

PENGUKURAN RESISTIVITAS PADA PELAT KONDUKTOR TIPIS MENGGUNAKAN METODE *FOUR POINT PROBE*

RESISTIVITY MEASUREMENT ON THIN CONDUCTOR PLATE USING FOUR POINT PROBE METHOD

Arief Elang Raharja¹, Dr. Eng. Asep Suhendi, S.Si., M.Si.², Dr. Dudi Darmawan, S.Si., M.T.³
ariefelang17@gmail.com¹, as.suhendi@gmail.com², dudidw@gmail.com³

Abstrak

Salah satu metode pengukuran resistivitas yang banyak digunakan adalah metode *Four Point Probe*. Metode *four point probe* dapat mengukur resistivitas dengan tepat dan akurat. Metode ini menggunakan empat buah *probe* yang terdiri dari dua buah *probe* yang berfungsi mengalirkan arus dan dua buah *probe* untuk membaca tegangan. Pada penelitian ini akan mengukur resistivitas bahan dengan metode *Four Point Probe* dan susunan *Wenner* supaya didapatkan pembacaan yang tepat dan akurat serta tidak memerlukan biaya yang banyak. Pada penelitian resistivitas ini digunakan material pelat tipis konduktor dengan ketebalan maksimum 0,01 cm seperti PCB tembaga, pelat tembaga, pelat seng, dan pelat *stainless steel*. Pada hasil penelitian ini diperoleh bahwa nilai rata – rata resistivitas pada pcb tembaga sebesar $1,96 \times 10^{-8} \Omega.m$, nilai resistivitas pada pelat tembaga sebesar $2,227 \times 10^{-8} \Omega.m$, pada pelat seng sebesar $2,42 \times 10^{-7} \Omega.m$, dan pada pelat *stainless steel* sebesar $1,02 \times 10^{-6} \Omega.m$. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa nilai resistivitas pada pelat konduktor salah satunya dipengaruhi oleh suhu yang dihasilkan oleh arus yang cukup besar.

Kata Kunci : Resistivitas, *Four Point Probe*, susunan *Wenner*

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Resistivitas listrik adalah resistansi volume material bumi terhadap aliran arus listrik[1]. Ada tiga tipe dasar dari sebuah material yang dapat dikelompokkan berdasarkan resistivitasnya yaitu konduktor atau bahan yang dapat menghantarkan listrik secara baik, isolator atau bahan yang tidak dapat menghantarkan listrik dengan baik, semi konduktor atau bahan yang memiliki sifat diantara konduktor dan isolator. Ada dua metode yang umum digunakan untuk mengukur resistivitas pada sebuah bahan yaitu dengan metode *two point probe* dan *four point probe*.

Metode *four point probe* terdiri dari dua kontak bias yang menginjeksikan arus ke dalam sampel dan dua *probe* kontak yang mengukur penurunan tegangan yang dihasilkan di seluruh sampel,[4]. Berbeda dengan pengukuran klasik menggunakan dua *probe*, teknik ini menghilangkan resistansi kontak dari pengukuran dan dengan demikian memungkinkan untuk mendapatkan pengukuran resistansi yang tepat dengan akurasi tinggi[4].

Pengukuran dengan arus yang tetap akan diperoleh suatu variasi beda tegangan yang berakibat akan terdapat variasi resistansi yang akan membawa suatu informasi tentang struktur dan material yang dilewatinya. Prinsip ini sama halnya dengan menganggap bahwa material memiliki sifat resistif, dimana material-materialnya memiliki kemampuan yang berbeda dalam menghantarkan arus listrik. Pada metode *four point probe* memiliki kekurangan yaitu metode ini memerlukan biaya yang tidak sedikit, akan tetapi metode ini memiliki *error* yang cukup kecil. Ada 2 metode untuk menyusun susunan *probe* pada metode *four point probe* yaitu di antaranya metode Schlumberger dan metode Wenner.

Metode *Schlumberger* memiliki kelebihan yaitu pada metode ini memiliki resolusi yang lebih baik dan juga waktu pemasangannya relatif singkat[5], akan tetapi pada metode *Schlumberger* terdapat kelemahan yaitu pada

susunan ini diperlukan kabel elektroda arus yang cukup panjang, instrumen perekaman harus sangat sensitif, dan susunannya cukup sulit atau membingungkan untuk diletakan pada bidang objek[6]. Yang terakhir pada metode susunan *Wenner* kekurangan yang dimiliki pada metode ini adalah semua elektroda – elektroda harus digerak – gerakkan agar pembacaan bisa di dapatkan[6], akan tetapi kelebihan metode ini adalah resistivitas yang jelas mudah dihitung pada bidang dan sensitivitas instrumen tidak begitu penting seperti susunan geometri lainnya. Hanya membutuhkan arus yang relatif kecil untuk menghasilkan perbedaan potensial yang terukur[5].

