

**PENGEMBANGAN *PROTOTYPE DIGITAL RESISTIVITY*
METER MULTIELEKTRODA OTOMATIS UNTUK
KONFIGURASI *SCHLUMBERGER***

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains



**ERIN FICRAH HUDA
NIM.14034038/2014**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2020**

PERSETUJUAN SKRIPSI

PENGEMBANGAN *PROTOTYPE DIGITAL RESISTIVITY METER*
MULTIELEKTRODA OTOMATIS UNTUK KONFIGURASI
SCHLUMBERGER

Nama : Erin Ficrah Hda
NIM : 14034038
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

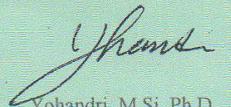
Padang, Februari 2020

Mengetahui:
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP. 196901201993032 002

Disetujui Oleh :
Pembimbing



Yohandri, M.Si, Ph.D
NIP. 19780725 200604 1 003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Erin Fierah Huda
NIM : 14034038
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**PENGEMBANGAN *PROTOTYPE DIGITAL RESISTIVITY METER*
MULTIELEKTRODA OTOMATIS UNTUK KONFIGURASI
SCHLUMBERGER**

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

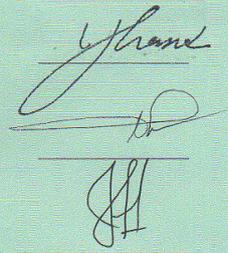
Padang, Februari 2020

Tim Penguji

Ketua : Yohandri, M.Si, Ph.D

Penguji 1 : Drs. Akmam, M.Si

Penguji 2 : Drs. Hufri, M.Si



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Pengembangan *Prototype Digital Resistivity Meter* Multielektroda Otomatis untuk Konfigurasi *Schlumberger*” adalah asli dari karya saya sendiri;
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali dari pembimbing;
3. Di dalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada perpustakaan;
4. Pernyataan ini saya buat sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 18 Februari 2020
Yang membuat pernyataan,



Erin Ficrah Huda
NIM: 14034038

Pengembangan *Prototype Digital Resistivity Meter* Multielektroda Otomatis untuk Konfigurasi *Schlumberger*

Erin Ficrah Huda

ABSTRAK

Prototype digital resistivity meter multielektroda otomatis adalah *prototype* yang digunakan untuk mengukur resistivitas tanah dengan 16 elektroda berdasarkan prinsip hukum Ohm. Dengan memilih empat elektroda sebagai titik ukur, lalu menginjeksikan tegangan melalui dua elektroda arus maka beda potensial dari dua elektroda tegangan bisa dideteksi. Data arus dan tegangan yang diperoleh dapat menentukan nilai tahanan jenis atau resistivitas tanah. Penelitian ini merupakan jenis penelitian dan pengembangan yang berfungsi untuk mengembangkan produk yang telah ada. Dari hasil penelitian dapat dikemukakan empat hasil yang terdiri dari hasil pengujian internal, hasil pembuatan produk dan hasil pengujian lapangan awal atau uji coba terbatas.

Hasil pengujian internal adalah melihat karakteristik rangkaian pendeteksi arus, kemudian melakukan pengujian terhadap modul *relay* dan modul multiplexer. Hasil pembuatan produk adalah terdiri dari kotak *prototype*, elektroda kabel, 16 elektroda paku dan aki 12 volt. Hasil pengujian lapangan awal pada skala laboratorium untuk pengukuran arus dan tegangan dengan persentase kesalahan masing-masing dari 0,8% sampai 31,8% dan 0,098% sampai 11,76%. Hasil pengujian pada lapangan terbatas untuk pengukuran resistivitas di tiga lokasi berbeda didapatkan ketepatan rata-rata berturut-turut 78,05%, 78,89% dan 84,05%. Sedangkan ketelitian rata-rata berturut-turut 77,50%, 99,74% dan 99,41%.

Kata Kunci: *Resistivitas, Multielektroda, Multiplexer, Relay*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kehadirat Allah yang maha kuasa, karena dengan berkat dan rahmatNya peneliti telah dapat menulis dan menyelesaikan tugas akhir ini. Sebagai judul penelitian tugas akhir ini adalah **“Pengembangan *Prototype Digital Resistivity Meter* Multielektroda Otomatis untuk Konfigurasi *Schlumberger*”** disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Dalam merealisasikan dan menulis tugas akhir ini penulis banyak menerima masukan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Yohandri, M.Si, Ph.D sebagai dosen pembimbing atas segala bantuannya yang tulus dan ikhlas memberikan bimbingan, arahan, dan saran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Drs. Akmam, M.Si, Bapak Drs. Hufri, M.Si sebagai dosen penguji pada tugas akhir ini yang telah memberikan kritik dan saran terhadap penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ramli, M.Si sebagai Penasehat Akademik, yang selalu memberikan motivasi dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini
4. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si sebagai Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
5. Ibu Syafriani, M.Si, Ph.D sebagai Ketua Prodi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
7. Staf administrasi dan Laboran di Laboratorium Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
8. Rekan-rekan dan semua pihak yang telah ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam laporan penelitian ini masih terdapat beberapa kelemahan atau kekurangan. Adanya saran dan kritikan dari pembaca akan lebih menyempurnakan laporan ini dimasa yang akan datang. Mudah-mudahan hasil laporan penelitian ini dapat memberikan manfaat kepada seluruh pembaca.

Padang, Februari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Pertanyaan Penelitian.....	5
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Resistivitas.....	6
B. Metode Geolistrik Resistivitas.....	7
C. Konfigurasi <i>Schlumberger</i>	11
D. Prinsip Kerja <i>Resistivity Meter</i>	14
E. Komponen Elektronika.....	15
F. Elektroda.....	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	24
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	24
B. Jenis Penelitian.....	24

