

# RANCANG BANGUN *EARTH RESISTIVITY METER DATA LOGGER* BERBASIS MIKROKONTROLLER

Muhammad Irsan Sadri  
Departemen Teknik Elektro  
Universitas Hasanuddin  
Makassar, Sulawesi Selatan  
irsan.sadri42@gmail.com

Zaenab Muslimin  
Departemen Teknik Elektro  
Universitas Hasanuddin  
Makassar, Sulawesi Selatan  
zaenab@unhas.ac.id

Indar Chaerah Gunadin  
Departemen Teknik Elektro  
Universitas Hasanuddin  
Makassar, Sulawesi Selatan  
indar@eng.unhas.ac.id

**Abstract**— *Resistivity measurement is an important aspect of material characterization and measurement. Currently, the process of manually recording resistivity data is time-consuming, error-prone, and inaccurate. The design of the resistivity meter made in this study uses a microcontroller-based data logger which makes it easier for users to record data in finding resistivity such as voltage and current. The main advantage of this design lies in the automatic data recording which is designed as multichannel. With this tool, it is hoped that it can make research more efficient by reducing the time and effort used in the process of collecting soil resistivity data. This research method includes the process of designing and testing tools. Tool performance is done by comparing tracking results based on data recorded by the tool using a two-electrode configuration. The construction of the electrodes used is the Wenner configuration and the Dipole configuration and then the accuracy of the data logger is evaluated from the resistivity meter designed using the ResIPy application. The Wenner and Dipole configurations respectively produce 84 and 520 electrode configurations and underground depictions with the best accuracy of +/- 2.5% and +/- 1.5. Where the resistivity value of the Wanner configuration which was successfully obtained based on the data recorded by the tool is in the range of 3.0 log<sub>10</sub> Ohm.m to 0.2 log<sub>10</sub> Ohm.m for field measurements and 310.7 Ohm.m to 1.9 Ohm.m for laboratory measurements. The dipole-dipole configurations are in the range of 3.3log<sub>10</sub> Ohm.m to 0.2log<sub>10</sub> Ohm.m for field measurements and 235.9 Ohm.m to 12.3 Ohm.m for laboratory measurements.*

**Keywords**— *earth resistivity, measurement, microcontroller, wenner configuration, dipole dipole configuration*

**Abstrak**— Pengukuran resistivitas merupakan aspek penting dari karakterisasi dan pengukuran material. Saat ini, proses pencatatan data resistivitas secara manual memakan waktu, rawan kesalahan, dan kurang akurat. Perancangan resistivity meter yang dibuat pada penelitian ini menggunakan data logger berbasis mikrokontroler yang memudahkan pengguna alat merekam data dalam mencari resistivitas seperti tegangan dan arus. Keunggulan utama perancangan ini terletak pada perekaman data secara otomatis yang didesain multichannel. Dengan adanya alat ini diharapkan dapat membuat penelitian menjadi lebih efisien dengan mengurangi waktu dan tenaga yang digunakan dalam proses pengambilan data resistivitas tanah. Metode penelitian ini meliputi proses perancangan dan pengujian alat. Kinerja alat dilakukan dengan membandingkan hasil pelacakan berdasarkan data yang direkam oleh alat dengan menggunakan konfigurasi dua elektroda. Konstruksi elektroda yang digunakan adalah konfigurasi Wenner dan konfigurasi Dipol kemudian dievaluasi akurasi data logger dari resistivity meter yang dirancang menggunakan aplikasi ResIPy. Konfigurasi Wenner dan Dipol masing-masing menghasilkan 84 dan 520 konfigurasi elektroda dan penggambaran bawah tanah dengan akurasi terbaik sebesar +/- 2,5% dan +/- 1,5. Dimana untuk nilai resistivitas konfigurasi Wanner yang berhasil didapatkan

berdasarkan data yang dicatat oleh alat berada pada kisaran 3,0 log<sub>10</sub> Ohm.m sampai dengan 0,2 log<sub>10</sub> Ohm.m untuk pengukuran di lapangan dan 310,7 Ohm.m sampai dengan 1,9 Ohm.m untuk pengukuran di laboratorium. Adapun konfigurasi dipol-dipol berada dikisaran 3,3log<sub>10</sub> Ohm.m sampai dengan 0,2log<sub>10</sub> Ohm.m untuk pengukuran lapangan dan 235,9 Ohm.m sampai 12,3 Ohm.m untuk pengukuran di laboratorium.