Pada penelitian ini akan di rancang sebuah sistem pengukuran resistivitas suatu bahan berdasarkan metode *four point probe* berdasarkan susunan *Wenner* karena pada susunan ini tidak perlu alat ukur yang sangat sensitif. Sistem terdiri dari *probe*, sumber arus, pengkondisi sinyal, dan *multimeter*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Resistivitas elektrik

Tahanan jenis atau resistivitas adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan arus listrik yang direpresentasikan dengan ρ (rho) dalam sebuah persamaan matematik 2.1. Resistivitas sendiri memiliki satuan ohm-meter. Material terdiri dari kumpulan sejumlah besar atom atau molekul. Molekul terdiri atas banyak atom, sementara atom terdiri dari inti yang bermuatan positif dan dikelilingi oleh elektron yang bersifat negatif sehingga material umumnya memiliki sifat kelistrikan.

$$\rho = R \frac{A}{L} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : ρ = Resistivitas (ohm.meter), R = Resistansi (Ohm), V = Tegangan (Volt), I = Arus (Ampere), A = Luas Permukaan (m²), dan L = Panjang (m).

2.2. Pengenalan Konduktor

Konduktor adalah bahan yang dapat menghantarkan energi listrik baik itu benda padat, cair maupun gas [10]. Konduktor memiliki nilai resistivitas yang rendah dan nilai konduktivitas yang cukup besar. Oleh sebab itu kebanyakan logam merupakan konduktor listrik dikarenakan nilai resistivitasnya yang cukup rendah dan juga memiliki nilai konduktivitas yang cukup besar.

2.3. Pengenalan metode *Four Point Probe*

Metode *four point probe* telah terbukti menjadi alat yang mudah digunakan untuk pengukuran resistivitas [12]. Metode ini memanfaatkan empat buah probe yang terdiri dari dua buah probe untuk menginjeksikan arus listrik dan dua buah probe untuk mengukur tegangan. Metode *four point probe* sendiri memiliki dua buah jenis susunan yaitu :

2.3.1 Susunan *Schlumberger*

Susunan *schlumberger* memiliki empat buah probe yang terdiri dari dua buah probe arus dan dua buah probe tegangan dimana masing – masing probe arus dan tegangan memiliki jarak yang berbeda.

2.3.2 Susunan *Wenner*

Susunan *wenner* memiliki empat buah probe yang terdiri dari dua buah probe arus dan dua buah probe tegangan dan semua probe memiliki jarak yang sama panjangnya. Pada susunan *wenner* memiliki kelebihan yaitu

pada susunan ini tidak memerlukan alat ukur tegangan yang sensitif karena jarak antara probe cenderung sama sehingga cukup mudah untuk mendapatkan pengukuran yang tepat. Akan tetapi, susunan ini memiliki kekurangan yaitu Keempat probe, dua probe arus dan dua probe potensial, harus dipindahkan - pindahkan untuk memperoleh pembacaan yang tepat[6].

2.4. Komponen Penyusun sistem *Four Point Probe*

Sistem *four point probe* memiliki beberapa macam komponen penyusun. Setiap komponen memiliki fungsi dan keterkaitan dengan komponen yang lain, sehingga dapat mengukur resistansi dan resistivitas dari suatu bahan. Berikut ini adalah komponen-komponen penyusun sistem *four point probe* :

2.4.1 Sumber Tegangan dan Sumber Arus

Sumber arus merupakan salah satu komponen yang paling penting dalam penyusunan sistem *four point probe*. Sumber arus ideal adalah elemen sirkuit yang mempertahankan arus yang ditentukan melalui terminalnya terlepas dari tegangan di terminal-terminal tersebut keluaran [13]

2.4.2 Probe

Probe merupakan komponen utama pada system pengukuran resistivitas. *Probe* berfungsi sebagai perantara untuk mengalirkan arus listrik ke bahan dan juga sebagai perantara untuk mengalirkan sinyal tegangan hasil pengukuran ke pembaca tegangan.