C. Variabel Penelitian.....	25
D. Pelaksanaan Penelitian.....	25
E. Teknis Analisis Data.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
A. Hasil Penelitian.....	36
B. Pembahasan.....	53
BAB V PENUTUP.....	56
A. Kesimpulan.....	56
B. Saran.....	56
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Tabel Kebenaran IC 74HCT4067.....	16
2. Spesifikasi ATmega2560.....	22
3. Ketelitian Pengukuran Rangkaian Pendeteksi Arus.....	39
4. Data Hasil Pengukuran Arus	44
5. Data Hasil Pengukuran Tegangan.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Titik Sumber Arus pada Permukaan dari Medium Homogen.....	8
Gambar 2. Dua Eklektroda Arus dan Dua Elektroda Potensial di Atas Permukaan Tanah yang Homogen Isotropis dengan Tahanan Jenis ρ	9
Gambar 3. Susunan Elektroda Konfigurasi Schlumberger.....	12
Gambar 4. Skema Pengukuran Resistivitas untuk Konfigurasi <i>Schlumberger</i>	14
Gambar 5. Pin Ic Multiplexer 74HCT4067.....	16
Gambar 6. Modul Relay 16 Channel.....	17
Gambar 7. Blok Diagram Modul <i>Relay Multichannel</i>	17
Gambar 8. Rangkaian Pendeteksi Arus.....	18
Gambar 9. Skema Rangkaian <i>SD card</i>	19
Gambar 10. Rangkaian <i>Display LCD</i>	19
Gambar 11. <i>Liquid Crystal Display (LCD)</i>	20
Gambar 12. Arduino ATmega2560.....	22
Gambar 13. Paku.....	23
Gambar 14. Langkah-langkah penelitian R&D yang bersifat mengembangkan produk yang sudah ada	26
Gambar 15. Blok Diagram Sistem.....	28
Gambar 16. Diagram Alir Perangkat Lunak.....	30
Gambar 17. Desain <i>Prototype Digital Resistivity Meter</i>	31
Gambar 18. Karakteristik Rangkaian Pendeteksi Arus.....	37
Gambar 19. Pengambilan Data Rangkaian Pendeteksi Arus.....	37

Gambar 20. Ketepatan Rangkaian Pendeteksi Arus.....	38
Gambar 21. (a) Tampak Depan (b) Tampak Samping (c) Tampak Belakang (d) Tampak Samping dengan Kabel Elektroda.....	41
Gambar 22. Foto Rangkaian Elektronika Pembangun prototype.....	42
Gambar 23. Tampilan <i>Display</i> LCD.....	43
Gambar 24. Hubungan Antara Jarak Elektroda dan Arus Injeksi Protoype dengan Multimeter.....	45
Gambar 25. Hubungan Antara Jarak Elektroda dan Tegangan pada Protoype dengan Multimeter.....	47
Gambar 26. Hubungan Antara Jarak Elektroda dan Resistivitas Tanah pada Protoype dengan Multimeter.....	49
Gambar 27. Hubungan Antara Jarak Elektroda dan Resistivitas Tanah pada Protoype dengan Multimeter.....	50
Gambar 28. Hubungan Antara Jarak Elektroda dan Resistivitas Tanah pada Protoype dengan Multimeter.....	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Dokumentasi Pengukuran.....	59
Lampiran 2. Data Pengukuran.....	61
Lampiran 3. Program Arduino.....	72

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengukuran resistivitas sering digunakan untuk mengetahui dan mempelajari keadaan bahan atau material di bawah permukaan bumi. Bahan-bahan yang berada dalam permukaan bumi memiliki resistivitas atau kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan arus listrik, dimana bahan tersebut ada yang menangkap respon listrik dengan baik, ada juga yang menangkap aliran listrik yang buruk tergantung kandungan air dalam lapisan bahan tersebut. Dengan mengukur resistivitas suatu bahan bisa diketahui bahan-bahan yang ada di bawah permukaan bumi memiliki daya hantar listrik yang kuat (konduktor) atau memiliki daya hantar listrik yang lemah (isolator) (Idin dkk, 2013). Sehingga kemampuan bahan tersebut dalam menghantar arus listrik dapat digunakan untuk aplikasi eksplorasi mineral dan batuan di bawah tanah dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah lalu mengukur tegangan yang muncul pada tanah.

Alat yang digunakan untuk mengukur tahanan jenis tanah adalah *Resistivity Meter*. Alat ukur resistivitas digital berbasis mikrokontroler telah dibuat sebelumnya yaitu menggunakan 4 elektroda yang terdiri dari 2 elektroda pemancar arus dan 2 elektroda penerima tegangan. Pada alat ukur resistivitas ini pengambilan, pengolahan dan penampilan data secara digital serta data hasil pengukuran langsung tersimpan pada media penyimpanan (Yohandri dkk, 2018). Alat *digital resistivity meter* ini masih bekerja secara manual yaitu dengan menggunakan elektroda yang sama secara bergantian dengan memindahkan keempat elektroda untuk beberapa titik yang akan diukur. Sehingga membutuhkan

waktu yang lama untuk mengukur resistivitas tanah karena tidak bisa mengukur secara otomatis.

Perancangan dan pembuatan alat resistivitas tanah telah banyak dilakukan, seperti pengukuran resistivitas tanah dengan menggunakan metode *four-point probes* oleh (Irianto, 2014). Pengukuran resistivitas pada penelitian ini menggunakan 4 elektroda dengan konfigurasi *wenner* yang berbasis mikrokontroler dan PC. Pada penelitian ini *prototype* yang dirancang belum bekerja secara otomatis atau masih bekerja secara *manual* yaitu menggunakan 4 elektroda yang sama untuk mengukur resistivitas tanah di beberapa titik. Dalam penelitian lain pengukuran resistivitas dilakukan oleh (Indarto dkk, 2016) dengan menggunakan sumber arus konstan. Pada penelitian ini pengukuran resistivitas secara umum dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi dengan menggunakan elektroda arus (C1 dan C2), dan pengukuran beda potensial dengan menggunakan dua elektroda tegangan (P1 dan P2). Rancang bangun sistem pengukuran geolistrik pada penelitian ini belum bekerja secara otomatis karena hanya menggunakan 4 elektroda yang sama secara bergantian. Kemudian rancang bangun alat geolistrik berbasis Arduino Mega2560 telah dilakukan oleh (Widodo dkk, 2018) dengan menggunakan penguat tegangan sampai dengan 350 Volt dan dilengkapi dengan fitur injeksi arus secara otomatis, tetapi tidak dapat mengukur resistivitas tanah di banyak titik secara otomatis karena keterbatasan jumlah elektroda yang digunakan. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan dibutuhkan alat ukur resistivitas digital yang dapat mengukur tahanan jenis bahan di beberapa titik secara otomatis.

