

## PEMBUATAN ELEKTRODA GRAFIT BERPORI UNTUK PROSES ELEKTROLISIS

\*Irfan Aryo Wibowo<sup>1</sup>, Sulisty<sup>2</sup>, Agus Suprihanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: irfanaryo24@gmail.com

### Abstrak

Tantangan utama dalam pemenuhan kebutuhan energi adalah besarnya permintaan energi global. Sebagian besar kebutuhan energi pasok oleh bahan bakar fosil, tetapi bahan – bahan ini pasokannya sangat terbatas. Hidrogen merupakan salah satu energi terbarukan, namun hidrogen yang terdapat di alam bukan dalam bentuk unsur bebas sehingga harus diolah terlebih dahulu. Salah satu cara untuk mendapatkan hidrogen adalah melalui proses elektrolisis. Salah satu komponen elektrolisis adalah elektroda. Efektivitas elektroda tergantung pada luas permukaan, struktur pori, dan distribusi pori. Pada paper kali ini membahas tentang proses pembuatan elektroda berpori. Proses pembuatan elektroda berpori dilakukan dengan mencampurkan *binder* berupa *polyvinyl alcohol* (PVA) sebesar 4% dari berat total serbuk grafit, lalu dicampur menggunakan *magnetic stirrer* agar campuran serbuk menjadi homogen. Setelah itu campuran serbuk dimasukkan ke dalam cetakan yang berbentuk silinder. Variasi tekanan yang diberikan saat kompaksi sebesar 50 MPa, 75 MPa, dan 100 MPa. Kemudian dilakukan proses *sintering* dengan suhu 1200°C, laju pemanasan 5°C/menit, dan *holding time* selama 1 jam. Nilai porositas elektroda grafit dengan tekanan kompaksi 50 MPa adalah 16,88%, elektroda grafit dengan tekanan kompaksi 75 MPa adalah 11,91%, dan elektroda grafit dengan tekanan kompaksi 100 MPa memiliki nilai porositas sebesar 5,58%.

**Kata kunci:** elektroda; grafit; dan porositas

### Abstract

*The main challenge in meeting energy needs is the large global energy demand. Most of the energy needs are supplied by fossil fuels, but these materials are in very limited supply. Hydrogen is one of the renewable energies, but hydrogen that is found in nature is not in the form of free elements so it must be processed first. One way to get hydrogen is through the electrolysis process. One component of electrolysis is the electrode. The effectiveness of the electrode depends on the surface area, pore structure, and pore distribution. In this paper, we discuss the process of making porous electrodes. The process of making porous electrodes is carried out by mixing a binder in the form of polyvinyl alcohol (PVA) at 4% of the total weight of graphite powder, then mixed using a magnetic stirrer so that the powder mixture becomes homogeneous. After that, the powder mixture is put into a cylindrical mold. The pressure variations applied during compaction were 50 MPa, 75 MPa, and 100 MPa. Then the sintering process was carried out with a temperature of 1200°C, heating rate of 5°C/minute, and holding time for 1 hour. The porosity value of the graphite electrode with a compaction pressure of 50 MPa is 16.88%, the graphite electrode with a compaction pressure of 75 MPa is 11.91%, and the graphite electrode with a compaction pressure of 100 MPa has a porosity value of 5.58%.*

**Keywords:** electrode; graphite; and porosity

### 1. Pendahuluan

Tantangan utama dalam memenuhi kebutuhan energi salah satunya adalah mengatasi permintaan energi global yang terus meningkat [1]. Sebagian besar kebutuhan energi pasok oleh bahan bakar fosil, tetapi bahan – bahan ini pasokannya sangat terbatas. Bahan bakar fosil diperkirakan tidak dapat memenuhi permintaan energi yang terus meningkat. Bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi perlahan akan digantikan oleh sumber alternatif. Saat ini penelitian sedang dilakukan pada sistem bahan bakar alternatif dan energi terbarukan [2].

