekretaris Sosial Budaya Masyarakat (2021-2022) serta sebagai Anggota Divisi Acara pada kegiatan nasional *Geophysics Whiz Event and Seminar* (GWES) (2021-2020), Seksi Mahasiswa Ikatan Ahli Geologi Indonesia (SM-IAGI) Universitas Lampung sebagai anggota Divisi Humas (2021-2022) dan menjadi anggota Divisi Acara pada

kegiatan *Geo Student Competition* (GEOSC) (2020), Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) Wilayah 1 sebagai anggota Bidang Eksternal (2021-2022). Selain aktif dalam kegiatan organisasi, penulis dipercaya menjadi asisten praktikum pada beberapa mata kuliah seperti Metode Seismik Stratigrafi dan Metode Geomagnetik.

Pada tahun 2022 penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) pada Survey Seismik 2D Vibroseis Sub-Vulkanik oleh PT. Pertamina Hulu Energi (PHE) dengan judul **“Akuisisi dan Pengolahan Data Lapangan Seismik 2D Vibroseismik Sub-Vulkanik Jawa Menggunakan Metode Migrasi *Kirchhoff*”**. Pada akhir masa studi penulis melakukan penelitian Tugas Akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dengan judul **“Identifikasi Potensi Sumber Daya Andesit Berdasarkan Metode Geolistrik Resistivitas dan Pengukuran Resistivitas Batuan Menggunakan Alat *Real Time Rock Resistivity Meter* Daerah Umbar, Kelumbayan, Tanggamus, Lampung”**.

النَّصِيرُ وَنِعْمَ الْمَوْلَى نِعْمَ الْوَكِيلُ وَنِعْمَ اللَّهُ حَسْبُنَا

“Hasbunallah Wanikmal Wakil Nikmal Maula Wanikman Nasir”

“Life is like riding a bicycle.

To keep your balance you must keep moving”

(Albert Einstein)

“Berat-ringannya hidup tergantung pemaknaanmu”

(Dr. H. Fahrudin Faiz, S.Ag., M.Ag.)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa , karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Identifikasi Potensi Sumber Daya Andesit Berdasarkan Metode Geolistrik Resistivitas dan Pengukuran Resistivitas Batuan Menggunakan Alat *Real Time Rock Resistivity Meter* Daerah Umbar, Kelumbayan, Tanggamus, Lampung”**. Adapun maksud dan tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama penulisan skripsi ini banyak sekali terdapat hambatan yang dialami. Namun berkat adanya bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak, hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa tidak tertutup kemungkinan di dalam skripsi ini terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya, serta bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 10 Agustus 2023

Penulis



Naira Prasiarnatri

NPM. 1815051050

SANWACANA

Puji dan syukur penulis haturkan atas rahmat dan karunia Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan skripsi ini baik secara moril maupun materil. Pada kesempatan kali ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

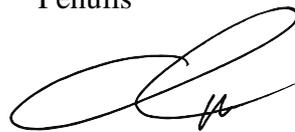
1. Allah SWT, yang selalu memberikan karunia dan anugerah-Nya baik berupa kesehatan dan kemudahan dalam setiap langkah serta jalan yang dilalui oleh penulis.
2. Orang tua dan keluarga penulis, terutama Ibunda tercinta Sri Purwanti, S.Pd. yang selalu mendoakan, memberikan motivasi, dan pengorbanannya selama penulis menempuh studi.
3. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. yaitu selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T. selaku dosen Pembimbing I dan Pembimbing Akademik atas kesempatan dan kesediannya dalam memberikan

bimbingan dan arahannya dalam pengerjaan skripsi. Serta, membimbing dan membantu penulis selama masa perkuliahan.

5. Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.selaku dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan masukan berupa ide dan motivasi dalam pengerjaan sehingga menjadikan skripsi ini lebih baik.
6. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si..selaku dosen Penguji yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang sangat membangun dalam penyempurnaan skripsi.
7. Segenap Dosen Pengajar di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang penuh dedikasi dalam memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
8. Para Staf dan Karyawan Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah membantu dalam bidang administrasi selama penulis menempuh studi.
9. Sahabat dan teman-teman terdekat yaitu Wayan, Pegita, Sabyan, dan Winona yang tiada hentinya memberikan masukan, saran, dukungan, semangat dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Keluarga Teknik Geofisika 2018 (TGasak) yang telah banyak memberikan semangat dan dukungan selama ini.
11. Seluruh pihak yang terlibat dalam proses penyusunan skripsi ini yang telah memberikan bantuan, kesempatan dan pengalaman. Penulis mengucapkan terima kasih banyak.

Bandar Lampung, 10 Agustus 2023

Penulis



Naira Prasiarnatri

NPM. 1815051050

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Lokasi Penelitian	4
2.2. Geologi dan Stratigrafi Regional Daerah Penelitian	5
2.3. Batuan Andesit	8
III. TEORI DASAR	10
3.1. Metode Geolistrik Resistivitas	10
3.2. Hukum Ohm	11
3.3. Sifat Kelistrikan Batuan	13
3.3.1. Resistivitas Batuan	14
3.3.2. Konduktivitas Batuan	16
3.4. Aliran Listrik di Dalam Bumi	18
3.4.1. Potensial oleh Arus Tunggal di Permukaan	18
3.4.2. Potensial oleh Arus Ganda di Permukaan	19
3.5. Resistivitas Semu	21
3.6. Konfigurasi Wenner	22
3.7. Pemodelan 2D	24
3.8. Pemodelan 3D	25
3.9. <i>Time Rock Resistivity Meter</i>	25

IV. METODOLOGI PENELITIAN	28
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian	28
4.2. Alat dan Bahan	29
4.3. Prosedur Penelitian.....	29
4.4. Diagram Alir	33
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
5.1 Data Pengukuran Sampel dan Pengukuran Geolistrik Resistivitas	34
5.2 Pembahasan	35
5.2.1 Pengukuran Nilai Resistivitas Sampel Batuan Andesit	37
5.2.2 Pemodelan dan Interpretasi Data Resistivitas 2D	43
5.2.3 Rekonstruksi Volumetrik 3D dan Tonase.	62
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	68
6.1 Kesimpulan.....	68
6.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi daerah penelitian.	4
2. Stratigrafi regional daerah penelitian (Amin T.C., dkk, 1994) yang telah dimodifikasi.	6
3. Peta geologi daerah penelitian.	7
4. Silinder konduktor (Lowrie, 2007).	11
5. Elektroda arus tunggal di permukaan bumi (Telford dkk, 1990)	18
6. Sumber arus dua titik pada permukaan homogen isotropis (Telford, dkk.,1990).	19
7. Sumber arus dua titik pada permukaan homogen isotropis (Telford, dkk.,1990).	22
8. Susunan elektroda arus dan potensial pada konfigurasi Wenner (Loke, 2004).....	23
9. Ilustrasi skema pengukuran nilai resistivitas sampel batuan (Yogi, 2020).	26
10. Instrumen Real Time Rock Resistivity Meter.	26
11. Skema elektronik penyusun instrumen.	27
12. Antarmuka program perekaman & pengamatan resistivitas rock (Yogi, 2020)..	27
13. Sampel batuan.	30
14. Diagram alir penelitian.	33
15. Proses pengukuran sampel batuan.	37
16. Sampel A1.	38
17. Sampel A2.	39
18. Sampel A3.	40
19. Sampel A4.	41
20. Peta citra satelit lintasan pengukuran geolistrik daerah penelitian.	44
21. Model 3D topografi lintasan pengukuran geolistrik daerah penelitian.	45
22. Penampang resistivitas 2D lintasan 1.	47
23. Penampang resistivitas 2D lintasan 2.	49
24. Penampang resistivitas 2D lintasan 3.	51
25. Penampang resistivitas 2D lintasan 4.	53
26. Penampang resistivitas 2D lintasan 5.	55
27. Penampang resistivitas 2D lintasan 6.	57
28. Penampang resistivitas 2D lintasan 7.	59
29. Penampang resistivitas 2D lintasan 8.	61
29. Model 3D volume cadangan batuan andesit pesimis (50%).	65
30. Model 3D volume cadangan batuan andesit semi optimis (70%).	66
31. Model 3D volume cadangan batuan andesit optimis (100%).	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai resistivitas batuan (Telford dkk, 1990).....	14
2. Jadwal kegiatan penelitian.....	28
3. Hasil perekaman data resistivitas sampel kondisi kering.....	43
4. Hasil perekaman data resistivitas sampel kondisi basah.....	43
5. Estimasi berdasarkan interval nilai resistivitas.....	63

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan akan informasi tentang potensi bahan galian industri saat ini dirasakan cukup besar. Hal tersebut diindikasikan dengan meningkatnya kegiatan eksplorasi di daerah untuk memenuhi kebutuhan bahan baku industri. Salah satu sumber daya alam yang membantu pembangunan infrastruktur adalah batuan (Santoso dkk., 2017). Jenis batuan yang dapat digunakan secara tepat untuk infrastruktur adalah batuan yang memiliki ciri fisik yang baik, antara lain kekerasan, densitas, serta tingkat ketahanan air dan cuaca, sehingga tidak mudah rusak. Salah satu batuan yang memiliki sifat fisik yang kokoh adalah andesit (Chalikakis. dkk, 2011).

Desa Umbar, Kecamatan Kelumbayan, Kabupaten Tanggamus merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi sumberdaya batuan berupa batuan andesit. Andesit merupakan salah satu komoditi pertambangan bahan galian yang banyak dibutuhkan oleh masyarakat, seperti untuk pondasi bangunan, pengaspalan jalan, pembuatan jembatan, pembuatan bronjong sungai dan lain sebagainya. Batuan andesit merupakan batuan intermediate yang terjadi hasil pendinginan magma pada permukaan bumi ataupun aktivitas gunung api akibat perbedaan suhu pada saat pendinginan (Khosama, 2012).

Penelitian terkait estimasi potensi andesit pada daerah lokasi penelitian sebelumnya sudah pernah dilakukan dengan metode geolistrik tahanan jenis menggunakan Konfigurasi Dipole – dipole. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa lapisan batuan andesit memiliki nilai resistivitas tinggi 620 Ωm hingga lebih dari 8200 Ωm (Alghifarry, 2023).