**Kata Kunci**— *resistivitas tanah, pengukuran, mikrokontroler, konfigurasi wenner, konfigurasi dipol dipol*

## I. PENDAHULUAN

Kondisi geologi bawah permukaan memiliki dua aspek yang saling terkait yaitu potensi sumber daya alam dan risiko bencana geologi. Informasi kondisi geologi dekat bawah permukaan diperlukan untuk memanfaatkan potensi sumber daya alam dan memitigasi risiko bencana geologi [1]. Salah satu metode yang paling umum adalah dengan menggunakan instrumen geofisika yang disebut pengukur resistivitas, yang menggunakan variasi nilai resistivitas dan konduktivitas tomografi resistivitas listrik untuk menghasilkan model penampang bawah permukaan dua dimensi [2].

Menjelajahi bawah permukaan terdekat dengan bantuan ilmu fisika, teknologi, dan konsep dikenal sebagai geofisika terapan. Medan fisik ini, seperti medan magnet atau listrik, tidak terlihat oleh mata manusia. Tujuannya adalah mengubah bidang deteksi ini menjadi peta dan grafik yang dapat ditafsirkan pada saat ini. Materi juga dapat "dilihat" melalui teknik pencitraan medis seperti tomografi resonansi magnetik dan sinar-X.

Bagaimanapun, di sisi permintaan, geofisika terapan membantu kita menemukan dan mengkarakterisasi akuifer. Itu dapat memetakan parameter tanah, yang komposisi dan geometri bawah permukaannya dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa informasi tambahan di bidang studi. Sampai batas tertentu, dia dapat menentukan lokasi patahan, ketebalan lapisan tanah liat, dan banyak lagi, misalnya dapat menandai area yang terkontaminasi, menemukan benda logam yang terkubur, atau menguraikan fondasi bekas permukiman. [3].

Prinsip pengukuran menggunakan metode geolistrik adalah menginjeksikan arus (I) (dalam mA) ke dalam bumi kemudian mengukur beda potensial (V) (dalam mV) yang dihasilkan antara kedua elektroda. Nilai resistansi semu ( $\rho_a$ ) diperoleh dari perhitungan arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda [4].

Pada data resistivitas semu, teknik pemodelan invers diterapkan melalui proses inversi. Perangkat lunak yang

disebut ResiPy digunakan untuk melakukan inversi proses. Untuk menerjemahkan nilai resistivitas semu material menjadi nilai resistivitas aktualnya, metode inversi digunakan untuk dataset yang kompleks [5].

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Resistivitas Tanah

Indikator seberapa besar suatu material menentang aliran listrik adalah resistivitas listriknya. Unit pengukuran untuk resistivitas adalah ohmmeter ( $\Omega$  m). Suatu material memiliki resistivitas rendah jika listrik dapat dengan mudah melewatinya. Resistivitas tinggi mengacu pada kesulitan material dalam membiarkan listrik mengalir melaluinya. [6].

Namun, untuk menentukan kedalaman lapisan bawah tanah, pertama-tama kita mengukur resistivitas bumi. Tabel di bawah menunjukkan bagaimana pengukuran ini dapat digunakan untuk menentukan kedalaman lapisan bawah tanah.

Tabel 1 Jenis tanah dan resistivitas tanah semunya [7]

TYPICAL RESISTIVITY FOR DIFFERENT GROUNDS		
Type of Soil or water	Typical Resistivity ( $\Omega / m$ )	Usual Limit ( $\Omega / m$ )
Sea Water	2	0.1 to 10
Clay	40	8 – 70
Ground well and spring water	50	10 – 150
Clay and Sand mix	100	4 – 300
Shale, Slates, Sandstone	120	10 – 1000
Peat, Loam and Mud	150	5 – 250
Lake and Brook Water	250	100 – 400
Sand	2000	200 – 3000
Morane Gravel	3000	40 – 10000
Ridge Gravel	15000	3000 – 30000
Solid granite	25000	10000 – 50000
Ice	100000	10000 - 100000

Tabel tersebut menunjukkan bahwa nilai resistivitas bervariasi tergantung pada jenis lapisan tanah. Berdasarkan nilai resistivitasnya, nilai ini kemudian dijadikan acuan untuk pemetaan bawah tanah.

### B. Electrical Resistivity Tomography

Teknologi Tomografi Resistivitas Listrik dua Dimensi (2D ERT) secara khusus mampu menyelesaikan struktur bawah permukaan pada kenyataannya, membuat representasi 2D tanah menggunakan dua elektroda arus dan mengukur penurunan potensial (V) di dua elektroda lainnya [8]. Penurunan tegangan yang diukur berbanding lurus dengan resistivitas listrik, yang dapat dikaitkan dengan fitur pembeda media sebagai berikut:

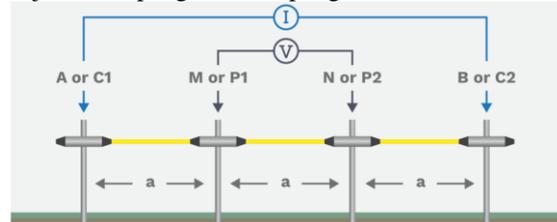
$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Dimana, I mewakili Arus (Ampere),  $\Delta V$  mewakili beda potensial (V), K mewakili Faktor geometris (meter), dan  $\rho$  mewakili nilai resistivitas (Ohm.m).