Bentuk bahan bakar alternatif dapat berupa ethanol, *biomass ethane*, ataupun hidrogen. Hidrogen merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang berperan penting sebagai pengganti bahan bakar fosil konvensional [3]. Hidrogen adalah bahan yang tidak beracun, dapat diangkut (*transportable*), bebas emisi dan memiliki reaktivitas tinggi dengan udara [4]. Hidrogen dapat direformasi dari semua jenis air dan alami gas melalui metode elektrolisis [5].

Elektrolisis air adalah salah satu metode produksi gas hidrogen yang ramah lingkungan dan memiliki kemurnian tinggi [6]. Elektrolisis air merupakan proses untuk menghasilkan gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> murni dengan pemanfaatan energi listrik

pada sistem. Elektrolisis air pada dasarnya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik ke air melalui dua buah elektroda (Katoda dan Anoda) [7]. Namun jika arus yang diberikan terlalu besar maka hasil dari proses akan berupa uap air [8]. Arus listrik dialirkan melalui listrik searah (DC) lalu akan terbentuk gas oksigen di anoda sementara gas hidrogen terbentuk di katoda [9].

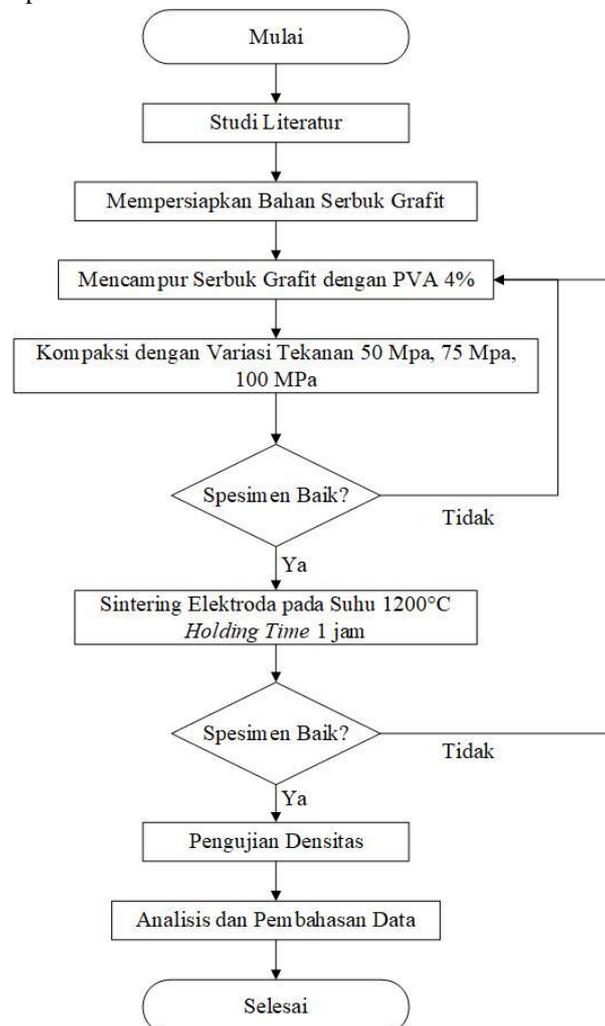
Karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektrokimia seperti proses elektrolisis. Pemakaian elektroda berbahan grafit dipilih dikarenakan harga yang murah, bahan dasar yang mudah didapat dari berbagai jenis bahan alam, mudah dalam mensintesa, bisa di peroleh dalam bentuk bubuk, fiber/serat, dan komposit, luas permukaan yang besar dan porinya yang bisa diatur [10]. Sebagai alotropik dari karbon, grafit memiliki struktur kristal heksagonal. Basis dari struktur kristal grafit adalah bidang grafen atau lapisan karbon. [11].