Survei geofisika merupakan survei awal yang bertujuan untuk memetakan geologi bawah permukaan serta menjadi langkah awal untuk mengetahui lapisan batuan di bawah permukaan. Salah satu metode dalam survei geofisika adalah geolistrik. Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode geofisika yang dapat mengetahui kondisi geologi bawah permukaan berdasarkan sifat kelistrikan batuan. Prinsip dasar dari metode ini adalah penginjeksian arus ke bawah permukaan melalui dua buah titik elektroda pada titik yang lain di sekitar aliran arus diukur sebagai respon dari media bawah permukaan (Loke, 1999). Pada dasarnya batuan adalah penghantar listrik yang buruk, akan tetapi batuan memiliki sifat dan komposisi yang berbeda yang mengakibatkan variasi nilai resistivitas. Nilai resistivitas digunakan untuk membedakan antara satu jenis batuan dengan batuan yang lainnya dan sebagian besar batuan beku memiliki nilai resistivitas yang tinggi termasuk batuan andesit (Prastowo, 2017).

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui potensi batuan andesit di daerah Umbar Kecamatan Kelumbayan, Kabupaten Tanggamus. Batuan andesit pada sekitar lokasi penelitian secara petrografi dicirikan dengan adanya tekstur trakitik yang mencirikan batuan tersebut merupakan lava dan tekstur porfiritik yang menunjukkan adanya perbedaan ukuran butir yang signifikan pada batuan (Mozi, 2019). Terdapat satuan andesit porfiri tersebar di bagian barat dan selatan daerah Kelumbayan Barat berada pada elevasi 200-300 m yang merupakan intrusi dangkal. Sebagian besar singkapan satuan andesit porfiri yang memiliki struktur geologi berupa kekar kolom (Lestari, 2021).

Pengukuran resistivitas biasanya dilakukan dengan melakukan pengukuran di permukaan kemudian dapat diketahui nilai tahanan jenis di bawah permukaan. Selanjutnya nilai tahanan jenis tersebut dicocokkan dengan daftar nilai resistivitas batuan di seluruh dunia yang telah dipublikasikan secara global. Namun nilai pada daftar resistivitas tersebut memiliki range nilai yang terlalu luas dan saling tumpang tindih, sehingga diperlukan pengukuran langsung terhadap batuan yang kita miliki (Giao dkk., 2003). Oleh karena itu, dilakukan pengukuran resistivitas batuan secara

langsung menggunakan *Real Time Rock Resistivity Meter*. Instrumen ini menggunakan arus DC yang sesuai dengan kondisi pengukuran di lapangan.

Dengan dilakukannya pengukuran resistivitas secara langsung pada sampel batuan andesit daerah penelitian, maka akan diketahui nilai resistivitas batuan andesit sesungguhnya di daerah penelitian. Sehingga nilai resistivitas tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam pemodelan agar memberikan hasil yang kredibel. Pemodelan tersebut dibuat untuk menentukan potensi sumber daya andesit di lokasi

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh nilai resistivitas batuan andesit pada daerah penelitian berdasarkan pengukuran alat *Real Time Rock Resistivity Meter*.
2. Mengidentifikasi pola persebaran sumberdaya batuan andesit berdasarkan pendekatan resistivitas.
3. Mengestimasikan potensi sumberdaya batuan andesit pada daerah penelitian.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu data yang digunakan dalam interpretasi merupakan data resistivitas di daerah Kelumbayan, Tanggamus yang kemudian dilakukan pemodelan 2D dan 3D. Hasil pengukuran resistivitas sampel batuan secara langsung digunakan sebagai validasi hasil pengolahan.

1.4. Manfaat Penelitian

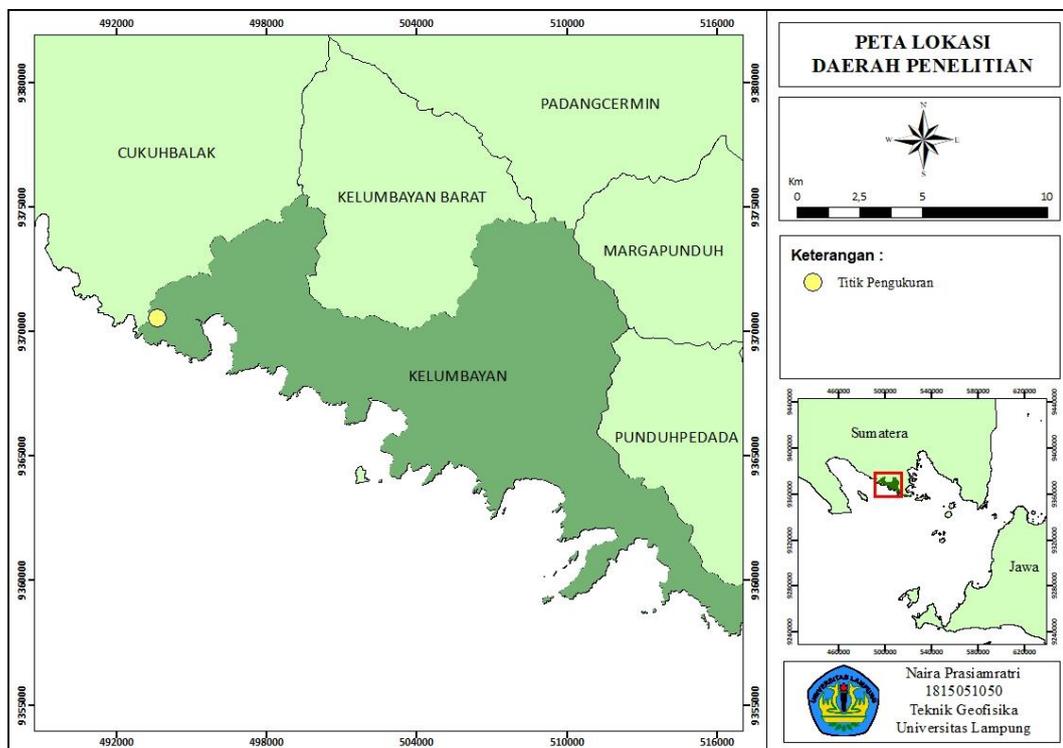
Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai pola persebaran dan volume potensi sumberdaya andesit dengan pendekatan resistivitas.
2. Menjadi salah satu informasi yang dapat digunakan untuk mempertimbangkan prospek penambangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi daerah penelitian terletak pada Desa Umbar, Kecamatan Kelumbayan, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Secara geografis, lokasi penelitian terletak pada koordinat $104^{\circ} 55' 58'' - 104^{\circ} 56' 53''$ BT dan $5^{\circ} 41' 30'' - 5^{\circ} 42' 10''$ LS. Lokasi penelitian dapat ditempuh dari Kota Bandar Lampung dengan jalur darat dengan jarak tempuh ± 85 km. Adapun lokasi daerah penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian.

2.2. Geologi dan Stratigrafi Regional Daerah Penelitian

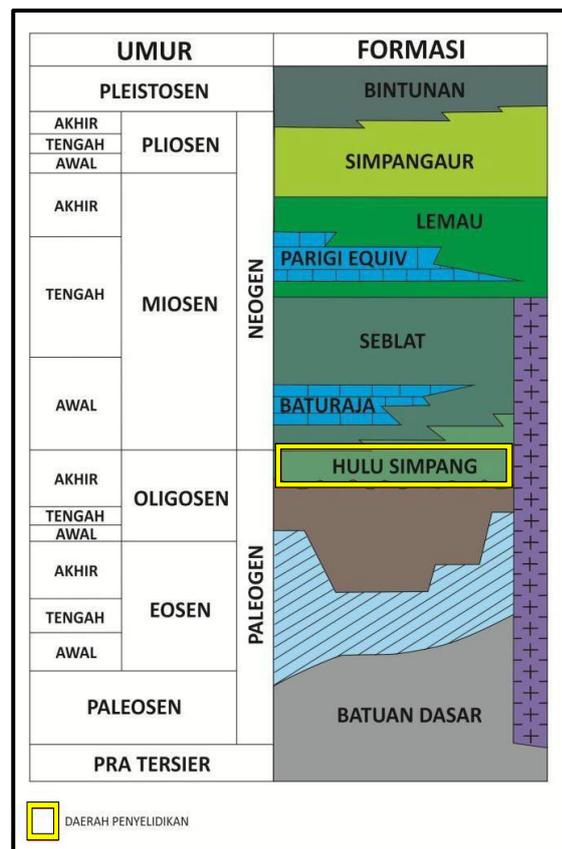
Secara umum Desa Umbar, Kecamatan Kelumbayan, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung berada pada Peta Geologi Regional Skala 1:250.000. Lembar Kotaagung. Peta Lembar Kotaagung dapat dibagi menjadi lima satuan morfologi yang mencerminkan keadaan geologinya. Dataran rendah berada di sepanjang tepi bagian barat. Pegunungan dan perbukitan berada di sebelah bagian barat, tengah dan bagian timur laut. Perbukitan bergelombang, dataran tinggi, dan kerucut gunungapi menempati pada lembar tersebut. Daerah perbukitan bergelombang menempati kira-kira 70% dari lembar, yang mana terdiri dari sedimen tersier, gunung berapi kuartar, batuan terobosan, dan batuan metamorf, dengan ketinggian mencapai hingga 750 meter di atas permukaan laut (Amin, dkk., 1994).

Sebagian besar wilayah Kabupaten Tanggamus secara geologis termasuk dalam formasi kuartar. Formasi geologi yang terdapat di Kabupaten Tanggamus terutama merupakan rangkaian pegunungan Bukit Barisan yaitu satu rangkaian di sebelah barat dan timur patahan (sesar) Semangka. Batuan pra tersier di wilayah Kabupaten Tanggamus terdapat di bagian utara di sekitar Pagelaran bagian utara dan timur. Batuan tersier yang mempunyai penyebaran cukup luas di Kabupaten Tanggamus adalah batuan gunung api andesit formasi fua. Batuan kuartar yang berupa endapan gunung api muda cukup mendominasi wilayah Kabupaten Tanggamus terutama di Pulau Pangung dan Wonosobo serta Kota Agung. Sernentara alluvium yang berasal dari endapan permukaan banyak terdapat di sekitar Wonosobo, Pringsewu dan Gadingrejo (Subardja, dkk., 2007).