Menggunakan sejumlah besar pengukuran resistivitas dari elektroda yang disusun dalam bentuk geometris apa pun,

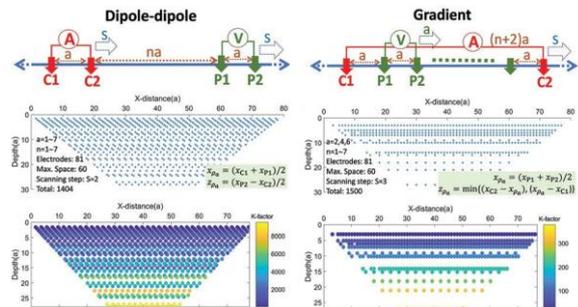
metode ERT menentukan distribusi resistivitas listrik di bawah permukaan. ERT menggunakan empat elektroda untuk meminimalkan dampak resistansi kontak pada antarmuka antara air pori tanah dan elektroda. Arus yang diketahui digerakkan melalui dua elektroda, dan perbedaan potensial pada dua elektroda lainnya dipantau [9].

Semua kombinasi independen linear yang dapat dibayangkan dari susunan elektroda digunakan untuk mendapatkan sejumlah besar pengukuran impedansi terpisah yang diperlukan untuk inversi tomografi. Berbagai konfigurasi dapat digunakan untuk menghasilkan pasangan ini. Skema pengukuran Wenner alfa adalah pendekatan yang menonjol untuk pengukuran lapangan.



Gambar 1 Konfigurasi Wenner alfa [10]

Untuk mendapatkan resistivitas semu di lapangan, banyak set elektrode dikembangkan dalam eksplorasi resistivitas DC tradisional. Pada prinsipnya, ERT membutuhkan kerapatan data yang tinggi dan cakupan permukaan bumi yang baik untuk citra target bawah permukaan beresolusi tinggi. Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan eksperimen dengan menggunakan 2 konfigurasi array, yaitu konfigurasi Wenner 'konvensional' dan konfigurasi gabungan dari kombinasi konfigurasi dipol-dipol dan gradien.



Gambar 2 Konfigurasi Array Dipol-dipol [11].

### C. Inversion Process Optimization

Metode invers harus digunakan untuk mengubah pengukuran geolistrik menjadi atribut geolistrik. Teknik ini berusaha untuk mengidentifikasi distribusi parameter geolistrik yang paling cocok dengan data terukur. Untuk melakukan hal ini, ketidaksesuaian antara rangkaian pembacaan dari empat elektroda dan respons yang diantisipasi dari model geolistrik harus diminimalkan.

ResiPy adalah program untuk analisis, pemodelan, dan inversi data geofisika yang menyederhanakan masalah dan memberi pengguna kendali penuh atas pemodelan kompleks dan parameter inversi melalui antarmuka pengguna grafis yang jelas. ResiPy menawarkan platform untuk proyek interdisipliner di mana hasil yang dapat dipercaya diberikan melalui antarmuka pengguna nonlinier yang mudah digunakan. ResiPy sempurna untuk penggunaan pendidikan karena memungkinkan pemodelan dan inversi resistivitas

2D dan 3D serta data IP. Sementara sebagian besar algoritme dan perangkat lunak inversi di pasaran dapat melakukan pemfilteran data sederhana, ResIPy menawarkan teknik pembersihan data yang komprehensif. Baik GUI dan API telah digunakan untuk mengimplementasikan ResiPy dengan sukses dalam berbagai aplikasi pemodelan dan lapangan. [5]

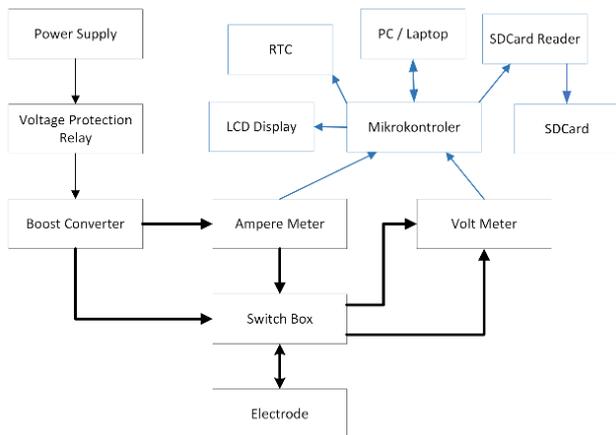
### III. METODOLOGI PENELITIAN.

#### A. Desain Perangkat Keras

Proses awal alat ini melalui alat pengaman berupa voltage protection relay, kemudian tegangan input yang sebelumnya 12V dinaikkan menjadi kurang lebih 360V menggunakan DC-DC boost converter.