2.4.3 Penguat Tegangan *Non Inverting*

Op-amp pada dasarnya adalah sebuah *differential amplifier* (penguat diferensial) yang memiliki dua masukan [14]. Penguat tegangan *non inverting* merupakan penguat sinyal dengan karakteristik dasar sinyal output yang dikuatkan memiliki fasa yang sama dengan sinyal input.

2.4.4 Multimeter

Multimeter adalah alat ukur yang dipakai untuk mengukur tegangan, arus, dan resistansi. Multimeter saat ini terdiri dari dua jenis yaitu multimeter analog dan multimeter digital. Multimeter digital pada umumnya dapat mengukur tegangan, arus, resistansi, dan kapasitansi.

Pada bab 3 ini akan dibahas tentang sistem pengukuran resistivitas metode empat probe dengan susunan *wenner* dan analisa dari resistivitas dan pengaruh jarak antar probe dalam pengukuran. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui nilai resistivitas, setelah nilai resistivitas diketahui maka akan di analisa parameter-parameter yang dapat mempengaruhi terhadap nilai resistivitas pada benda.

BAB 3

HASIL DAN ANALISA

3.1. Realisasi Pengukuran

Pengukuran resistivitas telah direalisasikan dengan metode empat probe dan susunan *Wenner* yang telah di kalibrasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. Sistem pengukuran ini terdiri dari empat buah *probe* yang memiliki jarak yang sama dan penguat *non inverting* dengan dua buah resistor bernilai 100k ohm dan 1k ohm yang dapat menguatkan tegangan sebesar 100 kali. Selain itu, sistem pengukuran resistivitas memerlukan sumber arus konstant yang berasal dari *power supply* DC dengan merk *Thaoxin* dengan mode *constant current* dan sebuah pembaca tegangan sebagai pengolah data untuk mengetahui nilai tegangan terukur yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan 3.3.



Gambar 3.1. Realisasi pengukuran resistivitas

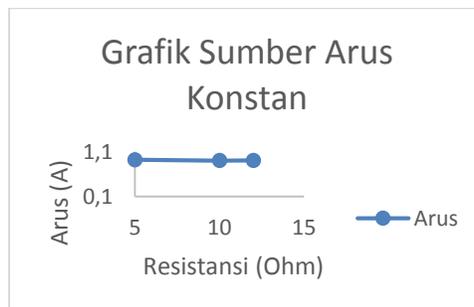


Gambar 3.2. Multimeter digital

Pada Gambar 3.1 dapat dilihat komponen – komponen yang tersusun menjadi sistem pengukur resistivitas. *Power supply* sebagai sumber arus konstan. Probe sebagai penghubung arus ke kontak dan penghubung tegangan dari objek menuju pembaca tegangan. Penguat Tegangan 100 kali untuk menguatkan tegangan dari objek agar dapat terbaca pada pembaca tegangan. Pembaca tegangan sebagai pembaca nilai tegangan yang dihasilkan oleh objek. Sumber arus ini digunakan sebagai arus masukan yang akan mengalir pada bahan. Sedangkan pada Gambar 3.2 menunjukkan multimeter. Multimeter ini digunakan sebagai pembaca tegangan. Data yang dibaca oleh multimeter selanjutnya diolah secara manual menjadi nilai resistivitas bahan.

3.2. Pengujian Sumber Arus Konstan

Sumber arus konstan digunakan sebagai sumber untuk menginjeksikan arus ke bahan.

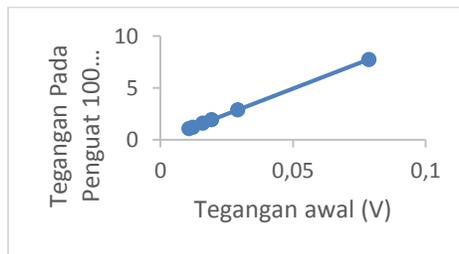


Gambar 3.3. Hasil pengujian sumber arus konstan

Pada Gambar 3.3 menunjukkan hasil dari pengujian sumber arus konstan dari *power supply*. Berdasarkan grafik di atas dengan resistansi ≤ 12 ohm arus masih tetap konstan berada di kisaran 0,9 A dan tidak terjadi adanya efek pembebanan.