Kelemahan penelitian terdahulu dapat diatasi dengan mengembangkan suatu alat ukur resistivitas otomatis berbasis mikrokontroler dengan cara menginjeksikan arus ke dalam tanah dan mengukur tegangan yang muncul pada tanah menggunakan 16 buah elektroda. Dari 16 buah elektroda ini digunakan pemilih elektroda otomatis untuk memilih 4 elektroda yang akan diambil datanya secara bergantian, dimana 4 elektroda yang dipilih digunakan 2 elektroda yang menginjeksikan arus otomatis dan 2 elektroda pengukur tegangan otomatis dengan *delay* waktu tertentu. Dengan menggunakan 16 elektroda, pengukuran resistivitas tanah dapat mengukur 16 titik yang ditentukan secara otomatis. Penelitian dengan menggunakan multi elektroda otomatis telah dilakukan oleh (Ravi, 2014) dengan menggunakan rangkaian pemilih elektroda yang akan memilih 4 elektroda diantara 8 elektroda yang akan digunakan.

Penelitian yang akan dilakukan merupakan penelitian lanjutan dari penelitian (Yohandri dkk, 2018) yaitu tentang rancangan alat ukur resistivitas digital. Penelitian ini berupa pemodelan fisis yang memanfaatkan metode geolistrik resistivitas. Penulis merancang dan membuat alat ukur resistivitas tanah dengan skala yang lebih kecil dari alat geolistrik tahanan jenis yang digunakan di lapangan. Dalam penelitian ini akan dikembangkan *prototype* alat ukur resistivitas yang dapat mengukur resistivitas tanah di beberapa titik secara otomatis menggunakan 16 elektroda secara langsung dan alat dapat menyimpan data hasil pengukuran secara otomatis di media penyimpanan. Pengukuran resistivitas yang akan dilakukan yaitu secara vertikal, sehingga alat ukur resistivitas digital ini menggunakan metode geolistrik konfigurasi *schlumberger*. Konfigurasi

schlumberger memiliki ketelitian vertikal dan penetrasi kedalaman yang lebih baik yang cocok untuk VES (*Vertical Electrical Sounding*) (Reynolds, 1997). Untuk itu sebagai judul dari penelitian ini adalah “*Pengembangan Prototype Digital Resistivity Meter Multi Elektroda Otomatis Untuk Konfigurasi Schlumberger*”.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan suatu permasalahan dalam penelitian ini. Sebagai perumusan masalah penelitian yaitu: “*Bagaimana Pengembangan Prototype Digital Resistivity Meter Multi Elektroda Otomatis Untuk Konfigurasi Schlumberger ?*”.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian ini adalah melaksanakan membuat dan mengembangkan *prototype digital resistivity meter* multi elektroda otomatis berbasis metode *Schlumberger*. Secara khusus tujuan penelitian ini adalah :

1. Merancang dan membuat *prototype digital resistivity meter* otomatis dengan menggunakan 16 buah elektroda
2. Membandingkan hasil pengukuran saat pengambilan data dengan *prototype digital resistivity meter* multielektroda otomatis dengan hasil pengukuran multimeter.

D. Pertanyaan Penelitian

Untuk menjelaskan permasalahan dalam penelitian ini dikemukakan beberapa pertanyaan sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membuat *prototype digital resistivity meter* otomatis dengan menggunakan 16 buah elektroda?
2. Bagaimana membandingkan hasil pengukuran saat pengambilan data dengan *prototype digital resistivity meter* multielektroda otomatis dengan hasil pengukuran multimeter.

E. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat pada :

1. Laboratorium di Indonesia yang memerlukan instrumentasi *prototype digital resistivity meter* multielektroda otomatis berbasis metode *Schlumberger*.
2. Bidang kajian elektronika dan instrumentasi ataupun jurusan fisika, sebagai acuan pengembangan ilmu dan teknologi yang berkembang sehingga melahirkan ide-ide baru yang lebih inovatif.
3. Peneliti lain, sebagai referensi untuk peneliti lain dalam pengembangan pemodelan selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Resistivitas

Resistivitas atau tahanan jenis merupakan karakteristik setiap jenis bahan yang ada di permukaan bumi yang menggambarkan seberapa besar bahan itu menahan aliran listrik. Jika listrik dapat mengalir dengan mudah melalui bahan tertentu maka bahan tersebut memiliki resistivitas rendah. Jika listrik sulit mengalir melalui suatu bahan, maka bahan tersebut memiliki resistivitas yang tinggi (Heaney, 2003).

Aliran arus listrik pada sebuah bahan atau medium dapat dijelaskan menggunakan Hukum Ohm, dimana hubungan antara rapat arus J dengan kuat medan listrik E adalah

$$J = \sigma E \quad (1)$$

dimana σ adalah daya hantar listrik. Jika besar kuat medan listrik, $E = \frac{V}{L}$, maka diperoleh $J = \sigma \frac{V}{L}$, sehingga kuat arus dapat ditulis sebagai berikut:

$$I = JA = \sigma \frac{A}{L} V \quad (2)$$

Persamaan (2) memperlihatkan bahwa saat daya hantar listrik σ konstan, arus total I sebanding dengan beda potensial V . Perbandingan antara V dengan I pada konduktor disebut resistansi R yang secara matematis dapat ditulis seperti Persamaan (3).

$$R = \frac{V}{I} \quad (3)$$

Hubungan resistansi R dengan daya hantar listrik σ pada suatu logam konduktor dinyatakan dengan menggunakan Persamaan (4) berikut:

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{A} \quad (4)$$

Hubungan antara tahanan jenis ρ dengan daya hantar listrik σ dinyatakan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (5)$$

maka Persamaan (4) dan Persamaan (5) menjadi

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (6)$$

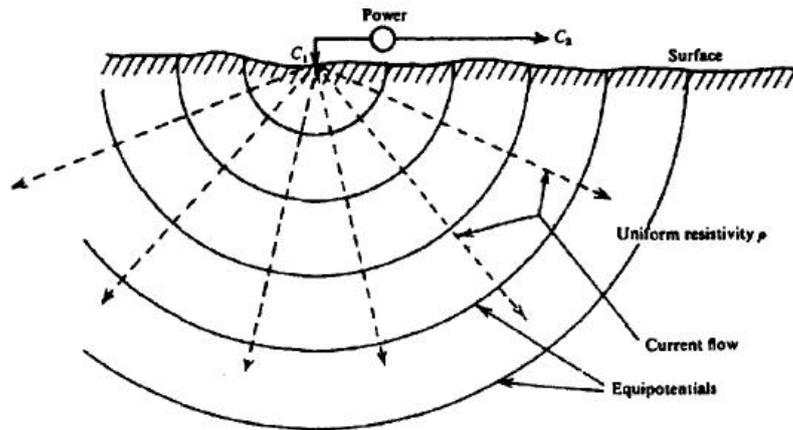
Hubungan tahanan jenis dengan kuat arus didapatkan dengan mensubstitusikan Persamaan (6) ke Persamaan (3) yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{V}{I} = \rho \frac{L}{A} \quad (7)$$

Persamaan (7) memperlihatkan hubungan tahanan jenis dengan kuat arus. Berdasarkan persamaan tersebut terlihat bahwa aliran arus listrik pada suatu bahan tergantung pada tahanan jenis suatu material tersebut.

B. Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik tahanan jenis didasarkan pada anggapan bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis. Arus yang di alirkan ke bawah permukaan bumi akan mengalir kesegala arah, karena udara memiliki tahanan jenis yang sangat besar menyebabkan arus tidak dapat mengalir ke udara. Hal ini menyebabkan sebaran aliran arus hanya ke bawah permukaan bumi dengan *equipotensial* berbentuk setengah bola seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Titik Sumber Arus pada Permukaan dari Medium Homogen (Telford et al,1990)

Medium homogen isotropis dengan luas A dilalui oleh arus listrik I maka rapat arus J dapat dihitung dengan mensubstitusikan Persamaan (5) pada Persamaan (1), maka didapatkan hubungan rapat arus J dengan tahanan jenis ρ sebagai berikut.

$$J = \frac{E}{\rho} \quad (8)$$

Medan listrik E merupakan gradien potensial yaitu beda potensial atau jatuh tegangan antara kedua titik yang diinjeksikan arus listrik sehingga dapat dinyatakan dengan Persamaan (9) berikut.

$$E = -\nabla V = -\frac{dV}{dr} \quad (9)$$

Hubungan antara gradien potensial dengan tahanan jenis dan kerapatan arus didapat dengan mensubstitusikan Persamaan (8) ke Persamaan (9) yang dinyatakan dengan Persamaan (10) berikut.

$$\frac{dV}{dr} = -J\rho \quad (10)$$

Hubungan antara gradien potensial dengan luas permukaan dan arus listrik didapat dengan mensubstitusikan Persamaan (2) ke Persamaan (10) yang dinyatakan oleh Persamaan (11) berikut.

$$\frac{dV}{dr} = -\rho \frac{I}{A} \quad (11)$$

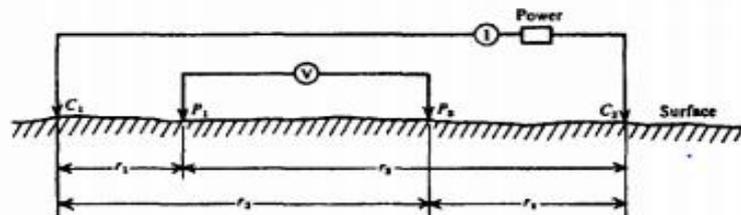
dimana $A = 2\pi r^2$, karena luas permukaan distribusi arus membentuk setengah bola, sehingga beda potensial dV yang terjadi pada elemen jarak dr oleh sumber arus I adalah sebagai berikut

$$dV = -\rho \frac{I}{2\pi r^2} dr \quad (12)$$

Harga potensial pada titik yang berjarak r dari sumber dapat dihitung dengan mengintergralkan Persamaan (12), sehingga didapatkan:

$$V(r) = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (13)$$

Metode Geolistrik pada dasarnya terdiri dari dua elektroda arus dan dua elektroda potensial seperti Gambar 2. Perbedaan potensial dipermukaan bumi akan terjadi apabila arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi.



Gambar 2. Dua Elektroda Arus dan Dua Elektroda Potensial di Atas Permukaan Tanah yang Homogen Isotropis dengan Tahanan Jenis ρ (Telford et al.,1990)

Gambar 2 menunjukkan susunan pasangan elektroda pada metode Geolistrik. Pengukuran dengan metode Geolistrik menggunakan dua elektroda arus yang

dilambangkan dengan C dan dua elektroda potensial yang dilambangkan dengan P . Dimana C_1 merupakan elektroda arus positif, P_1 sebagai elektroda tegangan positif, P_2 sebagai elektroda tegangan negatif dan C_2 sebagai elektroda arus negatif. Berdasarkan Gambar 2 dimisalkan bahwa r_1 adalah jarak antara P_1 dengan C_1 , r_2 adalah jarak antara P_1 dengan C_2 , r_3 adalah jarak antara P_2 dengan C_1 dan r_4 adalah jarak antara P_2 dengan C_2 . Potensial yang disebabkan oleh C_1 pada P_2 adalah :

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{r_1} \quad (14)$$

Sama halnya dengan potensial oleh C_1 dan P_1 potensial yang disebabkan oleh C_1 pada P_1 adalah :

$$V_2 = -\frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{r_2} \quad (15)$$

Tanda negatif pada potensial V_2 disebabkan karena arus pada C_2 sama dengan arus pada C_1 , tapi berlawanan arah. Sehingga diperoleh :

$$V_{p1} = V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (16)$$

Potensial yang disebabkan oleh C_1 dengan P_2 adalah

$$V_3 = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{r_3} \quad (17)$$

Sama halnya dengan potensial oleh C_1 dan P_2 , potensial yang disebabkan oleh C_2 pada P_2 adalah

$$V_4 = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{r_4} \quad (18)$$

Tanda negatif pada potensial V_4 disebabkan karena arus pada C_2 sama dengan arus pada C_1 , tapi berlawanan arah. Sehingga diperoleh :

$$V_{p_2} = V_3 + V_4 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (19)$$

Dari Persamaan (16) dan Persamaan (19) dapat diukur perbedaan potensial

ΔV antara P_1 dan P_2 , yaitu:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_{p_1} - V_{p_2} \\ \Delta V &= \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \end{aligned} \quad (20)$$

Nilai tahanan jenis didapatkan sebagai berikut

$$\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I} \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)} \quad (21)$$

Sehingga

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (22)$$

dimana

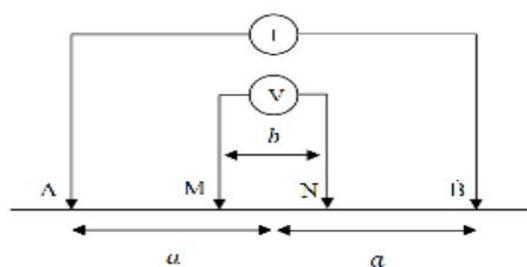
$$K = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (23)$$

K merupakan faktor geometri dari susunan elektroda, yang harganya berubah sesuai dengan perubahan jarak spasi antara elektroda-elektroda.