Tegangan input yang meningkat kemudian diukur, jika tidak ada arus yang terdeteksi, kita dapat melakukan pengukuran. Sebanyak 24 elektroda akan ditancapkan ke ground, dimana konfigurasi elektroda akan diubah melalui kotak saklar. Kemudian ampere meter dan volt meter akan mendeteksi nilai tegangan dan arus. Kita dapat memantau nilai tegangan dan arus elektroda melalui LCD, dan data akan secara otomatis terekam ke SD Card.

Di bawah ini adalah gambaran bagaimana alat ini akan dibuat:



Gambar 3 Skema Desain Pencatat Data Resistivitas Meter

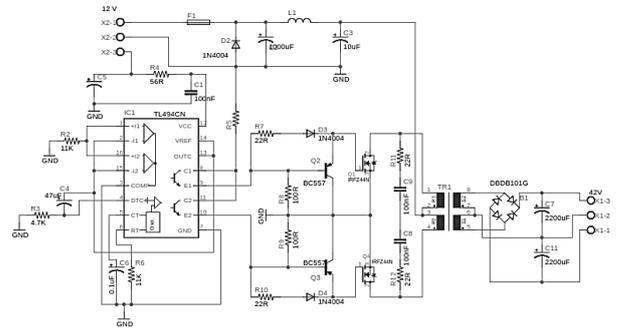
Laptop digunakan untuk memasukkan program tampilan data pada layar LCD dan merekam data pada SD Card ke dalam mikrokontroler. Dimana mikrokontroler disini berperan penting sebagai otak dari rangkaian arduino.

#### B. Boost Converter

Switch mode Sumber daya DC sering menggunakan konverter DC/DC. Regulasi tegangan output konverter DC/DC dicapai dari perspektif energi dengan terus mengubah energi yang diserap dari sumber dan energi yang diinjeksikan ke beban, yang pada gilirannya diatur oleh durasi relatif interval penyerapan dan injeksi. Siklus peralihan terdiri dari dua proses penyerapan dan injeksi energi dasar ini. [12].

Dua transistor digunakan dalam topologi setengah jembatan konverter DC-DC untuk memulai aktivitas switching, yang mengirimkan pulsa arus ke beban. Topologi konverter DC-DC ini menawarkan pulsa yang dapat dihaluskan ke nilai daya DC nominal selain perbaikan dan penghalusan dengan bank kapasitor. Topologi ini dapat diisolasi, memungkinkannya menghasilkan tegangan tinggi saat dihubungkan secara seri dari beberapa papan, dengan

daya keluaran digabungkan melalui transformator atau optocoupler. Jika rangkaian penggerak gerbang adalah rangkaian terpadu, isolasi dapat diterapkan di dalamnya dengan isolasi sambungan. Kopling transformator juga dapat digunakan dalam topologi non-terisolasi untuk menambah atau mengurangi tegangan keluaran [13].

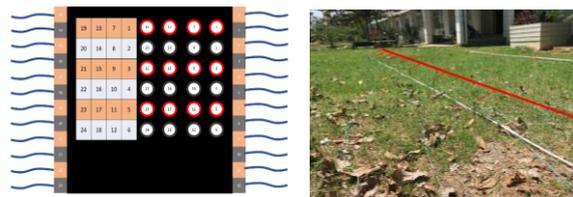


Gambar 4 Sirkuit Skema Konverter Boost DC-DC Setengah Jembatan

Karena kesederhanaannya, topologi flyback dan forward sering digunakan dalam konverter DC-DC terisolasi untuk Power Supply Unit (PSU) rendah dengan daya kurang dari 1 kW. Berbeda dengan konverter Flyback, trafo frekuensi tinggi konverter maju tidak menyimpan energi, sehingga lebih cocok untuk aplikasi yang memerlukan arus keluaran tinggi [14].

#### C. Switch Box

Setiap pengukuran baru mengharuskan pergerakan keempat elektroda. Peralatan pencitraan saluran tunggal yang dapat mengganti injeksi saat ini dan lokasi pembacaan potensial antara sejumlah elektroda yang dibatasi menjadi dapat diakses secara komersial pada 1990-an. Saat ini, instrumen yang lebih canggih menggunakan beberapa saluran untuk menangani sejumlah besar elektroda [15]. Ini adalah ide utama dari kotak saklar manual ini.