3.3. Karakteristik Penguat

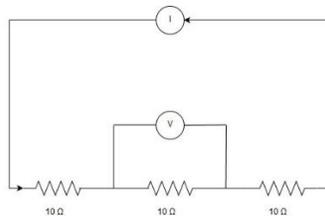
Penguat digunakan untuk memperbesar nilai dari tegangan yang di hasilkan. Penguat yang digunakan adalah penguat non inverting dengan penguatan 100 kali. Penguat terdiri dari op amp LM741. Untuk mendapatkan perbesaran 100 kali digunakan dua buah resistor dengan nilai 100kohm. Op amp memerlukan sumber tegangan sebesar 9 volt. Penguat ini digunakan untuk menguatkan tegangan keluaran dari bahan agar dapat terbaca di pembacaan tegangan.



Gambar 3.4. Karakteristik penguatan 100 kali

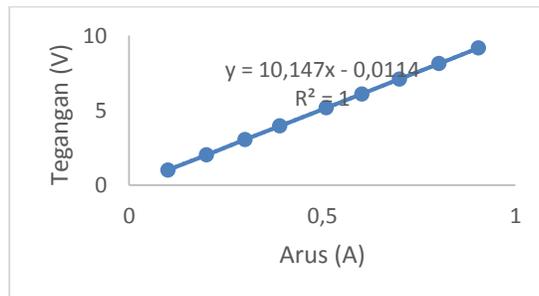
Pada Gambar 3.3 menunjukkan hasil dari karakteristik penguat *non inverting* dengan penguatan 100 kali. Dapat dilihat dari table tersebut, dengan adanya penguatan ini nilai tegangan dari 0,0108 V menjadi 1,08 V.

3.4. Hasil Pengujian Pada *Dummy Circuit*



Gambar 3.5. Pengujian *Dummy Circuit*

Sistem pengukuran sebelumnya di uji pada *dummy circuit*, dimana *dummy circuit* terdiri dari 3 buah resistor 10 ohm yang dirangkai secara seri lalu diinjeksikan sumber arus konstan dan diukur nilai tegangan pada salah satu resistornya.

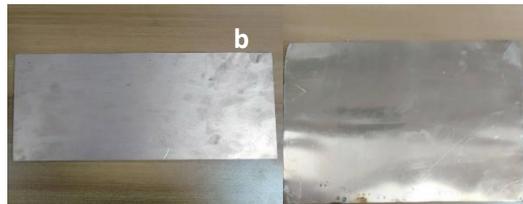


Gambar 3.6. Grafik Pengujian *Dummy Circuit*

Pada gambar 3.6 menunjukkan hasil dari pengujian pada *dummy circuit*. Dari grafik diatas terlihat bahwa besar kuat Arus akan mempengaruhi pada besar kuat tegangan yang terukur. Sehingga, berdasarkan pada persamaan $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ maka dapat diperoleh bahwa resistansi yang terukur pada *dummy circuit* adalah sebesar 10,15 Ω . Melihat grafik hubungan V-I, maka semakin miring grafik V-I maka hambatannya makin kecil dan begitu juga sebaliknya.

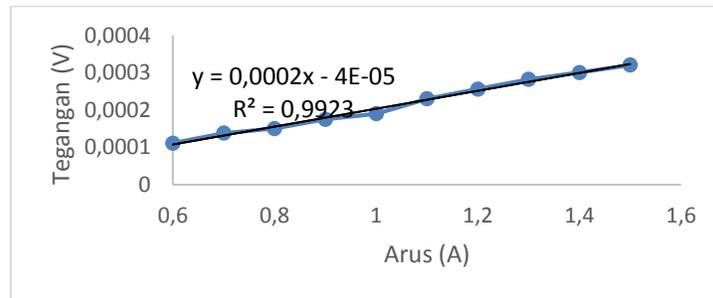
3.5. Hasil Pengukuran Nilai Resistivitas

3.5.1. PCB Tembaga dan Pelat Tembaga



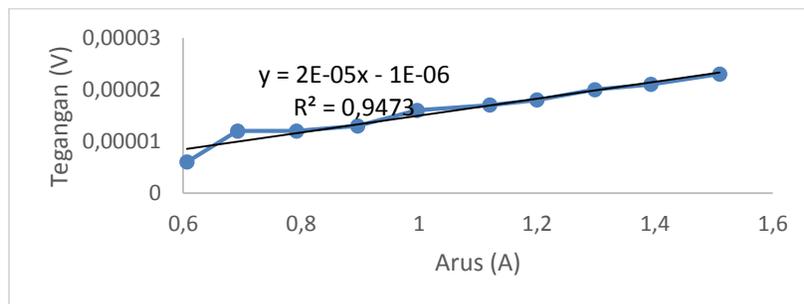
Gambar 3.7 a. PCB tembaga, b. Pelat tembaga

Gambar 3.7 a menunjukkan PCB Tembaga dengan ukuran panjang 21 cm dan lebar sebesar 11,2 cm dengan ketebalan 35 μm . Sementara pada gambar 3.7 b menunjukkan pelat tembaga dengan ukuran panjang 12,08 cm dan lebar 9,87 cm dengan ketebalan 0,032 cm.