C. Konfigurasi *Schlumberger*

Metode geolistrik resistivitas dalam prakteknya memiliki beberapa tipe susunan atau konfigurasi perletakan keempat elektroda. Pemilihan konfigurasi yang terbaik untuk digunakan pada survei di lapangan tergantung pada tipe struktur yang akan dipetakan, sensitivitas dari alat ukur resistivitas, dan latar belakang tingkat gangguan (Railasha dkk, 2015). Beberapa konfigurasi dalam metode geolistrik resistivitas yang digunakan adalah konfigurasi *Schlumberger*, *wenner* dan *dipole-dipole*. Pada penelitian ini konfigurasi metode geolistrik resistivitas yang akan digunakan adalah konfigurasi *Schlumberger*.

Pengukuran dengan konfigurasi *Schlumberger* menggunakan empat elektroda, masing-masing dua elektroda arus dan dua elektroda tegangan yang disusun dalam satu garis lurus dengan susunan jarak elektroda potensial lebih kecil dari pada jarak elektroda arus. Pada metode Schlumberger jarak elektroda arus berubah secara teratur dan jarak elektroda potensial tetap (Telford *et al*, 1990). Susunan elektroda konfigurasi *Schlumberger* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Susunan Elektroda Konfigurasi Schlumberger (Reynolds,1997)

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa elektroda A dan B sebagai elektroda arus dan elektroda M dan N sebagai elektroda tegangan. Dimana besar a sama dengan jarak $AB/2$ dan besar b sama dengan jarak MN. Dari jarak masing-masing elektroda dapat dirumuskan menjadi:

$$r_1 = r_4 = \frac{2a-b}{2} \quad \text{dan} \quad r_2 = r_3 = \frac{2a+b}{2} \quad (24)$$

Berdasarkan Persamaan (24) substitusikan persamaan kedalam Persamaan (23) untuk menghasilkan rumusan faktor geometri dari konfigurasi schlumberger.

$$\begin{aligned} k &= 2\pi \left(\frac{1}{\frac{2a-b}{2}} - \frac{1}{\frac{2a+b}{2}} - \frac{1}{\frac{2a+b}{2}} + \frac{1}{\frac{2a-b}{2}} \right)^{-1} \\ k &= 2\pi \left(\frac{2}{\frac{2a-b}{2}} - \frac{2}{\frac{2a+b}{2}} \right)^{-1} \\ k &= 2\pi \left(\frac{4}{2a-b} - \frac{4}{2a+b} \right)^{-1} \\ k &= 2\pi \left(\frac{4(2a+b) - 4(2a-b)}{4a^2 - b^2} \right)^{-1} \\ k &= 2\pi \left(\frac{8a + 4b - 8a + 4b}{4a^2 - b^2} \right)^{-1} \\ k &= 2\pi \left(\frac{8b}{4a^2 - b^2} \right)^{-1} \\ k &= 2\pi \left(\frac{4a^2 - b^2}{8b} \right) \\ \\ k &= \pi \frac{a^2}{b} \left(1 - \frac{b^2}{4a^2} \right) \quad (25) \end{aligned}$$

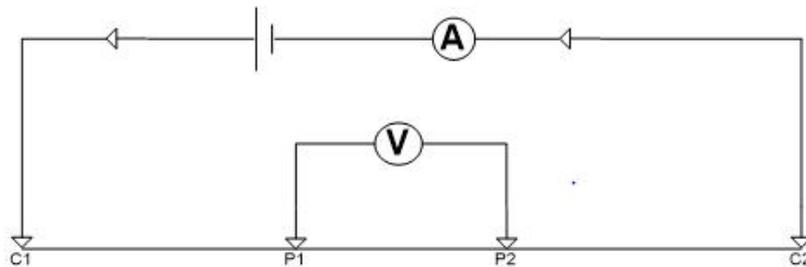
Substitusi Persamaan (25) ke dalam Persamaan (22), sehingga dapat diketahui rumusan perhitungan resistivitas semu untuk konfigurasi schlumberger yaitu:

$$\rho_a = \pi \frac{a^2}{b} \left(1 - \frac{b^2}{4a^2} \right) \frac{\Delta V}{I} \quad (26)$$

Dari Persamaan (26) nilai resistivitas yang didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan dinamakan dengan resistivitas semu atau *apparent resistivity* (ρ_a) yang dipengaruhi oleh nilai dari beda potensial, kuat arus dan jarak elektroda.

D. Prinsip Kerja *Resistivity Meter*

Pengukuran resistivitas pada suatu bahan atau material dapat dilakukan dengan metode geolistrik resistivitas yaitu dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam permukaan bumi melalui dua elektroda arus seperti Gambar 4. Kemudian arus yang mengalir dibawah permukaan bumi tergantung pada jenis batuan atau tanah yang dilaluinya sedangkan beda potensial yang dihasilkan diukur melalui dua elektroda lainnya (Akmam & Sudiar, 2013).



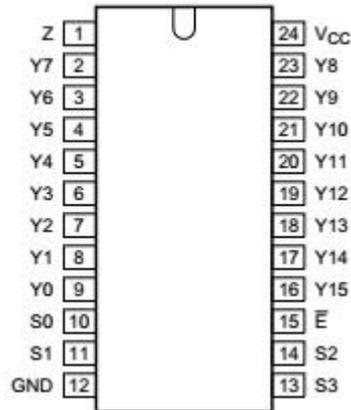
Gambar 4. Skema Pengukuran Resistivitas untuk Konfigurasi *Schlumberger*
 Berdasarkan Gambar 4 arus mengalir melalui dua buah elektroda arus C1 dan C2.. Adanya aliran arus listrik dapat menimbulkan tegangan listrik di permukaan bumi. Tegangan listrik yang timbul dari permukaan bumi dapat diukur dengan multimeter yang terhubung melalui dua buah elektroda tegangan P1 dan P2 sesuai dengan konfigurasi *schlumberger*. Bila posisi jarak elektroda arus diubah menjadi lebih besar maka tegangan listrik yang terukur pada elektroda tegangan akan ikut berubah sesuai dengan jenis batuan permukaan bumi yang dilewati oleh arus listrik pada kedalaman yang lebih besar. Dimana kedalaman tanah atau batuan yang dapat diinjeksi arus listrik adalah setengah dari jarak elektroda arus C1 dan C2 ($AB/2$) (Telford *et al*, 1970).