(a) (b)

Gambar 5 (a) Desain Switch Box; (b) Distribusi Elektroda berdasarkan Switch Box

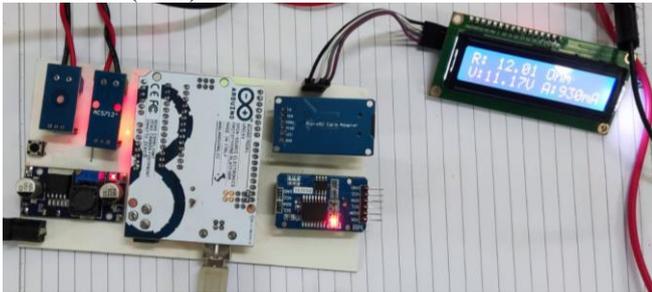
Perkembangan instrumentasi multi-elektroda pada akhir 1980-an merangsang kemajuan paralel dalam algoritma untuk pencitraan resistivitas 2D. Dengan mengatur hubungan antara voltmeter (P1 dan P2) dan ammeter (C1 dan C2) pada kotak saklar yang terhubung ke elektroda sesuai kebutuhan, peneliti dapat melakukan berbagai konfigurasi susunan elektroda hanya dengan satu elektroda implan.

#### D. Mikrokontroler

Komputer chip tunggal khusus aplikasi kontrol komputer tertanam dikenal sebagai mikrokontroler. Perangkat ini relatif murah dan sangat mudah digunakan dalam aplikasi

kontrol digital. Sebagian besar mikrokontroler hadir dengan sirkuit terintegrasi yang diperlukan untuk aplikasi kontrol komputer. Misalnya, mikrokontroler mungkin menyertakan konverter A/D untuk mengaktifkan pengambilan sampel eksternal. Selain itu, mereka berisi koneksi input-output paralel yang memungkinkan mikrokontroler untuk membaca atau menghasilkan data digital. [16]

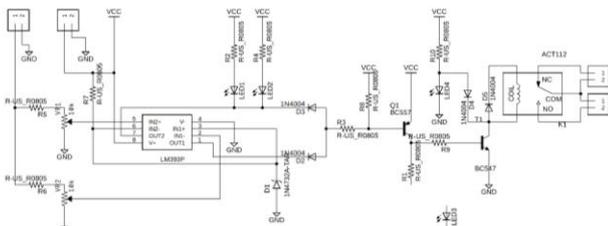
Otak utama dari komponen yang diprogram adalah mikrokontroler. Mikrokontroler dalam hal ini diatur untuk membaca data dari voltmeter, ammeter, dan jam real-time dan menampilkannya di layar LCD sekaligus menulis data ke SDCard (RTC).



Gambar 6 Sensor tegangan, sensor arus, penyimpanan data, referensi tegangan, dan layar LCD adalah bagian dari unit mikrokontroler.

#### E. Relai Proteksi Tegangan

Skema berikut dimaksudkan sebagai proteksi berupa proteksi overvoltage dan undervoltage yang bekerja pada kondisi tegangan input lebih dari 14.5V atau kurang dari 11.6V. Ketika tegangan lebih di atas 14.5V, komparator di sirkuit akan memutuskan koneksi NO ke relai dari sumber listrik, serta ketika tegangan di bawah 11.6V, komparator akan memutuskan NO dari relai dari daya. sumber. Proteksi ini dimaksudkan untuk melindungi boost converter pada saat tegangan berlebih dan melindungi sumber listrik (baterai) pada saat tegangan kurang dari 11.6V.



Gambar 7 Skema Skema Modul Proteksi Tegangan

Kegiatan berlawanan yang menciptakan tegangan lebih dapat mengakibatkan tegangan kurang. Kondisi undervoltage akan mengakibatkan potensi kegagalan perangkat elektronik, dan penurunan output daya reaktif dari bank kapasitor. [17]

#### F. Pengujian Lapangan

Uji lapangan dilakukan setelah alat berhasil dirakit dan memenuhi persyaratan uji laboratorium yang layak. Elektroda yang digunakan dalam percobaan ini terbuat dari stainless steel. Karena elektroda stainless steel tipikal elektroda logam yang relatif inert dan terjangkau [3] Pengujian ini dilakukan di lingkungan kampus Universitas Hasanuddin, dan berikut ini menunjukkan bagaimana resistivity meter digunakan dalam pengujian lapangan.



Gambar 8 Pengujian lapangan setelah semua komponen data logger resistivity meter dirakit

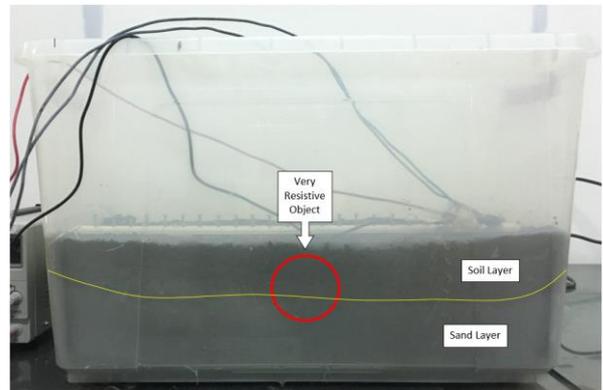
Sehingga dapat ditarik kesimpulan Algoritma Genetika dapat memberikan solusi yang hampir mencapai optimal dengan melakukan riset dengan sejumlah titik optimal berdasarkan fungsi probabilistik.