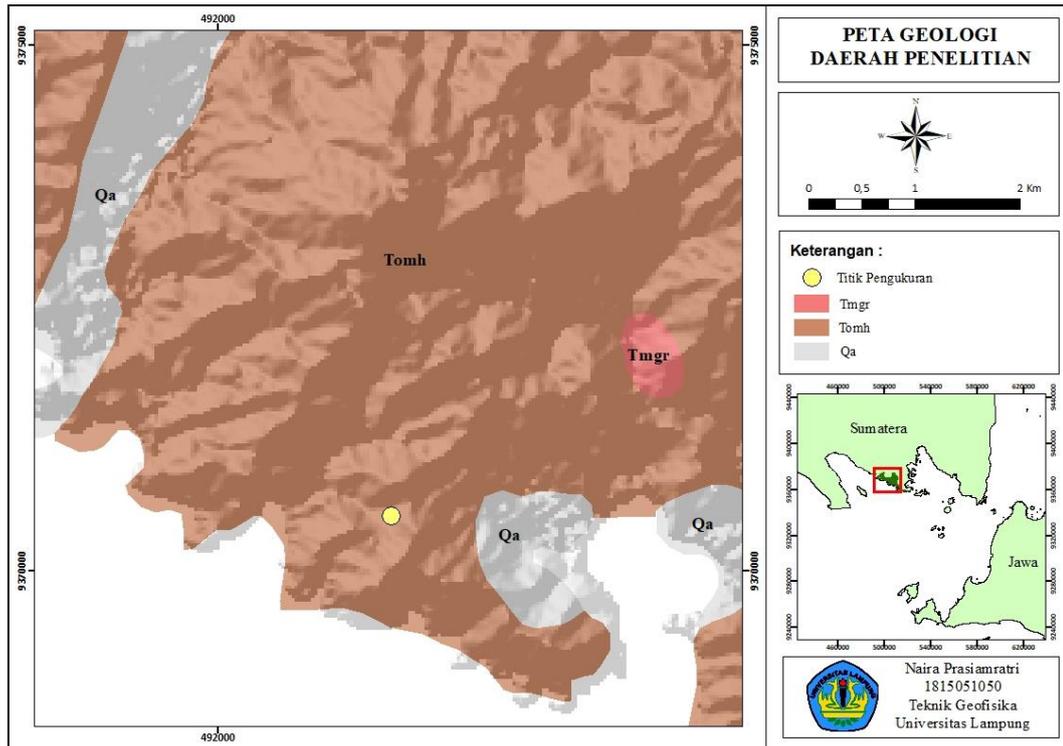
Secara geologi, Kabupaten Tanggamus secara umum didominasi oleh batuan gunung api muda (Qhv) dan satuan batuan breksi, batupasir dan batulanau dari Formasi Hulusimpang. Lokasi penelitian berada pada Formasi Hulusimpang yang mempunyai penyebaran yang cukup luas di daerah Kabupaten Tanggamus, yaitu meliputi bagian barat daya dan Timur laut daerah ini. Kenampakan di lapangan batuan ini berlapis dengan baik dan sangat masif dan kompak. Penyebaran batuan ini meliputi perbukitan dan gawir sesar Sumatera segmen Semangko yang terdapat di bagian selatan Kecamatan Semaka. Kemudian di bagian lain pada perbukitan

sebelah timur Kotaagung, yang meliputi kecamatan Cukuh Balak (Subardja, dkk., 2007)

Formasi hulusimpang berumur oligosen akhir miosen awal merupakan batuan tertua yang tersingkap di sekitar daerah penelitian. Bagian atas formasi ini menjari dengan bagian bawah formasi seblat yang berumur miosen awal sampai tengah. Batuan terobosan dalam (granit dan diorit) yang berumur miosen tengah menerobos formasi hulusimpang dan formasi seblat. Formasi lemau yang berumur miosen tengah - akhir menindih secara tak selaras formasi seblat. Kemudian formasi lemau tertindih secara tak selaras oleh formasi simpangaur berumur miosen akhir - pliosen, dan terendapkan di daerah transisi.



Gambar 2. Stratigrafi regional daerah penelitian (Amin T.C., dkk, 1994) yang telah dimodifikasi.



Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian.

Berikut merupakan formasi batuan penyusun daerah penelitian dan sekitarnya apabila diurutkan dari yang berumur relatif lebih muda ke lebih tua pada gambar 3.

1) Formasi Aluvium (*Qa*)

Formasi Aluvium (*Qa*) telah ada sejak zaman holosen yang terdiri dari bongkah, kerakal, kerikil, pasir lanau, lempung dan lumpur. Umumnya kelulusan batuan rendah. Formasi batuan ini tersebar di seluruh lembar terutama di daerah depresi Semangko dan daerah pantai. Alluvium ini termasuk batuan endapan permukaan.

2) Formasi Hulusimpang (*Tomh*)

Formasi Hulusimpang (*Tomh*) terdiri dari litologi breksi gunungapi, lava, tuf bersusunan andesitik-basal, dijumpai dalam keadaan teralterasi hidrotermal bermineral sulfide berurat kuarsa. Formasi merupakan merupakan satuan batuan tertua di Zona Barisan dengan umur oligosen akhir yang tersebar luas berarah barat laut – tenggara dengan lingkungan pengendapan peralihan daratan hingga laut dangkal.

3) Batuan Terobosan Granit (*Tmgr*)

Batuan terobosan granit (*Tmgr*) terdiri dari litologi granit dengan nama terobosan granit tak terpisahkan. Batuan terobosan ini diperkirakan berusia miosen tengah yang menerobos dengan Formasi Hulusimpang.

2.3. Batuan Andesit

Batuan andesit terbentuk dari lelehan magma diorit. Nama batuan ini berasal dari pegunungan Andes di Amerika Selatan. Oleh karena terbentuk dari lelehan diorit maka komposisi mineralnya seperti diorit. Gunungapi-gunungapi sekarang seperti di Indonesia pada umumnya menghasilkan batuan andesit. Batuan andesit banyak terdapat di sekitar gunungapi-gunungapi dan tempat penemuan yang terkenal ialah Gunung Mesigit di Jawa Barat (Katili dkk, 1963). Di sekitar Samudra Pasifik, andesit banyak terbesar di gabungan gunungapi Andes, Amerika Tengah, barat laut Amerika Serikat, Jepang, Indonesia, dan barat daya busur pulau Pasifik (Williams, dkk., 1954).

Andesit adalah batuan vulkanik paling banyak ditemukan pada daerah busur pulau dan batas benua, terutama pada sabuk di atas zona Benioff. Secara regional, andesit diasosiasikan dengan basalt toleitik dan riolit, atau keduanya. Secara tekstur, kebanyakan andesit adalah batuan porfiritik dengan fenokris menonjol pada plagioklas dan mineral mafik (Williams, dkk., 1954). Teksturnya kasar yang memiliki kandungan mineral terdiri dari *olivin*, *piroksen*, *hornblend* dan *plagioclas*. Secara umum, batuan beku andesit berwarna segar abu-abu (Hardiyono, 2013). Kandungan utama andesit ialah kandungan silikat yang tinggi atau SiO_2 , alkali feldspar hadir dalam jumlah yang kecil, sedangkan kuarsa hadir sebagai pembentuk mineral gelas. Batuan andesit yang merupakan jenis aliran lava berbutir kasar dan merupakan batuan yang tertua di kawasan pegunungan.

Plagioklas dan piroksen atau hornblende (amfibol) adalah karakteristik mineral utama dalam batuan beku andesit. Teksturnya terdiri atas gelas afirik sampai porfiritik-afanitik holokristalin. Batuan andesit memiliki komposisi plagioklas dari 50-80%, piroksen 10-15%, dan amfibol 5-10%. Kandungan amfibol pada batuan

andesit dapat memberi pengaruh pada kualitas batuan karena berdasarkan struktur silikatnya amfibol mempunyai ikatan rangkap sehingga memungkinkan terjadi substitusi untuk mempertahankan kesetimbangannya dan juga bisa menyebabkan terjadinya patahan pada saat pembentukannya serta pemipihan ketika mengalami suatu tekanan. Unsur mayor utama yang dimiliki batuan andesitis yaitu silika 52-63%, alumina 15-19%, dan kandungan (SiO_2) bervariasi oleh karena itu dibagi ke dalam high K andesit dan medium K andesit. Perbedaan jenis andesit ini kemungkinan besar karena hasil dari beberapa proses dan perbedaan inilah yang bisa menyebabkan kualitas batuan yang berbeda (Raymond, 2000).

Kandungan utama andesit adalah silikat (SiO_2) dan alkali feldspar biasanya dalam jumlah yang sedikit, sedangkan kuarsa hadir sebagai pembentuk mineral gelas. Batuan andesit yang termasuk jenis aliran lava berbutir kasar dan merupakan batuan yang paling tua di kawasan pegunungan. Batu andesit mempunyai mineral penyusun yaitu plagioklas, kuarsa, dan biotit. Jumlah mineral penyusun yang sedikit inilah sebagai acuan bahwa batu andesit memiliki tingkat homogenitas yang tinggi batu andesit mengandung komposisi kimia Silika (SiO_2) sebesar 62,30% (Sariisik dkk, 2011).

Batuan andesit banyak digunakan sebagai bahan pokok pembangunan infrastruktur seperti jembatan, jalan raya, irigasi, landasan terbang, pelabuhan serta gedung-gedung, dan lain-lain. Batuan andesit banyak digunakan karena memiliki daya tahan yang kuat terhadap berbagai cuaca dan tahan lama. Hal ini dikarenakan andesit banyak mengandung Silika (SiO_2). Selain itu, fungsi batu andesit dalam skala rumah tangga juga sering digunakan sebagai ornamen hiasan dinding rumah atau batu alam tempel, sebagai lantai pada pinggir kolam, dan sebagai penutup lampu taman.