E. Komponen Elektronika

Komponen elektronika merupakan peranti pembangun berjalannya sistem. *Digital resistivity meter* multi elektroda otomatis memiliki komponen pembangun sistem seperti, *IC* Multiplexer 74HC0467, sensor dan peranti lainnya. Komponen elektronika pembangun sistem dijelaskan sebagai berikut:

1. *IC Multiplexer 74HC0467*

Suatu piranti elektronis yang berfungsi seperti saklar putar yang sangat cepat. Piranti ini akan menghubungkan beberapa kanal masukan, satu persatu ke sebuah jalur keluaran. Dengan demikian kanal masukan harus membagi sebuah jalur komunikasi tunggal dengan setiap kanal untuk selang waktu tertentu. Kanal masukan dapat dipilih sesuai dengan urutan yang telah ditentukan sebelumnya atau dengan menerapkan pemilihan alamat kanal (Ibrahim, KF: 1991). Multiplexer atau disingkat *MUX* adalah alat atau komponen elektronika yang bisa memilih input (masukan) yang akan diteruskan ke bagian output (keluaran). Pemilihan input mana yang dipilih akan ditentukan oleh signal yang ada di bagian kontrol (*Select*). *IC* multiplexer ini memiliki 16 *pin input/output*, *pin VCC*, *ground*, 4 *pin select* dan *pin Enable* untuk mengaktifkan *IC* multiplexer seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pin Ic Multiplexer 74HCT4067

Berdasarkan Gambar 5 cara kerja dari multiplexer ini adalah saat pin E (*enable*) dihubungkan ke *ground* atau multiplexer dalam kondisi aktif *low*, maka kombinasi 4 selektor akan memilih satu *input* dari 16 *input* yang akan dikirim ke bagian keluaran (pin 1). Misalnya saat *input* Y0 dipilih sebagai sinyal yang akan dikirim sebagai keluaran maka kombinasi selektor untuk S0, S1, S2, S3 adalah *Low, Low, Low, Low* sesuai dengan tabel kebenaran IC 74HCT4067 seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Kebenaran IC 74HCT4067

Masukan					Kanal On
E	S3	S2	S1	S0	
L	L	L	L	L	Y0 ke Z
L	L	L	L	H	Y1 ke Z
L	L	L	H	L	Y2 ke Z
L	L	L	H	H	Y3 ke Z
L	L	H	L	L	Y4 ke Z
L	L	H	L	H	Y5 ke Z
L	L	H	H	L	Y6 ke Z
L	L	H	H	H	Y7 ke Z
L	H	L	L	L	Y8 ke Z
L	H	L	L	H	Y9 ke Z
L	H	L	H	L	Y10 ke Z
L	H	L	L	H	Y11 ke Z
L	H	H	L	L	Y12 ke Z
L	H	H	L	H	Y13 ke Z
L	H	H	H	L	Y14 ke Z
L	H	H	H	H	Y15 ke Z
H	X	X	X	X	-

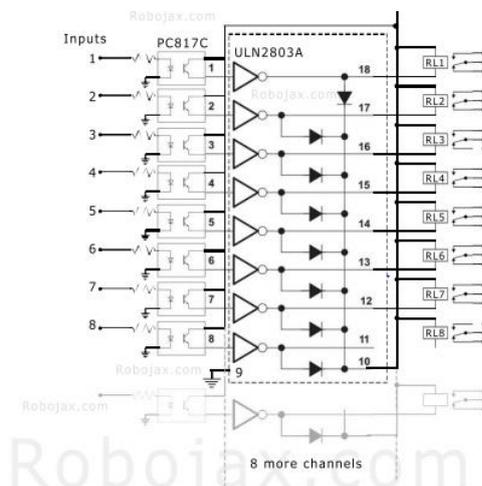
2. Modul Relay

Modul *Relay* yang digunakan adalah Modul *Relay 16 Channel* (dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah), dimana *relay* merupakan komponen elektronika berupa saklar elektronik yang dikendalikan oleh arus listrik.



Gambar 6. Modul Relay 16 Channel

Secara prinsip kerja, *relay* merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (*solenoid*) di dekatnya. Ketika *solenoid* dialiri arus listrik, tuas akan mendapat tarikan medan magnet yang dihasilkan dari *solenoid* sehingga kontak saklar akan menutup. Pada saat arus tidak diterima *solenoid* maka gaya magnet akan hilang, dan saklar akan kembali terbuka. Blok diagram modul *relay multichannel* dapat dilihat pada Gambar 7.

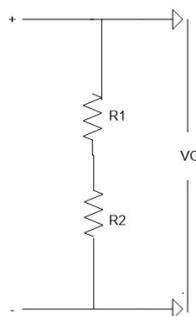


Gambar 7. Blok Diagram Modul *Relay Multichannel*

Berdasarkan diagram blok pada Gambar 7 modul relay yang digunakan merupakan *low level trigger* yaitu relay yang dapat aktif atau dikontrol dengan tegangan rendah 3-5 volt. Sedangkan tegangan input atau injeksi sebesar 12 volt. Relay dapat dikontrol langsung oleh mikrokontroler lewat *driver port input/output* yang aktif di level rendah. Sinyal dari mikrokontroler untuk mengaktifkan relay akan melewati optocoupler pada modul relay.

3. Rangkaian Pendeteksi Arus

Pada penelitian ini untuk mendeteksi arus yang diinjeksikan kedalam tanah digunakan rangkaian seperti Gambar 8.