### IV. HASIL DAN DISKUSI

Studi ini membandingkan kinerja alat dalam mengukur parameter resistivitas menggunakan dua konfigurasi elektroda selain bahan uji terkontrol yang digunakan dalam pengujian laboratorium. Dalam media uji, objek dengan resistivitas tinggi ditempatkan di tengah dua lapisan tanah dan pasir.

Konfigurasi Wenner Alfa dan konfigurasi elektroda dipol-dipol digunakan dalam pengujian ini. Pengukuran dilakukan dengan meter resistivitas menggunakan dua konfigurasi elektroda, yang kemudian diproses lebih lanjut dengan ResIPy, sebuah perangkat lunak *open source*.

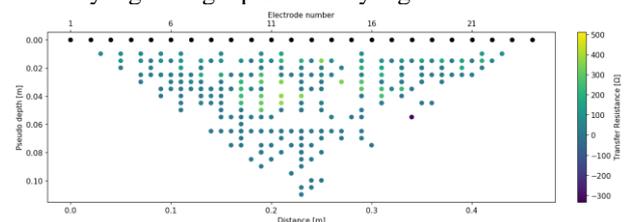
Media uji untuk desain awal pengukuran ini ditunjukkan di bawah ini:



Gambar 9 Media uji terdiri dari lapisan tanah dan pasir serta objek dengan resistivitas tinggi

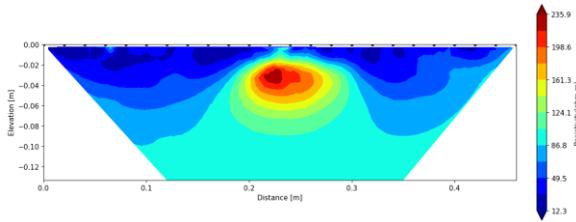
#### A. Tes Laboratorium Pertama (Konfigurasi Dipol-dipol)

Nilai resistivitas semu pada percobaan ditunjukkan pada grafik di bawah ini menggunakan konfigurasi Dipole-dipole dan data yang ditangkap oleh alat yang telah dibuat.



Gambar 10 Tes laboratorium: Resistensi Transfer Konfigurasi Dipole-Dipole Gradient Array

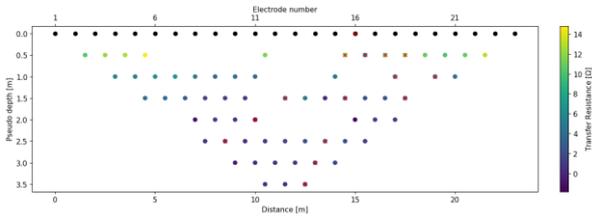
Setelah mengimpor data dan mendapatkan nilai resistivitas semu, selanjutnya akan diproses untuk mendapatkan nilai resistivitas asli dengan memeriksa faktor geometrik dan melakukan beberapa iterasi untuk mengurangi nilai kesalahan RMS (root-mean-square) pada data yang diperoleh. : Pencitraan Resistivitas Dua Dimensi menunjukkan gambaran lapisan dan bentuk yang cukup jelas dari nilai resistivitas yang berbeda pada media uji, dimana pasir kasar bercampur tanah di bagian bawah media menunjukkan kisaran resistivitas 60-236 Ohm.m, dalam lapisan atas yang terdiri dari tanah bercampur lempung menunjukkan nilai resistivitas dalam kisaran <12 - 87 Ohm.m sedangkan objek resistif bulat di tengah media uji memiliki nilai resistivitas <237 Ohm.m, direpresentasikan dalam gambar di bawah ini.



Gambar 11 Hasil Akhir: Pencitraan Resistivitas Dua Dimensi Gradien Dipol-dipol

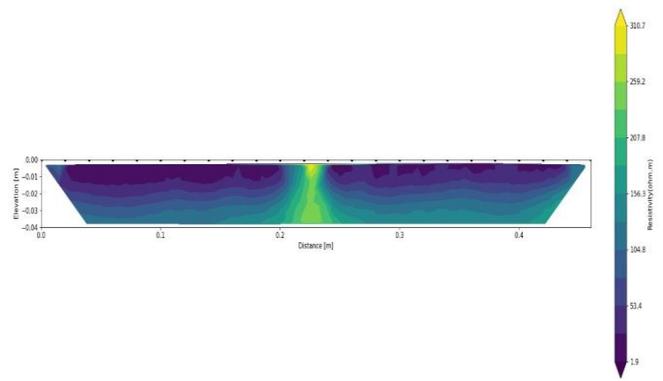
B. Uji Laboratorium Kedua (Konfigurasi Wenner Alfa)

Pada percobaan yang digambarkan pada grafik di bawah ini, dimana nilai resistivitas semu dihitung, digunakan konfigurasi Wenner Alfa, dan data yang direkam berasal dari alat yang dibuat khusus.



