



Analisis Sifat Konduktivitas Listrik Berbagai Jenis Variasi Elektroda Pensil Grafit Tipe B

Analysis of Electrical Conductivity Properties of Various Types of Graphite Pencil Electrodes Type B

Eko Sulistio Hanam¹, Muhammad Rizqan Akbar^{1,*}, Ely Rismawati²

¹ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Halim Sanusi, Kota Bandung, Indonesia

² Program Studi Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta, Kota Jakarta Timur, Indonesia

Abstrak: Elektroda pensil grafit tipe B memiliki karakteristik dapat menghantarkan listrik lebih mudah dibandingkan tipe F dan H. Pada penelitian ini akan dikaji dan dianalisis sifat dasar dari konduktivitas listrik beberapa variasi pensil grafit tipe B, diantaranya B, 2B, 4B, 6B dan 8B. Penelitian ini menggunakan pendekatan kurva karakteristik arus-tegangan yang dimodelkan melalui pencocokan persamaan garis lurus untuk mendapatkan komponen $1/R$ yang digunakan dalam penentuan konduktivitas listrik sampel uji melalui hukum ohm. Pengukuran konduktivitas Listrik dilakukan dengan memasukkan dimensi dari bahan berupa diameter dan panjang sampel uji menggunakan jangka sorong. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konduktivitas listrik pada elektroda pensil grafit tipe 8B memiliki konduktivitas listrik yang terbaik diantara seluruh sampel uji yaitu 341,94 S/m. Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi ukuran nomor pada elektroda pensil tipe B, semakin baik konduktivitas listriknya sehingga bahan elektroda tersebut mudah menghantarkan listrik. Ukuran nomor dan tipe yang terdapat pada elektroda pensil grafit menunjukkan konsentrasi grafit yang terdapat pada bahan tersebut sehingga semakin besar nomor pada tipe pensil grafit tipe B maka kandungan grafit akan semakin banyak yang menyebabkan sifat konduktivitas listrik dari bahan pensil semakin meningkat

Kata kunci: resistansi; resistivitas bahan; konduktivitas listrik; grafit pensil; hukum ohm

Abstract: Graphite pencil electrode type B has the characteristic of being able to conduct electricity more easily than types F and H. In this study, the basic properties of the electrical conductivity of several variations of graphite pencil type B will be studied and analyzed, including B, 2B, 4B, 6B and 8B. This study uses a current-voltage characteristic curve approach modeled by matching a straight line equation to obtain the $1/R$ component used in determining the electrical conductivity of test samples through Ohm's law. Electrical conductivity measurements are carried out by entering the dimensions of the material in the form of the diameter and length of the test sample using a vernier caliper. The results showed that the electrical conductivity of the graphite pencil electrode type 8B had the best electrical conductivity among all test samples, namely 341.94 S/m. This study shows that the higher the number size on the type B pencil electrode, the better the electrical conductivity so that the electrode material easily conducts electricity. The size of the number and type found on the graphite pencil electrode indicates the concentration of graphite contained in the material, so the larger the number on the type B graphite pencil, the greater the graphite content, which causes the electrical conductivity of the pencil material to increase.

Keywords: resistance; resistivity of materials; electrical conductivity; pencil graphite; ohm's law

1. Pendahuluan

Pensil grafit merupakan salah satu bentuk senyawa karbon yang mudah ditemukan dan digunakan untuk berbagai keperluan, salah satunya menulis. Berdasarkan penelitian terdahulu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa pensil grafit dapat digunakan sebagai elektroda kerja pada pengukuran elektroanalitik [1], sebagai sensor, bahan dioda sambungan p & n, dan aplikasinya pada generator termoelektrik [2]. Karena memiliki sifat resistansi yang cukup rendah, pensil grafit dapat digunakan

* Corresponding author : ekosulistiohanam@gmail.com

<https://doi.org/10.51132/teknologika.v15i1.452>

Received :25-04-2025 Accepted :03-05-2025 Available online :21-05-2025

sebagai resistor yang dibuat dengan biaya yang cukup rendah, terjangkau serta memiliki sifat kompatibilitas teknis yang cukup baik [3] [4]. Aplikasi pensil grafit sebagai elektroda kerja telah digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi polutan, seperti bahan berbasis pestisida dan bahan obat yang mencemari lingkungan, seperti chlorpromazine (CPZ), serta untuk analisis penentuan kandungan logam besi (Fe) dalam sampel larutan [5][7].