III. TEORI DASAR

3.1. Metode Geolistrik Resistivitas

Prinsip dasar dari metode geolistrik adalah memanfaatkan sifat penjalaran arus listrik yang kemudian diinjeksikan ke dalam tanah melalui dua buah elektroda arus. Selanjutnya, dilakukan pengukuran nilai respon beda potensial yang terjadi antara dua buah elektroda potensial yang ditancapkan di permukaan. Metode geolistrik resistivitas akan memperoleh nilai arus dan beda potensial yang berada di bawah permukaan. Setelah diketahui harga/ besaran arus dan beda potensialnya maka dapat diperoleh nilai resistivitas batuan di bawah permukaan. Berdasarkan nilai resistivitas tersebut, dapat diketahui jenis material pada lapisan di bawah permukaan (Telford dkk, 1990).

Metode geolistrik resistivitas ini memiliki dua teknik pengukuran yaitu metode geolistrik resistivitas *mapping* dan *sounding*. *Mapping* merupakan sebuah teknik pengukuran yang menargetkan variasi nilai resistivitas lapisan bawah permukaan secara horizontal. Teknik ini menggunakan jarak spasi elektroda yang tetap pada semua titik *sounding* (titik amat) di permukaan bumi. Sedangkan teknik pengukuran *sounding* merupakan sebuah teknik yang menargetkan variasi nilai resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara vertikal. Pengukuran pada titik *sounding* dilakukan dengan membuat variasi jarak elektroda yaitu dari jarak elektroda kecil kemudian membesar secara gradual. Bila jarak elektroda semakin besar, maka lapisan batuan yang terdeteksi semakin dalam (Reynolds, 1997).

3.2. Hukum Ohm

Hukum Ohm merupakan teori yang mendasari metode geolistrik. Teori ini ditemukan oleh George Simon Ohm pada tahun 1827 (Lowrie, 2007). Hukum Ohm menyatakan bahwa arus listrik pada sebuah kawat konduktif sebanding dengan beda potensial pada kawat tersebut. Secara matematis, hubungan linier arus dan beda potensial memenuhi persamaan berikut:

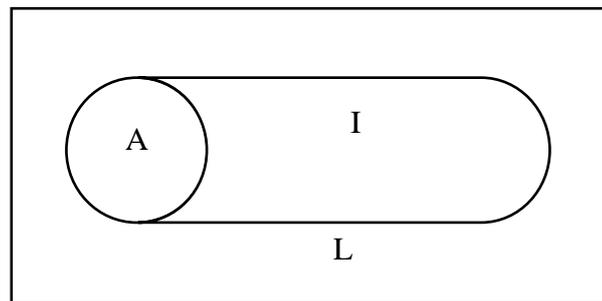
$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Keterangan:

I : Arus (Ampere)

V : Beda potensial (Volt)

R : Resistansi (Ohm)



Gambar 4. Silinder konduktor (Lowrie, 2007).

Pada gambar 4, ditunjukkan arus listrik yang mengalir melalui silinder homogen sehingga resistansi akan sebanding dengan panjang L dan berbanding terbalik dengan area penampang A . Dengan demikian, persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

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

Keterangan:

ρ : Resistivitas (Ohm.m)

L : Panjang kawat (m)

A : Luas penampang kawat (m)

Resistivitas (ρ) merupakan sifat fisis material yang menunjukkan kemampuan material untuk menahan aliran elektron. Dengan mensubstitusikan resistansi R di persamaan (2) pada persamaan (1) akan didapatkan persamaan berikut:

$$\frac{V}{L} = \rho \frac{I}{A} \quad (3)$$

Resistivitas berbanding terbalik dengan konduktivitas (σ) yang merupakan kemampuan suatu material untuk mengalirkan elektron. Perbandingan $\frac{V}{L}$ pada bagian kiri persamaan (3) merupakan medan listrik (\bar{E}) sedangkan perbandingan $\frac{I}{A}$ pada persamaan (3) merupakan rapat arus (\bar{J}). Sehingga persamaan (3) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \bar{E} &= \rho \bar{J} \\ \bar{J} &= \sigma \bar{E} \end{aligned} \quad (4)$$

Keterangan:

\bar{J} : Rapat Arus (A/m²)

σ : Konduktivitas (S/m)

Medan listrik E dapat didefinisikan sebagai negatif gradien dari beda potensial V seperti persamaan berikut:

$$\bar{E} = -\nabla V \quad (5)$$

Dengan mensubstitusikan medan listrik (E) pada persamaan (4) dan persamaan (5) maka didapat persamaan berikut:

$$J = -\sigma \nabla V \quad (6)$$

Dengan melakukan divergensi pada kedua ruas pada persamaan (6), didapatkan persamaan berikut:

$$\nabla \cdot J = -(\nabla \sigma \cdot \nabla V + \sigma \nabla^2 V) \quad (7)$$

Divergensi dari rapat arus pada persamaan (7) merupakan persamaan kontinuitas yang sebanding dengan perubahan rapat muatan persatuan luas terhadap waktu seperti persamaan berikut:

$$\nabla \cdot J = -\frac{\partial q/A}{\partial t} \quad (8)$$

Keterangan:

q/A : Rapat muatan (C/m^2)

3.3. Sifat Kelistrikan Batuan

Sifat kelistrikan batuan merupakan karakteristik batuan saat dialirkan arus listrik ke dalamnya. Batuan di alam dapat diumpamakan sebagai medium listrik seperti pada kawat penghantar listrik, maka memiliki tahanan jenis (resistivitas). Tahanan jenis batuan adalah karakteristik batuan yang menunjukkan kemampuan batuan tersebut untuk menghambat arus listrik.

Masing-masing lapisan batuan memiliki sifat kelistrikan berbeda-beda, tergantung dari 8 faktor yaitu: kandungan mineral logam, kandungan mineral non logam, kandungan elektrolit padat, kandungan air garam, perbedaan tekstur batuan, perbedaan porositas batuan, perbedaan permeabilitas batuan, dan perbedaan temperatur (Saputro, 2010).

3.3.1. Resistivitas Batuan

Resistivitas merupakan suatu parameter yang bergantung pada sifat-sifat material penghantar. Selain itu, *resistivitas* merupakan kemampuan pada suatu bahan untuk menghambat arus listrik. Resistivitas batuan adalah daya hambat dari batuan terhadap aliran listrik. (Telford dkk, 1990).

Tabel 1. Nilai resistivitas batuan (Telford dkk, 1990)

Material	Resistivitas (Ωm)
Air laut (<i>Sea water</i>)	0.2
Air tanah (<i>Groundwater</i>)	0.5 – 300
Aluvium (<i>Alluvium</i>)	10 – 800
Andesit (<i>Andesite</i>)	$1.7 \times 10^2 - 4.5 \times 10^4$
Basal (<i>Basalt</i>)	200 – 100000
Batupasir (<i>Sandstone</i>)	10 – 8000
Breksi (<i>Breccia</i>)	75 – 200
Gamping (<i>Limestone</i>)	50 – 1000
Granit (<i>Granite</i>)	200 – 100000
Kalsit (<i>Calcite</i>)	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^3$
Kerikil (<i>Gravel</i>)	100 – 600
Konglomerat (<i>Conglomerate</i>)	$2 \times 10^3 - 10^4$
Kuarsa (<i>Quartz</i>)	500 – 800000
Lava	$100 - 5 \times 10^4$
Lempung (<i>Clay</i>)	1 – 100
Napal (<i>Marl</i>)	3 – 70
Pasir (<i>Sand</i>)	1 – 1000
Pirit (<i>Pyrite</i>)	0.01 – 100
Serpih (<i>Shale</i>)	20 – 2000
Tufa (<i>Tuff</i>)	20 – 100

Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besaran resistivitas pada suatu batuan. Faktor- faktor tersebut meliputi jenis batuan, matriks batuan, mineral lempung, porositas dan permeabilitas, salinitas, dan temperatur (Chandra, 2011). Berikut merupakan penjelasan dari beberapa faktor tersebut.

1) Jenis Batuan

Interval besaran/ nilai resistivitas pada jenis batuan biasanya sebagian memiliki nilai/ besaran resistivitas yang sama dengan interval besaran/ nilai resistivitas batuan lainnya (*overlapping range*). Oleh karena itu, diperlukan data pendukung seperti data geologi dan sumur agar dapat memberikan gambaran yang lebih spesifik.

2) Matriks Batuan

Matriks batuan yang merupakan massa dasar dari batuan akan mempengaruhi besaran resistivitas. Bila suatu batuan yang terpilah dengan baik memiliki ruang kosong dan kemudian terisi air, maka batuan tersebut akan lebih konduktif dari batuan yang terpilah dengan buruk

3) Mineral Lempung

Proses pelapukan juga sangat dipengaruhi oleh cuaca/ iklim. Pada proses pelapukan, biasanya seluruh material termasuk akan berubah menjadi lempung. Kandungan lempung yang tinggi akan mempengaruhi respon resistivitas yang akan menjadi rendah.

4) Porositas

Bila porositas semakin besar, maka air formasi yang menjenuhi pori batuan tersebut semakin banyak. Air formasi bersifat konduktif, sehingga semakin banyak air formasi yang menjenuhi batuan tersebut akan meningkatkan nilai konduktivitas batuan dan menurunkan nilai resistivitas batuan (Mulyatno, 2004). Semakin keras batuan/ tanah semakin besar pula nilai resistivitasnya menandakan semakin kecil/ sedikit pori-pori batuannya, sehingga semakin kecil pula daya tampung fluidanya. Karena semakin banyak fluida yang mengisi batuan/tanah akan menyebabkan nilai konduktivitasnya semakin tinggi, atau resistivitasnya semakin rendah (Zaenudin, 2019).

5) Permeabilitas

Permeabilitas merupakan kemampuan batuan untuk meneruskan fluida dan ion-ion. Bila porositas dan permeabilitas fluida dapat dikaitkan untuk memberikan jenis batuan atau tanah, maka hal tersebut beralasan pula untuk mengharapkan bahwa adanya hubungan antara permeabilitas batuan dan resistivitas (Telford, dkk, 1990).

6) Salinitas

Ion-ion yang terkandung dalam air asin pada suatu batuan akan mempengaruhi salinitas. Air asin ini mudah menghantarkan elektron-elektron bebas melalui media tersebut sehingga air asin memberikan respon yang lebih rendah terhadap nilai resistivitas. Tingginya salinitas pada daerah eksplorasi dapat disebabkan oleh adanya intrusi air laut (Hersir, dkk, 2010).