Gambar 12 Tes laboratorium: Resistansi Transfer

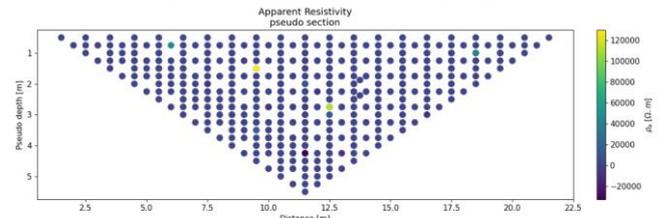
Untuk mengurangi nilai error RMS (*root-mean-square*) pada data yang diperoleh, maka akan dilakukan beberapa iterasi setelah mendapatkan nilai resistivitas semu untuk mendapatkan nilai resistivitas semula. Pencitraan Resistivitas Dua Dimensi menunjukkan gambaran posisi lateral yang cukup jelas namun lapisan, bentuk dan kedalaman yang diperoleh kurang baik, dimana lapisan pasir kasar bercampur tanah di bagian bawah media menunjukkan rentang resistivitas yang hampir bersinggungan dengan lapisan atas yang terdiri dari tanah bercampur lempung menunjukkan nilai resistivitas pada lapisan bawah berupa pasir bercampur tanah, yaitu pada kisaran 148-240 Ohm.m, pada lapisan atas yang terdiri dari tanah berlempung memiliki rentang nilai resistivitas 1,9 – 50 Ohm.m, sedangkan benda resistif berbentuk bulat di tengah media. pengujian memiliki nilai resistivitas <259 - >310 Ohm.m. Di bawah ini merupakan representasi dari hasil pengukuran konfigurasi Wenner Alfa



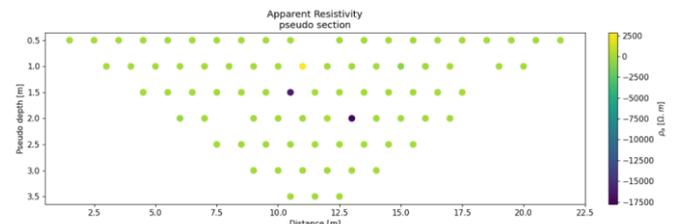
Gambar 13 Hasil Akhir: Pemetaan Resistivitas Dua Dimensi Wenner Alfa

Setelah memperoleh hasil uji laboratorium tersebut di atas, dilakukan perbandingan lagi dengan menggunakan konfigurasi dipol-dipol dan Wenner Alfa untuk menentukan apakah alat tersebut akan berfungsi di lapangan. Setelah mengumpulkan data lapangan dan mengolahnya dengan cara yang sama seperti pada pengujian sebelumnya, berikut adalah hasil pengujian lapangan yang dilakukan.

C. Perbandingan Hasil Pengukuran Lapangan Uji Resistivitas Semu di Lapangan

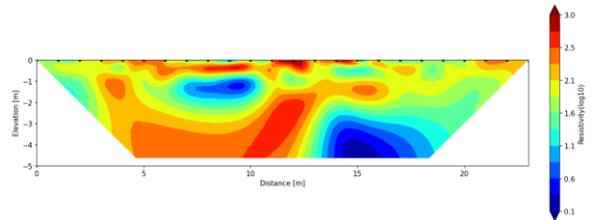


Gambar 14 Uji lapangan: Resistivitas Semu (Dipol-dipol)

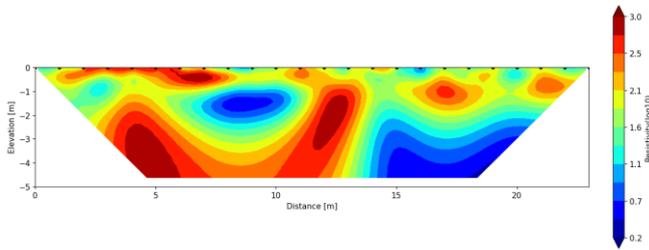


Gambar 15 Uji Lapangan: Resistivitas Semu (Wenner Alfa)

Hasil Uji Lapangan



Gambar 16 Uji lapangan: Hasil Akhir (Dipol-dipol)



Gambar 17 Tes Lapangan : Hasil Akhir (Wenner Alfa)