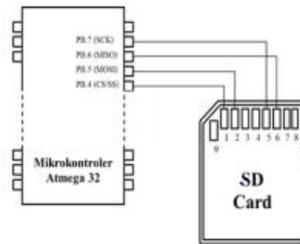
Gambar 8. Rangkaian Pendeteksi Arus

Rangkaian pendeteksi arus yang digunakan pada Gambar 8 adalah dengan metode tahanan *shunt*. Dimana arus listrik yang mengalir melalui sebuah tahanan akan menghasilkan tegangan jatuh yang nilainya sebanding dengan arus dan disipasi dayanya. Tegangan jatuh yang terukur akan dikonversi kedalam arus yang dibagi dengan nilai tahanan *shunt* yang digunakan.

4. Modul Media Penyimpanan

Penyimpanan data pada *prototype* ini adalah secara otomatis dengan menggunakan *data logger*. *Data logger* merupakan perangkat elektronik yang

terhubung dengan sensor dan berfungsi untuk mencatat data secara berkala (Susana dkk, 2016). *Data logger* yang digunakan adalah memori eksternal jenis *SD card* yang terhubung dengan mikrokontroler seperti Gambar 9.

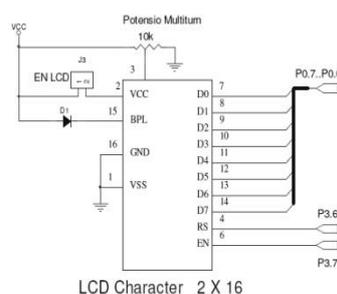


Gambar 9. Skema Rangkaian *SD card*

Berdasarkan Gambar 9 pada Modul *SD card* terdapat pin *MISO*, *MOSI*, *SCK* dan *CS* yang terhubung langsung dengan mikrokontroler.

5. *Liquid Crystal Display (LCD)*

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan salah satu jenis tampilan yang dapat digunakan untuk menampilkan angka atau karakter. LCD terdiri atas tumpukan tipis dari dua lembar kaca dengan pinggiran yang tertutup rapat. Antara dua lembar kaca tersebut diberi bahan kristal cair (*liquid crystal*) yang tembus cahaya. Permukaan luar dari masing-masing keping kaca mempunyai lapisan penghantar tembus cahaya seperti oksida timah atau oksida indium (Wulandari, 2009). Untuk rangkaian *display LCD* terdapat pada Gambar 10.

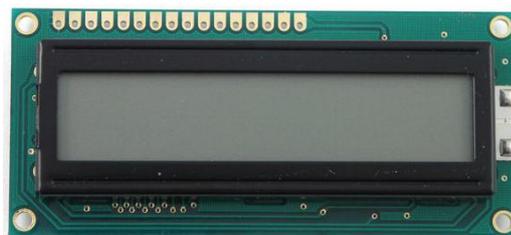


Gambar 10. Rangkaian *Display LCD*

Gambar 10 merupakan rangkaian *display* LCD, *display* karakter pada LCD ini diatur oleh pin EN, RS dan RW. Jalur EN diset *Enable* untuk memberitahu LCD bahwa data sedang dikirim. Untuk itu, program EN harus dibuat logika *low* “0” dan set pada dua jalur kontrol yang lain RS dan RW. Ketika dua jalur yang lain telah siap, set EN dengan logika “1” dan tunggu untuk sejumlah waktu tertentu (sesuai dengan datasheet dari LCD tersebut) dan set EN ke logika *low* “0” lagi.

Jalur RS adalah jalur *register select*. Ketika RS berlogika *low* “0”, data akan dianggap sebagai sebuah perintah atau instruksi khusus (seperti *clear screen*, posisi kursor dan lain-lain). Ketika RS berlogika *high* “1”, data yang dikirim adalah data teks yang akan ditampilkan pada *display* LCD. Jalur RW adalah jalur kontrol *Read/ Write*. Ketika RW berlogika *low* (0), maka informasi data akan dituliskan pada layar LCD. Ketika RW berlogika *high* ”1”, maka program akan melakukan pembacaan memori dari LCD. Sedangkan pada aplikasi umum pin RW selalu diberi logika *low* ”0” (Triwiyanto, 2009).

LCD banyak digunakan karena memiliki banyak keuntungan. Diantaranya adalah dapat menampilkan data, baik data digital maupun analog dalam bentuk grafik, memiliki bentuk yang tipis, mudah dalam pengoperasian, membutuhkan tegangan yang kecil dan dapat menampilkan berbagai karakter. Bentuk LCD dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. *Liquid Crystal Display (LCD)*

Gambar 11 menunjukkan bentuk fisis LCD, dimana LCD memiliki beberapa ukuran. Pemilihan LCD bergantung dengan kebutuhan pengguna. LCD yang berukuran kecil memiliki 2 baris dan 16 kolom. Sedangkan LCD dalam ukuran sedang memiliki 4 baris dan 20 kolom.

6. Mikrokontroler Arduino

Mikrokontroler Arduino adalah pengendali *mikro single-board* yang bersifat *open-source*, sehingga siapa saja dapat mengunduh *software* arduino. Arduino berfungsi untuk memudahkan pengguna elektronik dalam berbagai bidang yang memiliki prosesor Atmel AVR dan *softwarena* memiliki bahasa pemrograman sendiri. Bahasa pemrograman arduino diterapkan juga pada mikrokontroler. Mikrokontroler diprogram menggunakan bahasa pemrograman arduino yang memiliki kemiripan *syntax* dengan bahasa pemrograman C. Menurut Hunaifi (2010) penggunaan arduino sangat mudah dan fleksibel, program akan dimasukkan melalui *bootloader* atau dengan membypass *bootloader* dan menggunakan *downloader* untuk memprogram *mikrokontroler* secara langsung melalui *port ISP*. Perangkat keras arduino yang digunakan dalam penelitian ini adalah arduino aTmega2560 karena mempunyai pin *input/output* yang banyak sehingga efektif digunakan untuk pengukuran resistivitas tanah dengan 16 elektroda seperti yang terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Arduino ATmega2560

Pada Gambar 12 merupakan jenis Arduino *Mega type 2560*, Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan *chip ATmega2560*. *Board* ini memiliki *pin I/O* yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital *I/O pin* (15 *pin* diantaranya adalah *PWM*), 16 *pin analog input*, 4 *pin UART (serial port hardware)*. Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah *oscillator 16 Mhz*, sebuah *port USB*, *power jack DC*, *ICSP header*, dan tombol *reset*. *Board* ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi ATmega2560

Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan operasional	5V
Tegangan input (rekomendasi)	7-12V
Tegangan input (limit)	6-20V
Pin digital input/output	54 (<i>of wich 14 provide PWM output</i>)
Pin analog input/output	16
Arus DC per pin input/output	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3 V	50 mA
Memori <i>Flash</i>	256 KB <i>of wich 8 KB used by bootloader</i>
<i>SRAM</i>	8 KB
<i>EEPROM</i>	4 KB
<i>Clock Speed</i>	16 HZ

F. Elektroda

Elektroda atau penghantar arus listrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah paku beton berwarna hitam. Paku beton yang digunakan memiliki panjang 10 cm seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Paku

Paku adalah logam keras berujung runcing, umumnya terbuat dari baja (Tanubrata, 2015). Baja merupakan logam paduan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur utamanya. Fungsi karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Pada umumnya, logam bersifat konduktif atau mudah menghantarkan arus listrik (Wijaya, 2015).