Kapasitansi elektroda tergantung pada luas permukaan, struktur pori, dan distribusi pori [12]. Secara umum porositas elektroda merupakan faktor penting yang mempengaruhi kinerja elektrokimia, karena pori-pori yang dapat dicapai dan saling berhubungan menentukan keefektifan proses interkalasi / de-interkalasi ion [13]. Densitas elektroda yang lebih tinggi akan menghasilkan luas permukaan material aktif yang lebih rendah. Fraksi volume elektrolit (atau porositas) berkurang dengan meningkatnya kepadatan elektroda. Selain itu, porositas yang rendah memiliki efek yang memperburuk transpor elektrolit [14].

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan serbuk grafit yang kemudian ditambahkan *binder* berupa *polyvinyl alcohol* sebesar 4% dari massa serbuk yang digunakan. Setelah serbuk grafit, dan *binder* dicampur dilakukan proses kompaksi dengan tekanan 50 Mpa, 75 Mpa, dan 100 Mpa. Selanjutnya dilakukan sintering dengan suhu 1200°C *holding time* 1 jam dengan kenaikan suhu 5°C per menit. Kemudian dilakukan pengukuran dimensi elektroda dan dilakukan pengujian densitas. Langkah akhir penelitian ini adalah pengambilan kesimpulan dan saran. Proses pengujian mengacu pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## 2.2 Proses Persiapan dan Pengontrolan Serbuk

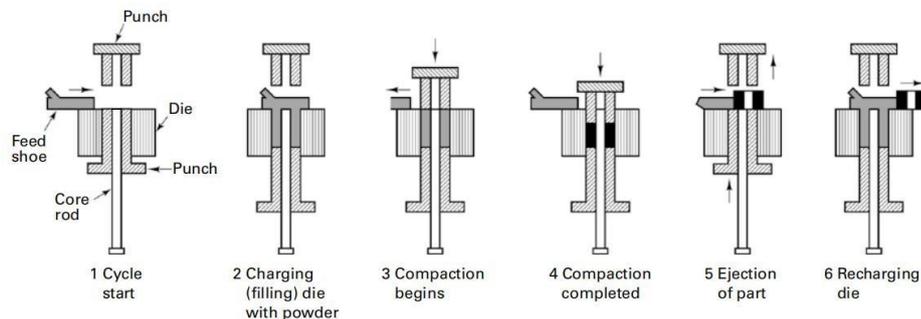
Material berbentuk serbuk perlu dilakukan proses pengayakan (sieving). Pengayakan (sieving) merupakan pemisahan berbagai campuran partikel padatan yang mempunyai berbagai ukuran bahan dengan menggunakan ayakan [15]. Pengayakan juga berguna untuk mendapatkan material dengan ukuran yang seragam.

Jarang sekali satu jenis serbuk akan memiliki semua karakteristik yang diinginkan dalam proses pembuatan produk tertentu. Kemungkinan besar, bahan awal akan menjadi campuran dengan serbuk lainnya yang memiliki ukuran atau komposisi yang berbeda. Selain itu juga dilakukan penambahan pelumas atau pengikat (*binder*). Jenis *binder* yang digunakan pada penelitian kali ini adalah polivinil alkohol (PVA).

Polivinil alkohol (PVA) adalah polimer sintetik dengan struktur kimia yang relatif sederhana yang memiliki keunggulan tidak beracun, hidrofilik, larut dalam air, dan kapasitas pembentukan film dan biokompatibilitas yang sangat baik. Oleh karena itu, PVA telah digunakan sebagai bahan pengental dan gelasi, bahan pelapis, perekat, penstabil dispersi dalam aplikasi industri, dan serat berbasis PVA dapat digunakan dalam perancah jaringan, membran, dan pelepasan obat. PVA memiliki kekuatan tarik tinggi, fleksibilitas yang cukup besar, dan sifat mekanik yang sangat baik [16].