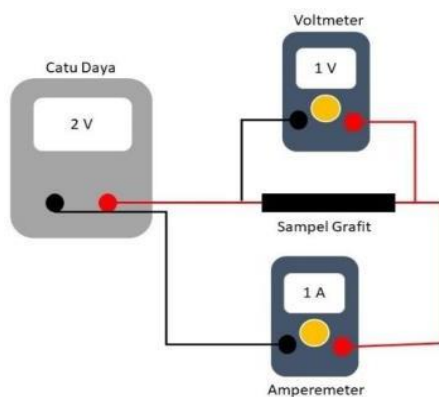
Penelitian lain menunjukkan dengan menggunakan elektroda pensil grafit yang dimodifikasi oleh lapisan perak dapat digunakan untuk mendeteksi ion logam cadmium (Cd^{2+}) dalam suatu lingkungan [8]. Modifikasi pensil grafit dengan logam organik dan besi digunakan dalam biosensor untuk analisis kandungan senyawa Bisphenol A dan Bisphenol S yang berbahaya bagi tubuh manusia [9]. Tidak hanya sebagai sensor, aplikasi lain dari elektroda pensil grafit dapat digunakan sebagai anoda pada baterai lithium ion (*Li-ion batteries/LiBs*) dengan menggunakan bubuk pensil grafit tipe 4B yang memberikan performa densitas energi sebesar 155 Wh kg^{-1} [10].

Pensil grafit memiliki beberapa variasi tipe seperti pensil grafit tipe B, tipe F dan tipe H serta penomoran pensil yang menunjukkan kandungan grafit dalam pensil tersebut. Sifat resistivitas pensil grafit tipe B merupakan yang paling kecil diantara tipe F dan tipe H sehingga tipe ini lebih mudah dalam menghantarkan listrik dalam bahan [11].

Berdasarkan sifat resistivitas yang ditunjukkan oleh pensil grafit tipe B,F dan H serta variasi penomoran pada pensil, dan potensi aplikasi batang pensil grafit sebagai elektroda sensor, maka dalam penelitian ini akan dilakukan studi analisis sifat dasar berbagai macam variasi pensil grafit tipe B dengan menguji dan menganalisis sifat resistivitas dan konduktivitas listrik bahan pensil grafit sehingga dapat diketahui tipe pensil grafit yang memiliki performa paling optimum. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai penentu elektroda pensil grafit yang digunakan untuk berbagai macam penelitian, salah satunya untuk aplikasi biosensor.

2. Metodologi

Beberapa macam variasi pensil grafit dengan tipe B, 2B, 4B, 6B dan 8B digunakan untuk mengetahui konduktivitas listriknya melalui metode pengukuran karakteristik tegangan terhadap arus (I-V) sehingga didapatkan performa resistansinya. Elektroda karbon dari baterai komersil (ECBK) juga digunakan dalam penelitian ini sebagai pembanding performa konduktivitas listrik dengan beberapa tipe variasi pensil grafit yang akan diuji. Metode penelitian yang dilakukan dengan memberikan variasi tegangan antara 0V - 2 V dengan setiap kenaikan tegangan sebesar 0.2 V kemudian dilakukan pengukuran arus listrik pada sampel uji menggunakan amperemeter digital dan pengukuran tegangan pada sampel menggunakan voltmeter seperti pada Gambar 1 [11] [12].



Gambar 1. Desain Eksperimen Pengukuran Arus Listrik dan Tegangan pada sampel grafit pensil

Selanjutnya hasil pengukuran karakteristik tegangan dan arus listrik pada sampel dilakukan pencocokan kurva persamaan garis lurus untuk mengetahui gradien garis yang dihasilkan dari masing-masing sampel uji [14]. Pencocokan kurva dilakukan melalui persamaan garis lurus seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut

$$y = mx + C \quad (1)$$

Dengan m adalah gradien garis lurus dimana $m = 1/X$. Analo]gi dengan persamaan 1, maka pada penelitian ini persamaan garis lurus dapat ditulis menjadi

$$I = \frac{1}{R}V + C \quad (2)$$

Dimana I adalah arus listrik (Ampere), R adalah resistansi atau hambatan (Ω) dan V adalah tegangan (Volt). Maka gradien garis yang didapatkan adalah $m = 1/R$. Selanjutnya setelah mengetahui gradien garis, dilakukan penentuan resistivitas listrik melalui hukum ohm pada persamaan 3 dan 4 berikut

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (4)$$

Dimana R adalah hambatan (Ω), ρ adalah hambat jenis bahan ($\Omega \text{ m}$), l adalah panjang sampel uji (m) dan A adalah luas penampang sampe uji (m^2) [2] [12] [13].