7) Temperatur

Salah satu faktor eksternal yang sangat berpengaruh terhadap hambatan penghantar adalah suhu atau temperatur. Semakin tinggi temperatur suatu penghantar, semakin tinggi pula getaran elektron-elektron bebas dalam penghantar tersebut. Getaran elektron-elektron bebas inilah yang akan menghambat jalannya muatan listrik (arus listrik) dalam penghantar tersebut. Semakin tinggi temperatur penghantar, hambatan jenisnya akan semakin tinggi, dan sebaliknya (Giancoli, 2001).

3.3.2. Konduktivitas Batuan

Konduktivitas listrik tanah dan batuan pada permukaan bumi dipengaruhi oleh jumlah air, salinitas air, serta permeabilitas pada tanah dan batuan tersebut. Sifat air yang terkandung dalam suatu batuan akan ditentukan oleh elektrolit yang merupakan larutan garam dalam air, terdiri dari anion dan kation yang bergerak bebas dalam air. Karena adanya medan listrik eksternal, kation dalam larutan elektrolit dipercepat ke kutub negatif, dan anion ke kutub positif. Dalam kasus batuan berpori atau tanah berisi air, nilai hambatan listrik secara alami akan berkurang dan kadar air akan meningkat. Sebaliknya, nilai hambatan listrik meningkat dengan penurunan kadar air (Telford, dkk, 1990).

1) Konduksi secara elektronik

Konduksi secara elektronik merupakan konduksi yang terjadi pada suatu batuan atau mineral yang aliran arus listriknya dialirkan melalui elektron- elektron bebas pada suatu batuan atau mineral (Kunetz,1966). Aliran listrik ini dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut adalah resistivitas. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitupun sebaliknya (Lowrie, 2007).

2) Konduksi secara elektrolitik

Konduksi secara elektrolitik merupakan konduksi yang terjadi pada suatu batuan atau mineral dapat menghantarkan arus listrik yang disebabkan batuan dapat menyimpan dan meloloskan fluida, terutama air. Kebanyakan batuan memiliki konduktivitas yang buruk dan resistensi yang tinggi. Namun di sisi lain, batuan juga dapat menjadi konduktor yang baik bila batuan tersebut mengandung air yang kemudian terurai menjadi ion-ion untuk menghantarkan listrik. Bila suatu batuan memiliki permeabilitas dan porositas yang baik, namun tidak mengandung air di dalamnya, kemungkinan besar hambatannya akan tetap tinggi. Sehingga, faktanya keberadaan zat cair dalam batuan mempengaruhi penurunan resistivitas batuan (Lowrie, 2007).

3) Konduksi secara dielektrik

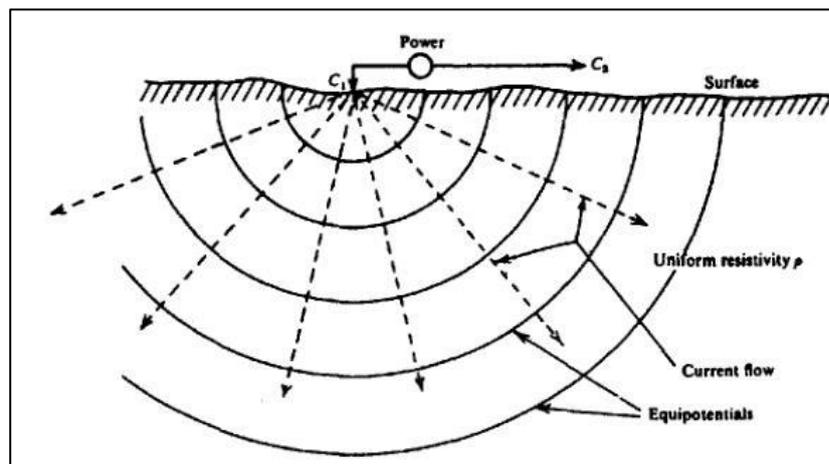
Konduktivitas secara dielektrik merupakan konduksi yang terjadi pada suatu batuan atau mineral yang memiliki elektron bebas dengan jumlah yang sedikit atau tidak memiliki elektron bebas yang dapat memberikan sifat dielektrik pada arus listrik. Elektron dalam suatu batuan atau mineral dapat berpindah dan terakumulasi dalam tubuh batuan karena dipengaruhi oleh medan listrik dari luar. Pengaruh medan listrik eksternal inilah yang menyebabkan terjadinya polarisasi. Namun, fenomena konduksi secara dielektrik ini tergantung pada kemampuan dielektrik batuan (Lowrie, 2007).

3.4. Aliran Listrik di Dalam Bumi

Ketika menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui dua elektroda arus AB, kemudian beda potensial akan terukur melalui elektroda M dan N. Dari hasil pengukuran arus dan potensial untuk setiap jarak elektroda yang berbeda dapat diturunkan variasi nilai hambatan jenis masing-masing lapisan di bawah titik ukur (*Sounding Point*) (Burger, 1992).

3.4.1. Potensial oleh Arus Tunggal di Permukaan

Elektroda arus tunggal dianggap bumi seolah-olah sebagai bola yang memiliki rongga dan memiliki nilai resistivitas pada setiap bagiannya. Penjalaran arus listrik yang diinjeksikan ke bumi dianggap lurus tanpa ada pembelokan. Pada kondisi ini, bumi memiliki bentuk homogen isotropik dengan resistivitas yang seragam (Telford dkk, 1990).



Gambar 5. Elektroda arus tunggal di permukaan bumi (Telford dkk, 1990)

Sumber arus tunggal pada permukaan medium homogen untuk pola seperti gambar 5, maka berlaku hukum Ohm yaitu (Burger, 1992):

$$I = - \frac{AdV}{\rho dr} \quad (9)$$

Karena luas setengah bola $A = 2\pi r^2$, maka arus I menjadi:

$$I = -\frac{2\pi r^2 dV}{\rho dr} \text{ atau } dV = -\frac{\rho I dr}{2\pi r^2} \quad (10)$$

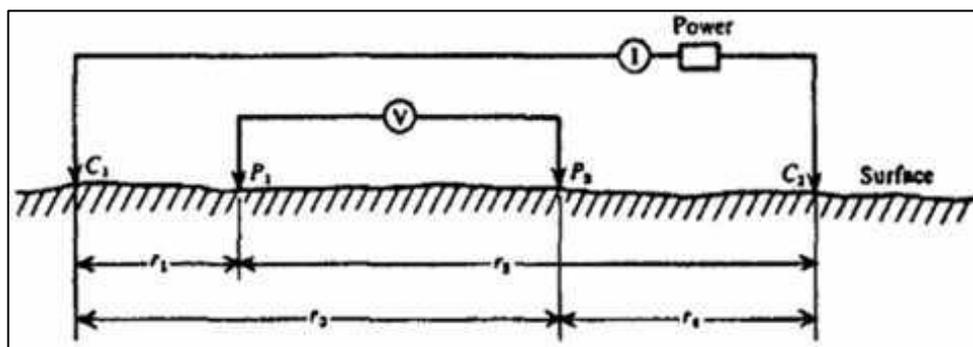
Sehingga potensial disuatu titik sejauh r dari pusat arus adalah:

$$V - dV = \int_0^r -\left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (11)$$

Luasan setengah bola digunakan dalam perhitungan ini karena untuk bumi yang homogen isotropik berarti tidak ada lapisan selain dari bidang batas antara tanah dan udara. Udara mempunyai konduktivitas nol atau resistivitas tak terhingga, sehingga arus hanya akan mengalir ke dalam bumi (Burger, 1992).

3.4.2. Potensial oleh Arus Ganda di Permukaan

Arah arus listrik pada elektroda ganda memiliki batas jangkauan arus listrik. Batas jangkauan arus listrik tergantung pada jarak antara dua elektroda arus dengan memperhatikan kerapatan arah arus listrik dalam bumi. Nilai resistivitas semu dipengaruhi oleh arus listrik yang diinjeksikan oleh dua buah elektroda arus ke dalam medium tidak terhingga (Kearey, 2002).



Gambar 6. Sumber arus dua titik pada permukaan homogen isotropis (Telford, dkk.,1990).

Nilai resistivitas semu dapat dicari dengan mengetahui nilai potensial yang terukur dan dipengaruhi oleh dua elektroda arus. Elektroda potensial pertama P1 dipengaruhi oleh elektroda arus pertama C1 dan kedua C2, sedangkan elektroda potensial kedua P2 dipengaruhi elektroda arus pertama C1 dan kedua C2, nilai potensial listrik pada P1 yang dipengaruhi oleh C1 merupakan kejadian yang mirip dengan kasus elektroda tunggal, sehingga nilai potensial listrik P1, yaitu (Telford dkk, 1990):

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1}, \text{ dimana } A_1 = -\frac{Ip}{2\pi} \quad (12)$$

Dengan arah arus listrik C1 yang berlawanan arah arus listrik C2 dan memiliki nilai arus listrik yang sama, sehingga potensial listrik pada P1 dan C2, yaitu:

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2}, \text{ dimana } A_2 = -\frac{Ip}{2\pi} \quad (13)$$

Dengan penjumlahan V1 dan V2 pada elektroda pertama P1 dimisalkan adalah V_R , maka:

$$V_R = V_1 + V_2 \quad (14)$$

Maka besarnya potensial listrik yang terukur pada elektroda potensial pertama P1 dapat dituliskan oleh persamaan :

$$V_R = V_1 + V_2 = \frac{Ip}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right] \quad (15)$$

Dengan V1 dan V2 adalah nilai potensial listrik yang diukur pada elektroda pertama, I adalah arus listrik yang diinjeksikan, r1 dan r2 adalah jarak antara P1 dengan C1 dan C2.