Gambar 3.8 Grafik V-I pada PCB Tembaga

Pada gambar 3.8 menunjukkan pengaruh arus terhadap tegangan pada PCB tembaga. Dapat dilihat pada grafik diatas terlihat bahwa semakin kuat arus yang diberikan kepada PCB tembaga maka tegangan pada PCB tembaga pun akan semakin kuat. Berdasarkan pada persamaan $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ maka dapat diperoleh bahwa resistansi yang terukur pada PCB Tembaga adalah sebesar 0,000232222 Ω . Maka berdasarkan dari perhitungan dengan metode *four point probe* [12] dapat diperoleh nilai resistivitas PCB tembaga sebesar $1,96 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ dengan *error* sebesar 14,17%.



Gambar 3.9 Grafik V-I pada Pelat Tembaga

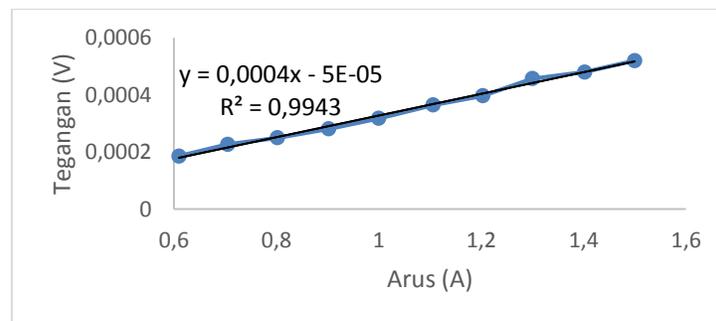
Pada gambar 3.9 grafik V-I pada pelat tembaga. Grafik diatas menunjukkan adanya pengaruh arus terhadap tegangan pada pelat tembaga. Berdasarkan persamaan $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ maka dapat diperoleh bahwa resistansi yang terukur di pelat tembaga sebesar $1,88 \times 10^{-5}$. Maka berdasarkan dari perhitungan metode *four point probe* [12] dapat diperoleh nilai resistivitas pada pelat tembaga sebesar $2,227 \times 10^{-8} \Omega.m$ dengan *error* sebesar 29,49%.

3.5.2. Pelat Seng



Gambar 3.10 Pelat seng

Pada gambar 3.10 menunjukkan pelat seng. Pelat seng tersebut memiliki ketebalan 0,032 cm, panjang 27,2 cm dan lebar 11,6 cm.



Gambar 3.11 Grafik V-I pada Pelat seng

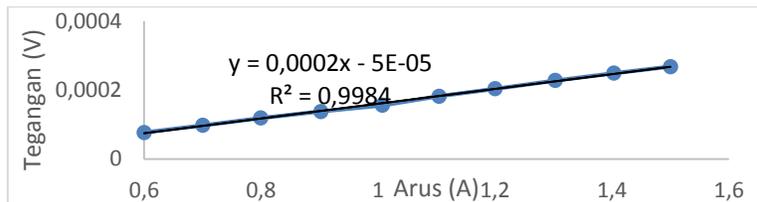
Pada gambar 3.11 menunjukkan grafik tegangan terhadap pengaruh pada pelat Seng. Dari persamaan $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ maka nilai resistansi pada pelat seng diperoleh sebesar $0,000375281 \Omega$. Maka dengan demikian berdasarkan pada perhitungan dengan menggunakan metode *four point probe* nilai resistivitas pada pelat seng dapat diperoleh sebesar $2,32 \times 10^{-7} \Omega.m$.

3.5.3. Pelat Stainless Steel



Gambar 3.12. Pelat stainless steel

Pada gambar 3.12 menunjukkan pelat *stainless steel* yang digunakan sebagai bahan percobaan. Pelat tersebut berukuran 20 x 16 cm dengan ketebalan 0,15cm.