Konduktivitas listrik berbanding terbalik dengan resistivitas dimana penentuan konduktivitas listrik dapat ditentukan melalui persamaan 5 dan 6 berikut

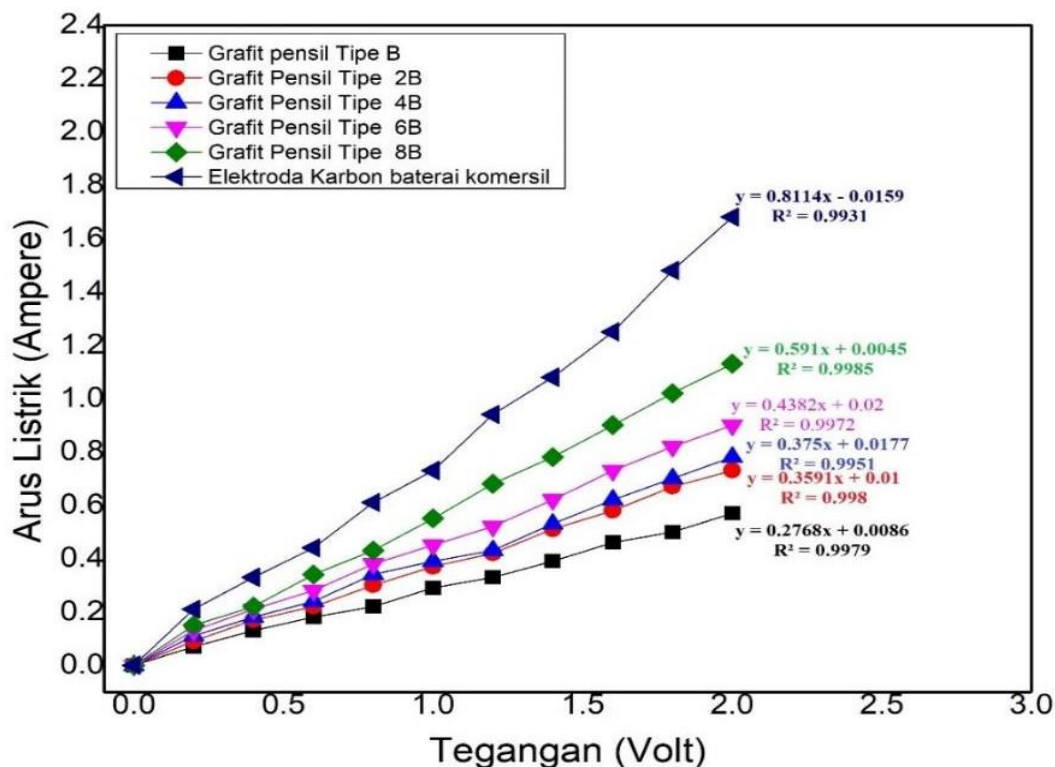
$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{l}{RA} \quad (6)$$

Dengan σ adalah konduktivitas listrik (S/m) [15].

3. Hasil dan Pembahasan

Penentuan gradien garis $1/R$ dilakukan dengan mengukur respon arus listrik terhadap tegangan yang diberikan oleh catudaya pada sampel uji. Terdapat 5 sampel uji dari beberapa variasi pensil grafit dan 1 sampel pembanding yang berasal dari elektroda karbon (ECBK). Berdasarkan hasil pengukuran arus terhadap tegangan, didapatkan bahwa semakin tinggi nomor tipe pensil B yang diuji, menunjukkan peningkatan respon arus listrik setiap kenaikan tegangan sebesar 0.2 V seperti yang terlihat pada Gambar 2. Nomor tipe pensil menunjukkan fraksi antara *clay* dan grafit yang terkandung di dalam tipe pensil grafit dimana semakin tinggi nomor pada tipe pensil grafit B menunjukkan semakin pekat konsentrasi grafit yang terkandung pada pensil [16]. Konsentrasi grafit yang semakin tinggi memberikan respon arus listrik yang semakin baik.