Nilai potensial listrik yang terukur oleh elektroda potensial kedua P2 merupakan penyelesaian kasus yang sama dengan elektroda potensial pertama P1. Penurunan

rumus mencari nilai potensial listrik pada elektroda P2 yang memiliki bentuk yang sama dengan persamaan (14) maka potensial listrik pada elektroda potensial kedua P2 dapat dimisalkan, yaitu :

$$V_S = V_3 + V_4 \quad (16)$$

Dengan V_S adalah penjumlahan potensial listrik karena pengaruh jarak dari elektroda arus pertama (V_3) dan pengaruh jarak dari elektroda arus kedua (V_4), maka potensial listrik pada elektroda kedua P2, yaitu :

$$V_S = V_3 + V_4 = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (17)$$

Dari persamaan 2.15, maka nilai beda potensial yang terukur pada multimeter di dalam instrumen geolistrik, yaitu :

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (18)$$

3.5. Resistivitas Semu

Metode geolistrik tahanan jenis didasarkan pada anggapan bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, tahanan jenis yang terukur merupakan tahanan jenis yang sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Namun pada kenyataannya bumi tersusun atas lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Karenanya, harga resistivitas yang diukur seolah-olah merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja. Resistivitas yang terukur sebenarnya adalah resistivitas semu (ρ_a) (Reynolds, 1997). Besar resistivitas semu dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut:

$$\rho = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} \quad (19)$$

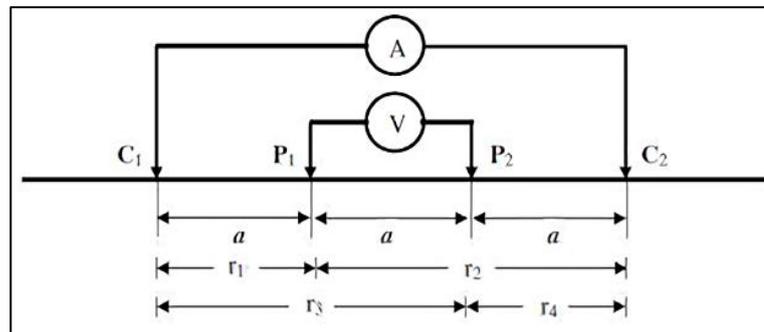
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (20)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)\right]} \quad (21)$$

Dimana K merupakan faktor geometri yaitu besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus. Dengan mengukur ΔV dan I maka dapat ditentukan harga resistivitas.

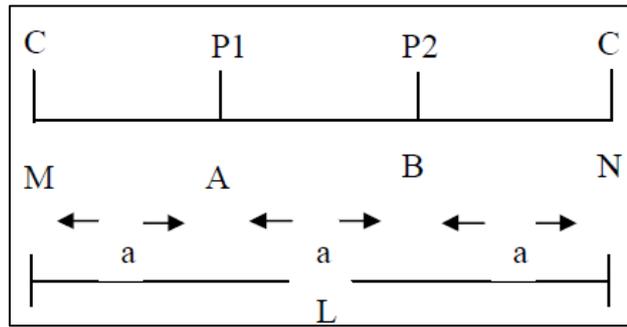
3.6. Konfigurasi Wenner

Konfigurasi ini merupakan metode yang diperkenalkan oleh Wenner tahun 1915 yang populer digunakan dalam pengambilan data geolistrik, baik VES (*Vertical Electrical Sounding*) maupun ERT (*Electrical Resistivity Tomography*). Nilai tahanan jenis semu diperoleh dengan faktor geometri (K) (Milsom, 2003).



Gambar 7. Sumber arus dua titik pada permukaan homogen isotropis (Telford, dkk.,1990).

Konfigurasi *Wenner* merupakan salah satu konfigurasi yang sering digunakan geolistrik dengan susunan jarak spasi sama panjang ($r_1 = r_4 = a$ dan $r_2 = r_3 = 2a$). Jarak antara elektroda arus adalah tiga kali jarak elektroda potensial, jarak potensial dengan titik *sounding* adalah $a/2$, maka jarak masing-masing elektroda arus dengan titik *sounding* adalah $3a/2$. Target kedalaman yang mampu dicapai pada metode ini adalah $a/2$. Dalam akuisisi data lapangan susunan elektroda arus dan potensial diletakkan simetri dengan titik *sounding*. Pada konfigurasi *Wenner* jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial adalah sama.



Gambar 8. Susunan elektroda arus dan potensial pada konfigurasi Wenner (Loke, 2004).

Berdasarkan gambar 8, ditunjukkan bahwa jarak $AM = NB = a$ dan jarak $AN = MB = 2a$, dengan menggunakan persamaan (21) diperoleh:

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a}\right)\right]} \quad (22)$$

$$K = 2\pi a \quad (23)$$

Sehingga, faktor geometri untuk konfigurasi *Wenner* adalah sebagai berikut:

$$K_w = 2\pi a \quad (24)$$

$$\rho = K_w \cdot R \quad (25)$$

Pengambilan data geolistrik yang ideal dilakukan pada permukaan tanah yang memiliki topografi landai, namun pada kenyataan di lapangan topografi bervariasi. Maka dari itu kemiringan permukaan tanah dapat diabaikan jika kemiringan $<15^\circ$ (Milsom, 2003).

3.7. Pemodelan 2D

Penampang 2D merupakan penampang untuk menggambarkan hasil survei secara 2D dengan metode *contouring pseudosection*. Metode ini memberikan gambaran tentang distribusi nilai-nilai hasil pengukuran di lapangan yang dapat berupa resistivitas, *percent frequency effect* ataupun *metal factor* di bawah permukaan bumi. Dalam hal ini, posisi *plotting point* adalah titik tengah horizontal ditempatkan di tengah-tengah dalam susunan elektroda pengukuran, sedangkan titik lateral ditempatkan pada jarak yang proporsional di tengah-tengah dalam susunan elektroda pengukuran (antara elektroda C1-PI) pada arah vertikal ke bawah. *Pseudosection* dapat dibuat secara manual pada saat pengambilan data di lapangan dengan cara memplotkan nilai resistivitas semu yang terukur, kemudian dilakukan pengkonturan.

Hal ini ditujukan sebagai gambaran awal hasil pengukuran dan pengontrol kualitas data hasil pengukuran di lapangan yang selanjutnya dapat digunakan sebagai paduan interpretasi kuantitatif lebih lanjut. *Pseudosection* dihasilkan dari proses pemodelan *forward* maupun *inversi*, sehingga diperoleh nilai resistivitas yang sudah terkoreksi (*topographic effect*). Proses ini merupakan pendekatan terhadap nilai resistivitas yang sebenarnya. Kesalahan yang biasa dilakukan adalah mencoba menggunakan *pseudosection* resistivitas semu maupun sebagai gambaran akhir untuk tahap interpretasi. Hasil survei merupakan distribusi nilai resistivitas material bawah permukaan bumi yang disebut *resistivity pseudosection* atau *inverse model resistivity section*.

Model yang diperoleh melalui proses inversi akan selalu memiliki nilai *Residual Error* atau *Root Mean Squared Error* (RMSE). Iterasi dapat dilakukan beberapa kali untuk menurunkan nilai error yang ada. Iterasi merupakan proses perhitungan ulang dari data yang dimasukkan dalam fungsi matematis yang sama secara berulang-ulang untuk memperoleh hasil yang diinginkan. Nilai RMSE berperan untuk memperlihatkan tingkat perbedaan dari pengukuran nilai resistivitas material terhadap nilai resistivitas material yang sebenarnya. Semakin besar nilai RMSE maka model yang diperoleh dari proses inversi akan semakin halus. Besar kecilnya

nilai RMSE dipengaruhi oleh bentuk dan struktur bumi tempat elektroda dibentang, misalnya adanya keberadaan gua di dalam tanah atau banyak akar pepohonan yang berada tepat di bawah bentangan (Loke, 2004).

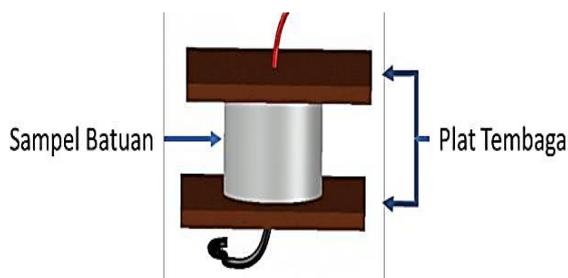
3.8. Pemodelan 3D

Proses pemodelan 3D adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai distribusi sifat fisis objek di bawah permukaan (Supriyanto, 2007). Pada metode inversi geofisika, model yang dicari berupa representasi matematika bagian dari bumi yang memberi respons yang sesuai dengan hasil pengukuran yang kemudian model tersebut di diskritisasi. Diskritisasi model dapat dilakukan dengan tiga cara. Pertama, membagi model menjadi blok-blok kecil yang lebarnya sama dengan jarak terkecil antara elektroda. Selanjutnya, membagi model menjadi blok-blok yang pada beberapa lapisan pertamanya dibagi dua secara vertikal maupun horizontal dari cara yang pertama. Dan tahap ketiga, blok-blok yang pada beberapa lapisan pertamanya hanya dibagi dua secara horizontal saja. Hal ini disebabkan resolusi metode resistivity berkurang dengan bertambahnya kedalaman, maka lebih efektif jika blok yang dibagi dua hanya lapisan pertama dan kedua saja (Loke, 1999). Setiap titik pada diskritisasi model tersebut kemudian diberikan suatu parameter berupa nilai resistivity yang nilainya sama dengan yang diinginkan oleh penginversi juga hasil pengukuran. Sedangkan respon model merupakan data sintetik yang dihitung dengan hubungan secara matematika berdasarkan pada model yang dengan parameter yang dimilikinya.

3.9. *Time Rock Resistivity Meter*

Real Time Rock Resistivity Meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur nilai resistivitas yang mampu mengkuatisasi nilai resistivitas batuan. 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. Instrumen ini digunakan sebagai sarana utama dalam mengkarakterisasi sifat kelistrikan formasi batuan yang ada (Yogi, 2020).

Listrik dialirkan dari permukaan sampel sehingga tidak perlu menusuk batuan dengan elektroda. Sampel yang telah dipotong sedemikian rupa sehingga berbentuk silinder atau balok dihubungkan dengan plat tembaga di kedua ujung permukaan seperti ilustrasi pada Gambar 9. Selanjutnya, untuk menahan agar pengukuran tetap stabil, model standar tersebut dikembangkan menjadi mekanik seperti pada Gambar 10 (Yogi, 2020).