Gambar 3.13 Grafik V-I pada Pelat *Stainless Steel*

Pada gambar 3.13 menunjukan grafik V-I pada pelat *stainless steel* dimana ketika arus semakin kuat maka tegangan pada *stainless steel* pun akan sebanding kuat nya dengan arus yang diberikan pada *stainless steel*. Berdasarkan persamaan $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ nilai resistansi pada pelat stainless steel diperoleh sebesar 0,000212222 Ω . Dengan demikian resistivitas pada *stainless steel* diperoleh sebesar $1,025 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ dengan *error* sebesar 42,42%.

BAB 4

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan pada sistem pengukuran resistivitas maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. Perancangan sistem pengukuran resistivitas dengan metode *four point probe* dibuat dengan komponen – komponen berupa *probe*, penguat tegangan, sumber arus konstan, dan *multimeter*. Sistem ini mampu mengukur nilai resistivitas pada pelat konduktor. Sistem pengukuran ini telah diuji coba pada beberapa lapisan tipis konduktor seperti pcb tembaga dengan nilai resistivitas sebesar $1,96 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ dan *error* sebesar 14,17%, pelat tembaga dengan resistivitas sebesar $2,227 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ dan *error* sebesar 29,49%, seng dengan nilai resistivitas sebesar $2,32 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$, dan *stainless steel* yang memiliki nilai resistivitas sebesar $1,025 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ dengan *error* sebesar 42,42%.

5.2. Saran

Pada sistem pengukuran ini seharusnya dibuat probe yang lebih baik dan juga menggunakan mikrokontroler dengan bit besar agar resolusi menjadi lebih kecil, pengolahan data menjadi otomatis, dan pembacaan menjadi lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Geophysical, “Norcal Geophysical,” [Online]. Available: <http://www.norcalgeophysical.com/pdfs/ElectricalResistivitySurveys.pdf>. [Accessed 10 April 2018].
- [2] R. Brennan and D. Dickey, “Determination of Diffusion Characteristics Using Two- and Four-Point Probe Measurements,” *Solecon Laboratories, Inc*, p. 10.
- [3] P. Kurek and G. Fafilek, “Comparative two- and four-probe impedance measurements on BICUVOX.10,” 1999.
- [4] F. Lüpke, D. Cuma, S. Korte and V. Cherepanov, “Four-point probe measurements using current probes with voltage feedback to measure electric potentials,” *Journal of Physics: Condensed Matter*, p. 7, 2018.

- [5] J. R. Boulding, Use of Airborne, Surface, and Borehole Geophysical Techniques at Contaminated Sites, United States Environmental Protection Agency, 1993.
- [6] H. R. Burger, A. F. Sheehan and C. H. Jones, Introduction to Applied Geophysics: Exploring the Shallow Subsurface, W.W. Norton, 2006.
- [7] K. G. Vandervoort, L. J. Lesmerises, K. C. Schuler and J. M. Spratt, "Modeling the electrical resistivity of the earth's subsurface on paper," 2002.
- [8] J. Safitri, M. Yusfi and A. , "RANCANG BANGUN ALAT UKUR RESISTIVITAS PADA LAPISAN TIPIS MENGGUNAKAN METODE 4 PROBE BERBASIS ATmega8535 DENGAN TAMPILAN LCD KARAKTER 2 X 16," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 3, 2014.
- [9] K. A. Andreanto and Z. A. I. Supardi, "Pengukuran Resistivitas Pada Printed Circuit Board dengan Menggunakan Metode Four Point Probe.," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, vol. 07, pp. 48-53, 2018.
- [10] S. "Blog Unnes," 14 Oktober 2015. [Online]. Available: <http://blog.unnes.ac.id/antosupri/apa-itu-konduktor-semikonduktor-dan-isolator-dalam-elektronika/>. [Accessed 25 Juli 2017].
- [11] G. S. University, "Hyperphysics," Georgia State University, [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Tables/rstiv.html>. [Accessed 23 Juni 2019].
- [12] F. M. Smits, "Measurement of Sheet Resistivities with the Four-Point Probe," 1957.
- [13] J. W. Nilsson and S. A. Riedel, Electric Circuits, Pearson, 2010.
- [14] L. H. Santoso, A. Anwari and D. Kartikasari, "PERANCANGAN DAN PEMBUATAN TEMPERATURE TRANSMITTER MENGGUNAKAN OPERATIONAL AMPLIFIER (OP-AMP) LM741," 2017.
- [15] "Wiley Online Library," [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/0471473359.app8>. [Accessed 23 Juni 2019].
- [16] B. W. Günther Gridling, Institut of Computer Engineering TU Wien, Vienna: TU Wien, 2007.