Gambar 2. Grafik pengukuran kurva karakteristik tegangan dan arus listrik pada berbagai tipe grafit

Titik-titik data hasil pengukuran kemudian dilakukan pendekatan menggunakan pencocokan kurva persamaan garis lurus sehingga didapatkan persamaan garis lurus dan koefisien korelasi yang terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Penentuan gradien $\frac{1}{R}$ dari persamaan garis lurus antara tegangan dan arus

| No | Tipe Grafit | Persamaan garis lurus | Koefisien korelasi | Gradien $\frac{1}{R}$ (Ω^{-1}) |
|----|-----------------------|------------------------|--------------------|---|
| 1 | Grafit pensil tipe B | $y = 0,2768x + 0,0086$ | 0,9979 | 0,2768 |
| 2 | Grafit pensil tipe 2B | $y = 0,3591x + 0,01$ | 0,9980 | 0,3591 |
| 3 | Grafit pensil tipe 4B | $y = 0,375x + 0,0177$ | 0,9951 | 0,3750 |
| 4 | Grafit pensil tipe 6B | $y = 0,4382x + 0,02$ | 0,9972 | 0,4382 |
| 5 | Grafit pensil tipe 8B | $y = 0,5591x + 0,0045$ | 0,9985 | 0,5591 |
| 6 | ECBK | $y = 0,8114x - 0,0159$ | 0,9931 | 0,8114 |

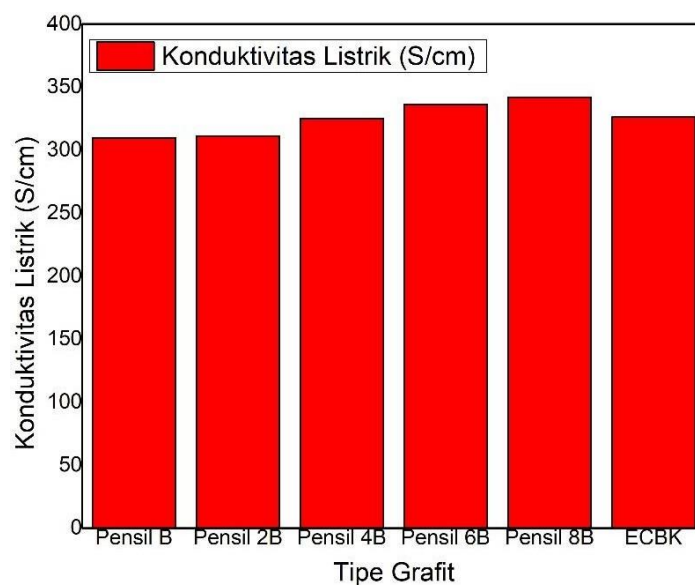
Berdasarkan hasil yang diperoleh pada tabel 1, didapatkan gradien $1/R$ pada sampel pensil grafit tipe 8B memiliki nilai terbaik yaitu 0,5591 dengan koefisien korelasi 0,9985. Koefisien korelasi 0,9985 menunjukkan garis lurus yang melewati titik-titik data memiliki hasil yang sangat baik [13]. Jika dilakukan perbandingan dengan sampel elektroda ECBK, maka didapatkan nilai 0,8114 yang merupakan hasil gradien $1/R$ terbaik dari seluruh sampel pensil grafit yang diuji. Gradien $1/R$ identic dengan komponen dalam penentuan konduktivitas listrik pada persamaan 6 sehingga dapat digunakan untuk menentukan besaran σ . Konduktivitas listrik σ dapat ditentukan dengan mensubstitusi besaran dimensi dari sampel uji berupa panjang sampel dan luas penampang sampel ke dalam persamaan 6 sehingga didapatkan hasil seperti yang terlihat pada tabel 2. Terlihat konduktivitas listrik pada tipe pensil grafit 8B memberikan hasil paling baik dalam menghantarkan arus listrik dibandingkan dengan sampel lain bahkan dengan sampel elektroda ECBK. Besaran

dimensi dan luas penampang dari sampel uji dapat mempengaruhi sifat resistivitas maupun konduktivitas listrik suatu bahan [12] [13].