## 2.3 Proses Kompaksi

Secara garis besar terdapat 3 teknik untuk membentuk spesimen yaitu kompaksi, ekstrusi, dan penekanan isostatik [17]. Kompaksi adalah proses dimana serbuk ditekan dan dipadatkan menjadi bentuk yang dikenal sebagai *green compact*, biasanya dilakukan pada suhu kamar. Densitas produk yang tinggi dan keseragaman densitas itu di seluruh spesimen umumnya merupakan karakteristik yang diinginkan. Selain itu, *mechanical interlocking* partikel harus memberikan kekuatan yang cukup untuk penanganan dalam proses pengangkutan ke tungku *sintering*. Kebanyakan kompaksi dilakukan dengan pengepres mekanis, tetapi pengepres hidraulik dan hibrid (kombinasi mekanis, hidraulik, dan pneumatik) juga dapat digunakan [18]. Gambar 2 menunjukkan proses kompaksi.



Gambar 2. Proses Kompaksi [18]

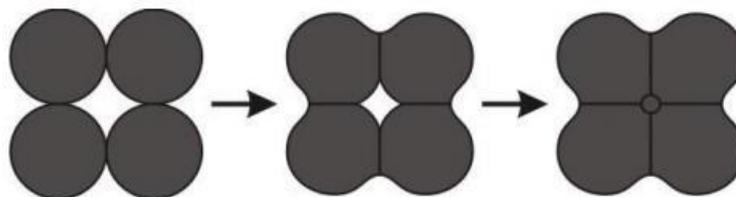
Pada penelitian kali ini tekanan yang digunakan pada proses kompaksi elektroda grafit adalah 50 Mpa, 75 Mpa, dan 100 Mpa. Sebelum melakukan kompaksi, terlebih dahulu merancang dan membuat cetakan elektroda grafit.

## 2.4 Sintering

*Sintering* adalah suatu proses pembakaran setelah melalui proses pencetakan dimana terjadi proses penggabungan partikel-partikel serbuk melalui peristiwa difusi pada saat suhu meningkat sehingga diperoleh suatu produk yang kuat dan lebih padat [19]. *Sintering* merupakan salah satu langkah pada proses produksi, dimana kualitas suatu produk sangat ditentukan sekali pada tahap ini.

Dalam proses *sintering* terjadi penghilangan pori-pori partikel bahan, penyusutan komponen, dan diikuti oleh pertumbuhan *grain* serta peningkatan ikatan antar partikel yang berdekatan sehingga menghasilkan bahan yang lebih mampat/kompak. Proses *sintering* dapat berlangsung apabila adanya perpindahan materi diantara butiran yang disebut proses difusi. Adanya sumber energi yang dapat mengaktifkan transfer materi, energi tersebut digunakan untuk menggerakkan butiran hingga terjadi kontak dan ikatan yang sempurna.