## V. KESIMPULAN

1. Perangkat pengukur resistivitas tanah berhasil dirancang dan mengukur sifat kelistrikan untuk mencatat nilai arus dan tegangan yang menghasilkan nilai resistivitas dan penggambaran bawah tanah yang jelas
2. Konfigurasi Wenner menghasilkan 84 konfigurasi elektroda, konfigurasi ini menghasilkan penggambaran bawah tanah dengan akurasi terbaik sebesar +/- 2,5%. Dimana untuk nilai resistivitas yang berhasil didapatkan berdasarkan data yang dicatat oleh alat berada di kisaran 3,0 log<sub>10</sub> Ohm m sampai dengan 0,2 log 10 Ohm m untuk pengukuran di lapangan dan 310,7 Ohm m sampai dengan 1,9 Ohm m untuk pengukuran di laboratorium.
3. Konfigurasi Dipol Dipol menghasilkan 520 konfigurasi elektroda, konfigurasi ini menghasilkan penggambaran bawah tanah dengan akurasi terbaik sebesar +/- 1,5%. Dimana untuk nilai resistivitas yang berhasil didapatkan berdasarkan data yang dicatat oleh alat berada di kisaran 3,3 log<sub>10</sub> Ohm m sampai dengan 0,2 log 10 Ohm m untuk pengukuran di lapangan dan 235,9 Ohm m sampai dengan 12,3 Ohm m untuk pengukuran di laboratorium.

## REFERENSI

[1] Field B, Barton B, Funnell R, Higgs K, Nicol A, Seebeck H. (2018). Managing potential interactions of subsurface resources. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 232(1):6-11. doi:10.1177/0957650917717628

[2] Cardarelli, E. & Fischanger, F.. (2006). 2D data modelling by electrical resistivity tomography for complex subsurface Geology. *Geophysical Prospecting*. 54. 121 - 133. 10.1111/j.1365-2478.2006.00522.x

[3] Florsch, N., & Muhlach, F. (2017). *Everyday Applied Geophysics 1: Electrical Methods*. Elsevier. Cardarelli, E. & Fischanger, F.. (2006). 2D data modelling by electrical resistivity tomography for complex subsurface Geology. *Geophysical Prospecting*. 54. 121 - 133. 10.1111/j.1365-2478.2006.00522.x

[4] Loke, M.H. (2000) *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies. A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*, 61.

[5] Blanchy, G., Saneiyani, S., Boyd, J., McLachlan, P., & Binley, A. (2020). ResIPy, an intuitive open source software for complex geoelectrical inversion/modeling. *Computers & Geosciences*, 137, 104423.

[6] Heaney, M. B. (2003). Electrical conductivity and resistivity. *Electrical measurement, signal processing, and displays*, 7(1).

[7] Nasserredine, M., Rizk, J., & Nasserredine, G. (2013). Soil resistivity data computations; single and two-layer soil resistivity structure and its implication on earthing

design. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 7, 878-883.

[8] Thapa, Dilli. (2020). Use of two dimensional electrical resistivity tomography (2D-ERT) synthetic modelling to detect collapse masses. *Journal of Nepal Geological Society*. 60. 139-145. 10.3126/jngs.v60i0.31250.

[9] Daily, W., Ramirez, A., Binley, A., & LaBrecque, D. (2005). *Electrical resistance tomography—Theory and practice*. In *Near-surface geophysics* (pp. 525-550). Society of Exploration Geophysicists.

[10] AGIUSA. 2017. *Wenner Array: Electrical Resistivity Methods, Part 1*. [online] Available at: <<https://www.agiusa.com/wenner-array>> [Accessed 29 September 2022].

[11] Oyeyemi, K. D., Aizebeokhai, A. P., Metwaly, M., Omobulejo, O., Sanuade, O. A., & Okon, E. E. (2022). Assessing the suitable electrical resistivity arrays for characterization of basement aquifers using numerical modeling. *Heliyon*, e09427.

[12] Hasaneen, B. M., & Mohammed, A. A. E. (2008). Design and simulation of DC/DC boost converter. In *2008 12th International Middle-East Power System Conference* (pp. 335-340). IEEE.

[13] Sayed, Khairy & Lee, Hyun & Mishima, Tomokazu & Nakaokal, M.. (2006). Boost-Half Bridge Single Power Stage PWM DC-DC Converter for Small Scale Fuel Cell Stack. 426 - 431. 10.1109/PECON.2006.346689.

[14] Ezra, N., Werner, T., & Long, T. (2022). Dual Voltage Forward Topology for High Efficiency at Universal Mains. *Electronics*, 11(7), 1009.

[15] Binley, A., & Slater, L. (2020). *Resistivity and induced polarization: Theory and applications to the near-surface earth*. Cambridge University Press.

[16] Ibrahim, D. (2006). *Microcontroller based applied digital control*. John Wiley & Sons.

[17] Kotb, M. F., El-Saadawi, M. M., & El-Desouky, E. H. (2018). Design of Over/Under Voltage Protection Relay using Arduino Uno for FREEDM System. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 2(7).