Tabel 2. Konduktivitas Listrik berbagai tipe grafit pensil dan perbandingannya dengan elektroda baterai komersil

| No | Tipe Grafit | 1/R (Ω^{-1}) | L(cm) | A(cm ²) | σ (S/cm) |
|----|-----------------------|-----------------------|-------|---------------------|-----------------|
| 1 | Grafit pensil tipe B | 0,2768 | 0,425 | 0,000380 | 309,6278 |
| 2 | Grafit pensil tipe 2B | 0,3591 | 0,425 | 0,000491 | 311,0675 |
| 3 | Grafit pensil tipe 4B | 0,3750 | 0,425 | 0,000491 | 324,8408 |
| 4 | Grafit pensil tipe 6B | 0,4382 | 0,425 | 0,000572 | 336,1551 |
| 5 | Grafit pensil tipe 8B | 0,5591 | 0,35 | 0,000572 | 341,9482 |
| 6 | ECBK | 0,8114 | 0,47 | 0,001194 | 326,1951 |

Berdasarkan pada gambar 3 secara umum menunjukkan bahwa konduktivitas listrik pensil grafit berbagai tipe memiliki konduktivitas listrik diatas 300 S/cm. Pengujian matriks katoda baterai dari karbon berpori yang didoping oleh N dengan metode *fourline probe* (FLP) menunjukkan konduktivitas listrik yang diperoleh sebesar $17,16 \times 10^{-2}$ S/cm serta bahan komposit karbon berpori yang didoping oleh nitrogen/sulfur sebesar $14,61 \times 10^{-4}$ S/cm [17]. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh pada penelitian ini memiliki nilai konduktivitas listrik yang cukup baik. Pengujian pada elektroda ECBK memiliki konduktivitas listrik yang cukup identik dengan hasil yang diperoleh pada tipe pensil grafit 4B dimana luas penampang dan panjang sampel ECBK lebih besar dibandingkan dengan sampel lainnya.



Gambar. 3. Grafik Konduktivitas Listrik berbagai tipe grafit pensil dan pada elektroda baterai (ECBK)

Hasil pengukuran konduktivitas listrik pada sampel uji pensil grafit mengalami peningkatan dengan penambahan nomor sampel pada bahan pensil grafit. Pensil grafit tipe 8B memberikan hasil yang terbaik dibandingkan dengan tipe lainnya sehingga lebih mudah dalam menghantarkan arus listrik pada bahan. Hal ini didukung dengan penelitian sebelumnya dimana penggunaan bubuk pensil grafit tipe 4B dapat meningkatkan performa dalam pengukuran elektrokimia bahan [10]. Penggunaan tipe pensil grafit 6B sebagai resistor yang murah juga menunjukkan sifat resistivitas yang rendah, artinya bahan tersebut lebih mudah menghantarkan arus listrik dibandingkan tipe pensil dengan

nomor tipe yang lebih rendah [2]. Jenis pensil grafit tipe B, F dan H juga memiliki karakteristik resistivitas yang berbeda dimana jenis pensil grafit tipe B menunjukkan nilai resistivitas terendah dibandingkan tipe F dan H [11] [12]. Ini menunjukkan pensil grafit tipe B lebih mudah menghantarkan listrik dibandingkan tipe lain dan nomor variasi tipe pensil grafit B mempengaruhi sifat konduktivitas listrik dimana tipe pensil grafit 8B menunjukkan performa terbaik dibandingkan jenis lainnya