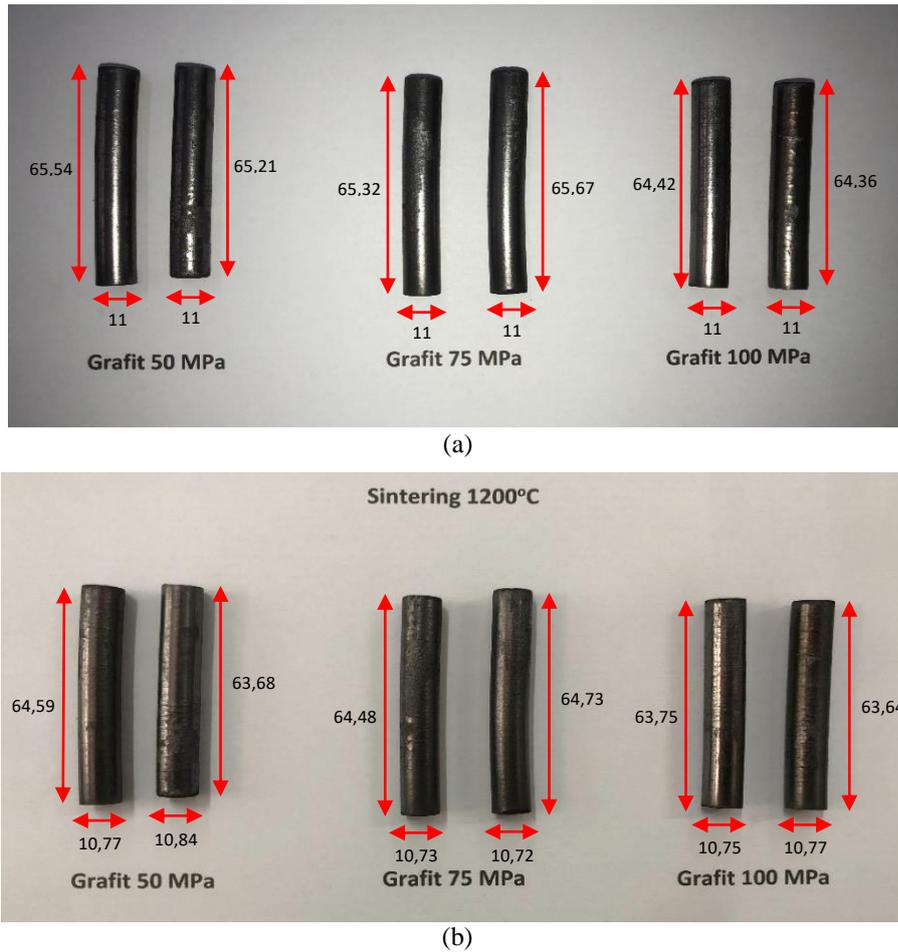
Suhu *sintering* mempengaruhi proses penyusutan, sedangkan pengaruh waktu *sintering* tidak banyak. Hal ini dinyatakan oleh Richerson seperti terlihat pada Gambar 3. *Sintering* umumnya dapat terjadi di dalam produk pada suhu yang tidak melebihi dari setengah sampai dua pertiga dari suhu – nya [20].



Gambar 3. Perubahan struktur mikro pada saat sintering [19]

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Pengukuran Spesimen Sebelum dan Setelah Sintering



**Gambar 4.** (a) Elektroda Sebelum *Sintering* (b) Elektroda Setelah *Sintering*

Gambar 4 menunjukkan perubahan dimensi elektroda grafit sebelum dan setelah proses *sintering* pada suhu 1200°C. Dapat diketahui jika tidak terjadi perubahan warna yang terjadi pada spesimen elektroda setelah proses *sintering* dan sebelum proses *sintering*. Selanjutnya dilakukan pengukuran dimensi pada elektroda untuk mengetahui perubahan dimensi yang terjadi pada elektroda sebelum dan sesudah proses *sintering*. Tabel 1 merupakan pengukuran dimensi elektroda sebelum dan setelah dilakukan proses *sintering*.

**Tabel 1.** Dimensi Elektroda Sebelum Dan Setelah Proses *Sintering*

No.	Jenis Elektroda	Keterangan	Panjang Sebelum Sintering (mm)	Panjang Setelah Sintering (mm)	Diameter Sebelum Sintering (mm)	Diameter Setelah Sintering (mm)
1.	Grafit 50 MPa	Spesimen 1	65,54	64,59	11	10,77
		Spesimen 2	65,21	63,68	11	10,84
2.	Grafit 75 MPa	Spesimen 1	65,32	64,48	11	10,73
		Spesimen 2	65,67	64,73	11	10,72
3.	Grafit 100 MPa	Spesimen 1	64,42	63,75	11	10,75
		Spesimen 2	64,36	63,64	11	10,77

Berdasarkan data pada Tabel 2 terdapat penyusutan dimensi pada spesimen yang telah dilakukan proses *sintering*. Proses *sintering* mengakibatkan air akan menguap dan akan meninggalkan rongga kosong yang sebelumnya di isi oleh air yang kemudian akan menyebabkan terbentuknya pori dan difusi atom [21]. Binder PVA (*polyvinil alcohol*) mendidih

pada suhu 228°C [22], dan PVA akan terbakar habis pada pada suhu 950°C. PVA yang menguap akan meninggalkan void dan terjadi difusi sehingga meningkatkan densitasnya. Proses ini akan menyebabkan perubahan dan penyusutan dimensi spesimen.