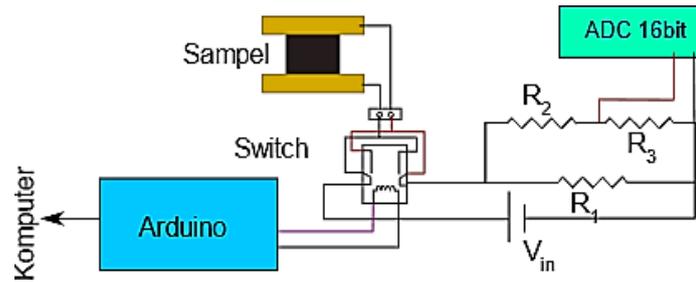
Gambar 9. Ilustrasi skema pengukuran nilai resistivitas sampel batuan (Yogi, 2020).



Gambar 10. Instrumen Real Time Rock Resistivity Meter.

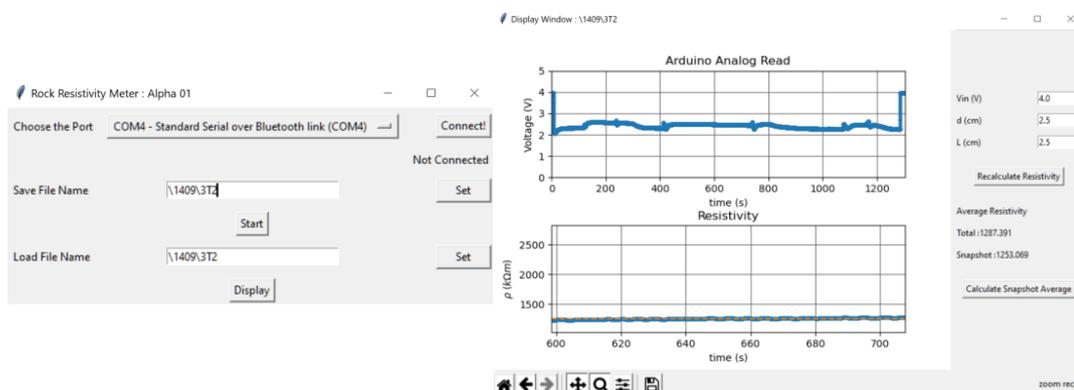
Sebelumnya desain instrumen ini telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Desain pada Telford dkk., 1990 menggunakan sistem empat elektroda dan arus AC. Giao dkk., 2003 telah mengembangkan instrumen untuk mengukur sampel batuan lempung dengan menggunakan empat elektroda DC. Instrumen pengukuran dengan empat elektroda juga dikembangkan oleh Caselle dkk., 2019 yang digunakan untuk mengukur batuan gipsum. Instrumen dengan empat elektroda cocok digunakan untuk batuan lunak (Yogi, 2020).

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan rangkaian di bawah. Nilai tegangan V_3 diukur dengan *analog to digital converter* (ADC) yang memiliki kemampuan meresolusi 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 (Yogi, 2020).



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 direkam. Berikut tampilan program antarmuka di sistem operasi Windows 10. Program dapat menghitung nilai resistivitas sampel berdasarkan dimensi sampel (Yogi, 2020).



Gambar 12. Gambar antarmuka program perekaman dan pengamatan nilai resistivitas batuan (Yogi, 2020).

4.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data Resistivitas
2. Laptop
3. Sampel batuan
4. *Real Time Rock Resistivity Meter*
5. *Software* RockResM.exe
6. *Software* Microsoft Office
7. *Software* ArcGIS
8. *Software* Surfer
9. *Software* Global Mapper
10. *Software* Res2DINV
11. *Software* Voxler

4.3. Prosedur Penelitian

4.3.1. Studi Literatur

Pada studi literatur ini dilakukan untuk mempelajari konsep dari metode geolistrik resistivitas yang digunakan dalam eksplorasi sumberdaya andesit. Kemudian, memahami kondisi geologi pada daerah penelitian dan penggunaan metode geolistrik resistivitas untuk eksplorasi sumberdaya andesit, berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

4.3.2. Pengukuran Resistivitas Sampel Batuan

Sebelum melakukan pengukuran, diperlukan sampel batuan andesit yang didapat langsung dari lokasi penelitian. Selanjutnya sampel tersebut dibentuk sedemikian rupa menyerupai tabung kecil menggunakan mata bor yang telah ditentukan. Sampel batuan menjadi berukuran diameter 2,29 cm dan tinggi 2,98 cm. Pengukuran dilakukan pada sampel batuan dengan berbagai kondisi, yaitu sampel batuan kondisi asli dan kondisi setelah dilakukan perendaman, yang mana telah dilakukan perendaman selama 7 hari dengan ketinggian air 10 cm.



Gambar 13. Sampel batuan.

Selanjutnya yaitu dilakukan pengukuran dengan menyiapkan komponen dari instrumen *Rock Resistivity Meter*. Komponen instrumen *Rock Resistivity Meter* yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari *Press Electrode*, *Recording Unit*, Kabel USB, Adaptor. Setelah sampel batuan serta komponen instrumen telah siap, maka proses pengukuran atau perekaman dapat dimulai. Perekaman dimulai dengan memposisikan sampel batuan di atas elektroda atau plat tembaga, lalu turunkan press electrode dengan cara memutar tuas hingga sampel tidak mudah digerakkan. Selanjutnya yaitu menghubungkan kabel-kabel dengan recording unit yaitu meliputi kabel elektroda, kabel USB, dan kabel adaptor listrik.

Data yang direkam oleh instrumen tersebut dikirim ke perangkat komputer untuk dipantau dan direkam. Pemantauan dan perekaman dilakukan dengan sebuah program yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman *python*. Sebelum memulai perekaman data, maka perlu dilakukan penentuan port. Setelah instrumen dan komputer terhubung, maka tahap selanjutnya yaitu memasukkan nama file kemudian masuk ke jendela pengukuran. Di awal pengukuran nilai yang muncul adalah keadaan di mana tegangan input tidak terhubung dengan sampel sehingga terukur langsung oleh recording unit atau disebut posisi *Vin*. Kemudian, klik *Vin Switch* untuk menghubungkan instrumen dengan tegangan input. Proses ini akan

membuat kondisi polaritas positif tegangan input terhubung dengan polaritas positif sampel. Selanjutnya, Klik Sample Switch untuk membalikkan polaritas. Pembalikan ini mengakibatkan polaritas positif dari tegangan input terhubung dengan polaritas negatif sampel. Kemudian, klik Sample Switch untuk membalik lagi polaritas antara tegangan input dengan sampel. Proses ini dapat dilakukan berulang-ulang ketika dibutuhkan.

Setelah proses perekaman data selesai, maka dilanjutkan dengan analisis data perekaman yang dilakukan untuk menampilkan nilai resistivitas yang telah terekam. Proses tersebut dilakukan dengan memasukkan nama file yang akan dibuka, kemudian akan muncul display yang berisikan kurva tegangan, kurva resistivitas, *parameter set*, *Average resistivity status*, serta *Snapshot calculation*. Selanjutnya dapat mengisi parameter set yang terdiri dari tegangan sumber (V_{in}), diameter dan panjang sampel. Untuk menganalisa lebih lanjut, dilakukan rata-rata kurva resistivitas dengan mencuplik bagian polaritas positif dan negatif. Kemudian akan muncul nilai resistivitas rata-rata untuk gabungan dari resistivitas pada polaritas positif dan negatif.

4.3.3. Pembuatan Model 2D dan 3D

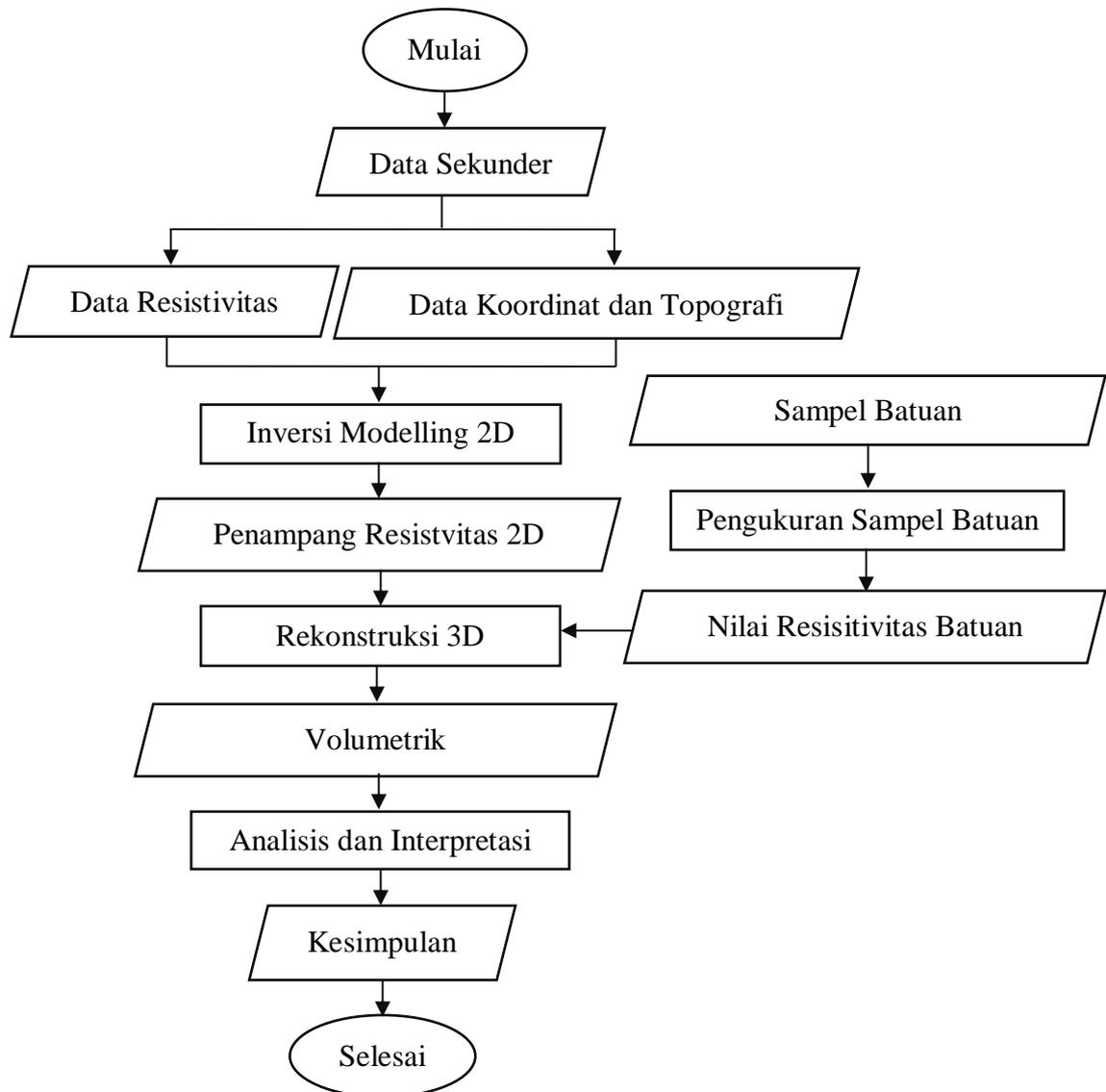
Pengolahan data diawali dengan menggunakan *Microsoft Excel* untuk menentukan nilai resistivitas. Sebelum menentukan nilai resistivitas, dilakukan perhitungan nilai faktor geometri Konfigurasi *Wenner* dengan menggunakan rumus $2\pi r$. Kemudian setelah mendapatkan nilai faktor geometri maka dapat ditentukan nilai resistivitas dengan menggunakan rumus $\rho = K \frac{V}{I}$. Nilai resistivitas semu selanjutnya dapat dilakukan pengolahan dengan menggunakan *Software Res2Dinv* untuk dilakukan inversi yang kemudian akan memperoleh penampang resistivitas 2D. Selanjutnya, untuk melakukan rekonstruksi volume batuan dalam pemodelan 3D, pengolahan data dilanjutkan dengan menggunakan *Software Voxler*.