4. Kesimpulan

Sifat konduktivitas listrik pada berbagai variasi pensil grafit tipe B dipengaruhi oleh komposisi bahan. Sistem penomoran pada pensil grafit tipe B menunjukkan komposisi grafit yang semakin besar. Nomor tipe pensil grafit yang semakin tinggi menunjukkan peningkatan sifat konduktivitas listrik sehingga bahan dengan nomor tipe pensil grafit B yang lebih tinggi dapat menghantarkan listrik lebih mudah dibandingkan nomor pensil yang lebih rendah. Penelitian ini menunjukkan bahwa tipe pensil grafit 8B memberikan performa paling baik dibandingkan tipe pensil B, 2B, 4B, dan 6 B, bahkan lebih baik dibandingkan dengan sampel elektroda ECBK. Sampel ECBK memberikan performa yang setara dengan tipe pensil grafit tipe 4B. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, penelitian lanjutan diperlukan untuk menentukan sifat lain dari berbagai tipe pensil grafit seperti pengujian voltametri, karakterisasi sifat impedansi bahan pensil grafit serta penelitian aplikatif lainnya yang menggunakan elektroda pensil grafit sebagai elektroda pada sensor.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Laboratorium Fisika Dasar FMIPA Universitas Halim Sanusi atas dukungannya dalam proses pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] David, I. Gabriela et al, Pencil Graphite Electrodes: A Versatile Tool in Electroanalysis. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, Volume 2017, Article ID 1905968, 22pages, <https://doi.org/10.1155/2017/1905968>
- [2] Abhishek Shukla et al, A Review on Pencil Drawn Thermoelectric Devices on Paper, 2024 *ECS Sens. Plus* 3 026401
- [3] C Inyeo and P Wattanakasiwich 2018 *J. Phys.: Conf. Ser.* 1144 012165doi:10.1088/1742-596/1144/1/012165
- [4] Akash Nathani et al, Review—Pencil Graphite Electrodes as Platform for Enzyme and Enzyme-Like Protein Immobilization for Electrochemical Detection 2020 *J. Electrochem. Soc.* 167 037520
- [5] Annu et al, Review—Pencil Graphite Electrode: An Emerging Sensing Material 2020 *J. Electrochem. Soc.* 167 037501
- [6] Sari, M.C. Rizky et al Penentuan Besi (III) Secara Voltametri Menggunakan Elektrode Grafit Pensil . 2019. *J. Chimica et Natura acta*. Vol. 7 No. 3: 138-146
- [7] Purushothama, H.T. et al, Pencil graphite electrode as an electrochemical sensor for the voltammetric determination of chlorpromazine, *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, Volume 3, Issue 2, 2018, Pages 161-166, ISSN 2468-2179, <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2018.03.007>
- [8] Sari, T.K. et al, Pencil Lead Electrode Termodifikasi Lapisan Tipis Perak Untuk Deteksi Ion Logam Cd²⁺ Dengan Metode Voltametri. [VOL. 6 NO. 2 \(2024\): OKTOBER. HTTPS://DOI.ORG/10.25299/JREC.2024.VOL6\(2\).18661](https://doi.org/10.25299/JREC.2024.VOL6(2).18661)

- [9] Chen, J.Y. et al, A novel pencil graphite electrode modified with an iron-based conductive metal-organic framework exhibited good ability in simultaneous sensing bisphenol A and bisphenol S, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 272, 2024, 116065, ISSN 0147-6513, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116065>.
- [10] Mamidi, S. et al, Pencil lead powder as a cost-effective and high-performance graphite-silica composite anode for high performance lithium-ion batteries, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 872, 2021, 159719, ISSN 0925-8388, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159719>.
- [11] Hanam, E.S. et al, Pengukuran Karakteristik Resistivitas Pada Bahan Grafit Pensil Tipe B F Dan H, *Journal of Physics and Science Learning*, Vol. 08 Nomor 1, Juni 2024, ISSN : 2622-6707
- [12] Nurzaman, et al, Rangkaian Listrik Menggunakan Isi Pensil, *Prosiding SNIPS*, 2018, ISBN: 978- 602-61045-4-0
- [13] Kasli, E. et al, Analisis Nilai Hambatan Jenis Aluminium Berdasarkan Panjang Kawat Yang Berbeda, *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi (JPFT)*, Volume 6 No. 1 Juni 2020
- [14] Grisales, C. et al, Preparation of graphite conductive paint and its application to the construction of RC circuits on paper, 2016 *Phys. Educ.* 51 055011 DOI 10.1088/0031-9120/51/5/055011
- [15] Heaney, M.B., *Electrical Conductivity and Resistivity, Electrical measurement, Signal Processing, and Displays*, CRC press, 2003, 7-1
- [16] Kim, Y. et al, Measurement of hardness and friction properties of pencil leads for quantification of pencil hardness test, *Advances in Applied Ceramics*, 2016, 115:8, 443-448, DOI: 10.1080/17436753.2016.1186364
- [17] Nurhilal dkk. Modifikasi Karbon Berpori Eceng Gondok Doping Nitrogen Untuk Matrik Katoda Baterai Litium Sulfur Dengan Kapasitas Tinggi, *Chimica et Natura Acta*, 2023, Vol. 11 No. 2: 52-58