### 3.2 Pengujian Densitas

Secara umum, jika nilai densitas meningkat maka nilai porositas akan menurun. Hal ini disebabkan karena saat tekanan suatu padatan meningkat, butiran akan bergerak dan bergeser untuk mencapai pengepakan yang lebih padat. Lebih banyak kekuatan akan dikenakan pada kontak butir [24]. Pengujian dilakukan di Laboratorium Material Teknik Undip. Untuk lebih jelasnya hasil pengujian porositas dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Densitas

No.	Material	Tekanan Kompaksi	Densitas Teoritis	Densitas Pengujian	Persentase Densitas	Persentase Porositas
1.	Grafit	50 MPa	2,2136	1,84	83,12%	16,88%
2.	Grafit	75 MPa	2,2136	1,95	88,09%	11,91%
3.	Grafit	100 MPa	2,2136	2,09	94,42%	5,58%

Berdasarkan Tabel 2 diketahui porositas elektroda grafit dengan tekanan kompaksi 50 MPa adalah 16,88%. Kemudian elektroda grafit dengan tekanan kompaksi 75 MPa terjadi perubahan nilai porositas spesimen elektroda menjadi 11,91%. Untuk elektroda grafit dengan tekanan kompaksi 100 MPa nilai porositas rata-rata spesimen elektroda menjadi 5,58%. Penambahan tekanan kompaksi akan menurunkan nilai porositas [24].

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Terjadi perubahan dimensi pada elektroda grafit setelah melalui proses sintering disebabkan terjadinya difusi atom.
2. Porositas tertinggi yang didapatkan adalah 16,88% pada elektroda grafit dengan tekanan kompaksi 50 MPa. Dan porositas terendah 5,58% pada elektroda grafit dengan tekanan kompaksi 100 MPa. Semakin tinggi tekanan kompaksi maka porositas akan semakin rendah.

### 5. Daftar Pustaka

- [1] Hosseini, S. E., Andwari, A. M., Wahid, M. A., & Bagheri, G., 2013, "A Review On Green Energy Potentials In Iran," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 533-545.
- [2] Ishaq, H., & Dincer, I., 2020, "Comparative Assessment Of Renewable Energy- Based Hydrogen Production Methods," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110192.
- [3] Owusu, P. A., Sarkodie, S. A., 2016, "A Review of Renewable Energy Source, Sustainability Issues and Climate Change Mitigation." *Cogent Engineering*, 3:1, 1167990.
- [4] Elitzur, S., Rosenband, V., Gany, A., 2014, "Study of Hydrogen Production and Storage Based on Aluminum-Water Reaction," *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(12) 6328-6334.
- [5] Singh, V., Muroyama, H., Matsui, T., Hashigami, S., Inagaki, T., Eguchi, K., 2015, "Feasibility of Alternative Electrode Materials for High Temperature CO<sub>2</sub> Reduction on Solid Oxide Electrolysis Cell," *Journal of Power Sources*, 293, 642-648.
- [6] Kumar, S. S., & Himabindu, V., 2019, "Hydrogen production by PEM water electrolysis—A review," *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 442-454.
- [7] Wahyono, Y., Sutanto, H., & Hidayanto, E., 2017, "Produksi gas hydrogen menggunakan metode elektrolisis dari elektrolit air dan air laut dengan penambahan katalis NaOH," *Youngster Physics Journal*, 6(4), 353-359.
- [8] Widyatama, A. P., 2017, "Rancang Bangun Proses Produksi Gas Hidrogen (H<sub>2</sub>) Melalui Elektrolisis Air Menggunakan Buck Converter Berbasis Mikrokontroler Arduino," Tugas Akhir, Program Studi Elektronika Industri, Departemen Teknik Elektro Otomasi, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [9] Fazlunnazar, M., Hakim, L., Meriatna, Sulhatun, & Aminullah, M. M., 2020, "Produksi Gas Hidrogen Dari Air Laut Dengan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Tembaga Dan Alumunium (Cu Dan Al)," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 85-100.