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pengembangan yang telah dilakukan dapat dikemukakan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pengembangan *Prototype digital resistivity meter* multielektroda otomatis ini menggunakan 16 elektroda untuk mendeteksi besar arus injeksi dan beda tegangan dalam tanah. Dari 16 elektroda yang digunakan dipilih 4 elektroda sebagai titik ukur untuk mengetahui besar arus injeksi, besar tegangan dan resistivitas tanah.
2. Ketepatan dan kesalahan relatif dari *prototype digital resistivity meter* didapatkan dengan membandingkan hasil pengukuran resistivitas tanah dengan pengukuran menggunakan multimeter.

B. Saran

Berdasarkan pembahasan yang telah dipaparkan maka sebagai saran untuk tindak lanjut dan pengembangan penelitian ini, yaitu:

1. Untuk mendapatkan data arus yang sesuai dengan data sebenarnya dibutuhkan rangkaian penguat pada rangkaian pendeteksi arus
2. Untuk mendapatkan data resistivitas yang akurat sebaiknya *self potential* dari tanah diukur secara berkala agar tidak mempengaruhi pengukuran berikutnya
3. *Prototype digital resistivity meter* multielektroda otomatis ini dapat dimanfaatkan sebagai sarana penunjang di laboratorium Fisika

DAFTAR PUSTAKA

- Akmam dan Nofi, Y,S., 2013. *Analisis Struktur Batuan Dengan Metoda Inversi Smoothness-Constrained Least-Squares Data Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Di Universitas Negeri Padang Kampus Air Tawar* , Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, 45-51
- Amiruddin, Arfis, Fachreza Alisyahnara Lubis. 2018. “Analisa Pengujian Lelah Material Tembaga dengan Menggunakan *Rotary Bending Fatigue Machine*. *Jurnal Ilmiah Mekanik*. Vol. 4 No. 2.
- Azharudin, Idin, Ikhsan Imaddudin, Bebeh Wahid Nuryadin,. 2013. “Rancang Bangun Alat Geolistrik Untuk Menentukan Jenis Bahan di Bawah Permukaan Bumi”. *Jurnal Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Jati*. ISSN 1979-8911 Vol VII No. 1.
- Cooper, WD. (1999). *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*. Erlangga, Jakarta
- Dwi Priyantil, Denok dkk. 2014. *Pendugaan Pencemaran Air Tanah di Tempat Pembuangan Sampah Landasan Ulin Timur dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger*. Lambung Mangkurat: FMIPA Universitas Lambung Mangkurat.
- Farah Dita, Mudmainnah, Basuki Widodo. 2013. “Karakteristik Aliran Panas dalam Logam Penghantar Listrik”. *Jurnal Teknik Pomits*. ISSN: 2337-3539.
- Fitriandi, Afrizal, Endah Komalasari, Herri Gusmedi. 2016. “*Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway*”. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*. Vol 10 No.2.
- Gf Instruments. 2011. *Short Guide for Resistivity Imaging*. Jecna: Geophysical Equipment and Services.
- Heaney, Michael B. 2003. "Electrical Conductivity and Resistivity". *Electrical Measurement, Signal Processing, and Displays*. ED. John G. Webster. CRC Pres . Hal.7-1.
- Ibrahim, KF. 1991. *Digital Techniques*. Longman Group: United Kingdom.
- Indarto, Bahctera, Gusti Rana Fahlevi Sudenasahaq, Didiek Basuki Rahmad, Muhammad Hasan Basri, Hasto Sunarno. 2016. “Rancang Bangun Sistem Pengukuran Resistivitas Geolistrik dengan Mnegunakan Sumber Arus Konstan”. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Vol. 12 No. 2 Hal. 83-89.
- Irianto, Eko Agus, Endah Rahmawati. 2014. “Prototipe Alat Ukur Resistivitas Tanah dengan Metode *Four-Point Probes*”. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII Jateng & DIY*. ISSN: 0853-0823.

- Kirkup, L.1994. *Experimental Method An Introduction to The Analysis and Presentation of Data*. John Willey & Sons, Singapore
- Muallifah, Faqih. 2009. “Perancangan dan Pembuatan Alat Ukur Resistivitas Tanah”. *Jurnal Neutrino*. Vol. 1 No. 2.
- Railasha, Vergiane, Syawal Satibi, S.A. Nugroho. 2015. “Interpretasi Lapisan Bawah Permukaan Tanah Menggunakan Metode Geolistrik 2-D (*Mapping*)”. *Jurnal FTEKNIK*. Vol. 2 No. 2.
- Reynolds, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: Jhon Geophysicins Hidrogeological and Wiley and Sons Ltd.
- Rikamahu, Jacob Jonas, Didik Rahadi Santoso, Rini Nurhasanah. 2013.”Desain dan Pembuatan Resistor Shunt Ohmik Rendah dan Aplikasinya sebagai Elemen Pengukuran Arus Tinggi Impulse,8/20 μ s”. *Jurnal EECCIS Vo.7 No.1*
- Sanggra Wijaya, Andrias. 2015. “Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Untuk Menentukan Struktur Tanah”. *Jurnal Fisika Indonesia ITS*.
- Sofyan, Bondan. 2011. *Penghantar Material Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika
- Sugiyono, 2017. *Metode Penelitian dan Pengembangan (Research and Development)*. Bandung: Alfabeta
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., & Keys, D. A. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press. New York. London. Melbourne.
- Yohandri, Mairizwan, Akmam. 2018. “Development Of A Digital Resistivity Meter Based On Microcontroller”. *Jurnal Proceedings of TENCON*.