4.3.4. Interpretasi Data

Interpretasi data dilakukan dengan melakukan analisa terhadap hasil penelitian untuk mengetahui gambaran kondisi lapisan batuan penyusun bawah permukaan pada daerah penelitian. Interpretasi data didasari oleh batuan penyusun lapisan bawah permukaan yang dapat memberikan informasi dari hasil pengolahan geolistrik resistivitas 2D dan didukung oleh geologi regional, morfologi, serta hasil pengukuran sampel batuan. Interpretasi data dilakukan dengan mengkorelasikan variasi nilai resistivitas material batuan hasil inversi pengolahan data pemodelan 2D dengan nilai resistivitas material batuan dari hasil perekaman data resistivitas sampel, sehingga dapat diketahui sebaran batuan andesit pada daerah penelitian. Selanjutnya, hasil dari pemodelan 3D akan didapatkan volumetrik batuan dan tonase.

4.4. Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini diperlihatkan pada gambar 14.



Gambar 14. Diagram alir penelitian.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan pengukuran resistivitas batuan menggunakan alat *Real Time Rock Resistivity Meter*, diperoleh nilai resistivitas batuan andesit pada daerah penelitian sebesar 500 – 23000 Ωm dengan berbagai kondisi sampel yaitu andesit segar, andesit bercampur tuff, dan andesit lapuk. Kekar yang terdapat pada sampel memungkinkan air dapat mengisi dan keluar dari batuan yang menyebabkan penurunan nilai resistivitas setelah dilakukan perendaman.
2. Persebaran sumberdaya batuan andesit pada pemodelan 3D dengan rentang resistivitas 15 - 5200 Ωm menunjukkan persebaran batuan andesit dari arah barat daya – timur laut. Variasi sebaran titik batuan andesit dari seluruh lintasan yaitu pada kedalaman 0,5 – 35 meter
3. Estimasi potensi sumberdaya batuan andesit pada daerah penelitian berdasarkan pendekatan resistivitas dengan rentang nilai 500 Ωm sampai dengan 5200 Ωm untuk luasan $\pm 8,5$ Ha yaitu sebesar 1.373.498 m^3 dengan tonase 4.112.290 ton.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, penulis memberikan beberapa saran yang dapat membantu penelitian selanjutnya, yakni sebagai berikut:

1. Para peneliti sebaiknya memperluas daerah pengambilan data, sehingga penyebaran batuan andesit di bawah permukaan dapat terlihat lebih baik.
2. Untuk mendapatkan cadangan terukur disarankan melakukan kegiatan mekanika tanah (pengeboran eksplorasi).

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Z., & Ilham, D. (2019). Pemodelan 2D dan 3D Geolistrik Tomografi untuk Interpretasi Bidang Gelincir dan Arah Aliran Air Pada Struktur Bawah Permukaan Rel Kereta Api di Baturaja, Sumatera Selatan. *Wahana Fisika*, 4(2), 104-110.
- Alghifarry, M. B. (2023). Estimasi Potensi Kandungan Andesit dengan Pendekatan Resistivitas Pada Daerah Umbar, Kelumbayan, Tanggamus. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Amin, T. C., Sidarto, S., & Gunawan, W. (1994). Peta Geologi Lembar Kota Agung. *P3 Geologi, Bandung*.
- Burger, H.R. (1992). *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. New Jersey : Prentice Hall.
- 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*. 29(6), 841-849.
- Chalikakis, K., Plagnes, V., Guerin, R., Valois, R., & Bosch, F. P. (2011). Contribution of geophysical methods to karst-system exploration: an overview. *Hydrogeology Journal*. 19(6), 1169-1180.
- Chandra, R. (2011). *Skripsi*. Menentukan Daerah Prospek Bijih Besi Menggunakan Metode Geolistrik di daerah "C" dengan Data Pendukung Geomagnet. Universitas Indonesia. Depok.
- Giancoli, D.C. (2001). *Fisika Dasar Jilid 2*. (Edisi Kelima). Jakarta: Erlangga.
- Giao, P., Chung, S., Kim, D., dan Tanaka, H. (2003). Electric imaging and laboratory resistivity testing for geotechnical investigation of Pusan clay deposits. *Journal of Applied Geophysics*. 52(4), 157–175.

- Hardiyono, A. (2013). Karakteristik Batuan Beku Andesit dan Breksi Vulkanik, dan Kemungkinan Penggunaan sebagai Bahan Bangunan Daerah Ukir Sari, Kecamatan Brojonegara, Kabupaten Serang, Provinsi Banten. *Bulletin of Scientific Contribution*. Vol. 11 (2), 89-95.
- Hersir, Gylfi, P., dan Árnason, K. (2010). *Resistivity of Rocks. Presented at Short Course V on Exploration for Geothermal Resources*. p.212-216.
- Katili, J.A. dan Marks, P. (1963). *Geologi*. Departemen Urusan Research Nasional: Jakarta
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, Ian. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration*, 3rd Edition. London: Blackwell Science.
- Khosama, L. K. (2012). Kuat Tekan Beton Beragregat Kasar Batuan Tuff Merah, Batuan Tuff Putih, Dan Batuan Andesit. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 2(1), 99391.
- Lestari, I.P. (2021). Geologi Daerah Way Lengkukai Dan Sekitarnya, Kecamatan Kelumbayan Barat, Tanggamus, Lampung. *Skripsi*. Teknik Manufaktur Institut Teknologi Sumatera
- Loke, M.H. (2004). *Tutorial 2D and 3D Electrical Imaging Surveys*. England: Birmingham University.
- Loke, M. H. (1999). *Introduction to Resistivity Surveys*. Penang Malaysia.
- Lowrie, W (2007). *Fundamentals of Geophysics*. Cambridge University Press, p.293-320.
- Milsom, J. (2003). *Field Geophysics: The Geological Field Guide Series*. England : University College London.
- Mozi, R. R., & Sutriyono, E. (2019). Karakteristik Andesit Formasi Hulusimpang Daerah Tamansari Dan Sekitarnya, Kabupaten Tanggamus, Lampung. *Applicable Innovation of Engineering and Science Research (AVoER)*, 518-522.
- Prastowo, R. (2017). Pemodelan 2D Resistivitas Batuan Andesit Daerah Gunung Kukusan, Kulon Progo. *Jurnal Kurvatek*, 2(2), 87-93.
- Putra, A. R. T., & Riyanto, A. (2019). Perhitungan volume cadangan bahan galian tambang andesit menggunakan metode resistivitas Dipol-Dipol dan interpolasi 3D di lapangan "A". *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 8 (11), 71-83
- Raymond, A. Loren. (2000). *Study of Igneous, Sedimentary, and Metamorphism rocks*. Second Edition. Mc.Graw Hill.

- Reynolds, J.M. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York : Jhon Geophysicsin Hidrogeological and Wiley and Sons Ltd. Baffins, Chichester, West Sussex PO19 IUD. England.
- Saputro, H., & Winingsih, P. H. (2010). Analisa Struktural Batuan Andesit di Desa Laksanamekar Bandung Jawa barat. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 16(2), 112-116.
- Sariisik, A., Sariisik, G., dan Senturk, A. (2011). Applications of Glaze and Decor on Dimensioned Andesites Used in Construction Sector. *Construction and Building Materials*. 25(9), 3694-3702.
- Santoso, A. B., & Sidiq, H. (2017). Perhitungan Sumberdaya Batuan Breksi Andesit Berdasarkan Ukuran Fragmen dengan Menggunakan Metode Geolistrik Kabupaten Cilegon Banten. *KURVATEK*, 2(1), 39-44.
- Subardja, A., & Noviardi, R. (2007). Pemanfaatan Laban Paska Penambangan Batubara Di Kabupaten Berau, Propinsi Kalimantan Timur. *Prosiding Seminar Geoteknologi Ilmu Kebumihan dalam Pembangunan Berkelanjutan*. Bandung: 3 Desember 2007. 81-95
- Telford, W. M., Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics*. Cambridge university press.
- Wijaya, Carta. (2019). Pemodelan 2D Dan 3D Geolistrik Untuk Perhitungan Volumetrik Batuan Andesit Di Desa Sukarame Kecamatan Punduh Pidada Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Skripsi*. Lampung: Universiatis Lampung.
- Williams, H., Turner, F.J., dan Gilbert, C.M. (1954). *Petrography: An Intrudoction to the Study of Rocks in Thin Sections*. W. H. Freeman and Company: New York.
- Yogi, I. B. S., Pangestu, R., Karyanto, K., & Darmawan, I. (2020). Instrumen real time rock resistivity meter untuk mengukur resistivitas dan memonitor sifat kelistrikan sampel batuan. *Jurnal Geosaintek*, 6(3), 143-152.