- [10] Tetra, O. N., Aziz, H., Emriadi, Ibrahim, S., Alif, A., 2018, "Review: Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif dan Larutan Ionik Sebagai Elektrolit," *Jurnal Zarah*, 6(1), 39-46.
- [11] Hardiyanti, H., Pribadi, S., & Setiawan, J. (2016). Karakterisasi Densitas Grafit Sebagai Kandidat Bahan Reaktor Temperatur Tinggi. *PIN Pengelolaan Instalasi Nuklir*, 9(16).
- [12] Taspika, M. (2015). Pembuatan Elektroda Kapasitor Karbon Berpori Dari Tempurung Kemiri (Aleurites Moluccana) Sebagai Sistem Capacitive Deionization. *Jurnal Fisika Unand*, 4(2). Tetra, O. N. (2018). Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif Dan Larutan Ionik Sebagai Elektrolit. *Jurnal Zarah*, 6(1), 39-46.
- [13] Yermukhambetova, A., Berkinova, Z., & Golman, B. (2019). Characterization of porous structure of graphite electrode with different packing densities. *Materials Today: Proceedings*, 18, 487-493.
- [14] Smekens, J., Gopalakrishnan, R., Steen, N. V. D., Omar, N., Hegazy, O., Hubin, A., & Van Mierlo, J. (2016). Influence of electrode density on the performance of Li-ion batteries: experimental and simulation results. *Energies*, 9(2), 104.
- [15] Kusnanto, A. L. (2017). *Perancangan Mesin Pengayak Sisa Flux Pada Pengelasan SAW Menggunakan Dua Lantai Saringan Dengan Air Vibrator Kapasitas 215 Kg/Jam* (Doctoral dissertation, University of Muhammadiyah Malang).
- [16] He, Z., Xia, Z., Hu, J., Ma, L., & Li, Y. (2019). Thermodynamic Properties Of Polyvinyl Alcohol Binder Of Electrically Controlled Solid Propellant. *Journal of Polymer Research*, 26(9), 1-8.
- [17] Pierson, H. O. (1993). *Handbook Of Carbon, Graphite, Diamonds And Fullerenes: Processing, Properties And Applications*. William Andrew.
- [18] Black, J. T., & Kohser, R. A., 2020, "DeGarmo's materials and processes in manufacturing," John Wiley & Sons.
- [19] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G., 2011, "Materials science and engineering: an introduction (Vol. 8)," New York: Wiley.
- [20] Ramlan, R., Bama, A.A., 2011, "Pengaruh suhu dan waktu sintering terhadap sifat bahan porselen untuk bahan elektrolit padat (komponen elektronik)." *Jurnal Penelitian Sains*, 14(3).
- [21] Sulistyono. (2018). Dampak Proses Sintering Material Keramik pada Sifat Mekanik dan Dimensi Suatu Produk. *ROTASI*, 20(4), 244-248.
- [22] Aslam, M., Kalyar, M. A., & Raza, Z. A., 2018, "Polyvinyl Alcohol: A Review Of Research Status And Use Of Polyvinyl Alcohol Based Nanocomposites," *Polymer Engineering & Science*, 58(12), 2119-2132.
- [23] Castagna, J.P., Batzle, M.L., and Kan, T.K. 1993. Rock physics—the link between rock properties and AVO response. In *Offset-Dependent Reflectivity—Theory and Practice of AVO Analysis*, ed. P. Castagna and M.M. Backus, No. 8, 124–157. Tulsa, Oklahoma: Investigations in Geophysics series, Society of Exploration Geophysicists.
- [24] Prabowo, A., Ahmad, F., & Komalasar, 2019, "Pengaruh Penambahan Pati Jagung Pada Pembuatan Prototipe Tulang Menggunakan Metode Starch Consolidation". *Jom FTEKNIK*, 6(2), 1-6.