

# ANALISIS KARAKTERISTIK I-V ELEKTRODA SUPERKAPASITOR BERBASIS KARBON AKTIF ECENG GONDOK (EICHORNIA CRASSIPES) DENGAN JENIS AKTIVATOR KIMIA

## I-V CHARACTERISTIC ANALYSIS OF WATER HYACINTH (EICHORNIA CRASSIPES) ACTIVATED CARBON BASED SUPERCAPACITOR ELECTRODE WITH CHEMICAL ACTIVATOR TYPE

Silo Palerius Tuloi<sup>1</sup>, Farly Reynol Tumimomor<sup>2</sup>, Jeilen Nikita Gabriela Nusa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universitas Negeri Manado,  
Jl. Kampus Unima, Tonsaru,  
Kec. Tondano Sel, Minahasa,  
Indonesia  
paleriusilan@gmail.com

<sup>2</sup>Universitas Negeri Manado,  
Jl. Kampus Unima, Tonsaru,  
Kec. Tondano Sel, Minahasa,  
Indonesia  
farlytumimomor@unima.ac.id

<sup>3</sup>Universitas Negeri Manado,  
Jl. Kampus Unima, Tonsaru,  
Kec. Tondano Sel, Minahasa,  
Indonesia  
jeilennusa@unima.ac.id

### ABSTRACT

To meet the urgent future energy needs, and the demand for sustainable and renewable energy resources continues to increase, electrical energy storage devices such as supercapacitors are an alternative for biomass-based electrical energy utilization. In this study, water hyacinth samples have been successfully modified into activated carbon from KOH and NaOH activators as supercapacitor electrodes. Chemical activation process using KOH solution concentrations of 3 M, 5 M, 7 M and NaOH 3 M, 5 M, 7 M, with physical activation using a furnace at 750°C produces a voltage with each concentration of 3 M, 5 M, and 7 M KOH of 1.235 V, 1.637 V, 1.715 V current 12.01 mA, 9.59 mA, 6.76 mA and 3, 5 M, and 7 M NaOH 1.012 V, 1.516 V, 1.625 current 10.59 mA, 9.53 mA, 6.09 mA which shows that there is a difference in the value of voltage and electric current in supercapacitor electrodes, with KOH samples with concentrations of 3 M, 5 M, and 7 M, overall KOH is better than the type of activator NaOH. So it can be concluded that the type of activator has a characteristic influence on the voltage and electric current in supercapacitor electrodes.

**Keywords:** Supercapacitor, Electrode, Activated Carbon, chemical activation, Voltage-Current

## 1. PENDAHULUAN

Untuk memenuhi kebutuhan energi masa depan yang mendesak, dan permintaan untuk sumber daya energi yang berkelanjutan dan terbarukan terus meningkat, sebagai akibat dari penurunan pasokan bahan bakar fosil yang cepat dan peningkatan pencemaran lingkungan yang semakin memburuk, telah mendorong penelitian intensif tentang perangkat konversi dan penyimpanan energi baru terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi mendesak di masa depan<sup>[1]</sup> Kemajuan aspek industri di Indonesia menyebabkan banyaknya permintaan akan keperluan sehari-hari. Pemanfaatan biomassa yang ada di alam dapat menghasilkan produk-produk unggulan. Salah satu produk yang biasa digunakan untuk bahan asal pembuatan karbon aktif diantaranya batang kayu karet, kulit ubi, kulit pisang, batok kelapa, bambu, sabut kelapa, dan eceng gondok<sup>[2]</sup>

Piranti penyimpan energi seperti superkapasitor adalah salah satu contoh penggunaan energi alternatif. Jika dibandingkan dengan kapasitor dan baterai, superkapasitor memiliki banyak keunggulan. Ini termasuk kapasitas penyimpanan muatan yang lebih besar, rapat daya yang besar, waktu pengisian yang lebih pendek, dan waktu hidup yang lebih lama<sup>[3]</sup>

Bahan karbon biasanya digunakan sebagai elektroda untuk superkapasitor. Karena luas permukaannya yang besar, harganya yang terjangkau, dan ketersediaannya yang luas, karbon aktif telah banyak digunakan sebagai elektroda superkapasitor Eceng gondok merupakan gulma di air karena pertumbuhannya yang begitu cepat. Karena pertumbuhan yang cepat, maka eceng gondok dapat menutupi permukaan air dan menimbulkan masalah pada lingkungan<sup>[4]</sup>Selain merugikan karena cepat menutupi permukaan air, eceng gondok ternyata juga bermanfaat untuk menyerap zat organik,

anorganik, dan logam berat. Kandungan dalam eceng gondok memiliki selulosa yang tinggi sebesar 60%. hemiselulosa 8% dan lignin 17%, dari kandungan selulosa tersebut yang eceng gondok mampu menyerap kandungan logam berat dalam suatu perairan. Selain itu tanaman eceng juga mengandung 15-18% serat, 17,2% protein kasar dan 16-20% abu yang terdiri dari beberapa komponen seperti; kalsium, kalium, belerang, karbon, dan mangan. Sehingga banyak penelitian yang melakukan uji pemanfaatan eceng gondok untuk mengurangi kandungan logam berat dalam suatu perairan, larutan maupun limbah. Sebagai media penyerapan yang baik, banyak penelitian yang melakukan merubah eceng gondok sebagai karbon aktif dengan beberapa proses aktivasi sehingga menghasilkan karbon aktif yang mampu menyerap logam berat dengan lebih optimal<sup>[5]</sup>

Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan limbah eceng gondok yang menjadi permasalahan lingkungan perairan khususnya. Karbon aktif yang dihasilkan dari eceng gondok dengan aktivator kimia menunjukkan bahwa bahan ini tidak hanya memiliki aplikasi praktis tetapi juga bermanfaat bagi lingkungan. Dalam penelitian lain, eceng gondok juga diolah menggunakan KOH sebagai aktivator. Proses ini dimulai dengan memasak eceng gondok dalam larutan KOH untuk meningkatkan jumlah selulosa sebelum dikarbonisasi. Hasilnya menunjukkan bahwa karbon aktif yang dihasilkan memiliki kapasitas adsorpsi yang baik<sup>[6]</sup>. Perbandingan antara aktivasi menggunakan KOH dan NaOH dalam pembuatan karbon aktif dari eceng gondok. Menunjukkan bahwa kedua aktivator dapat meningkatkan luas permukaan dan porositas karbon aktif secara signifikan. Namun, KOH memberikan hasil yang lebih baik dalam hal kapasitas adsorpsi dibandingkan dengan NaOH, menunjukkan bahwa jenis aktivator berpengaruh besar terhadap karakteristik akhir dari karbon aktif<sup>[7]</sup>. Karakteristik I-V menunjukkan bagaimana arus (I) yang mengalir melalui elektroda dan tegangan (V) yang diterapkan berhubungan satu sama lain<sup>[8]</sup>. Pengukuran ini menunjukkan kemampuan superkapasitor untuk menyimpan energi, efisiensi pengisian dan pengosongan, dan perilaku elektroda dalam berbagai kondisi operasi. Karakteristik I-V dari elektroda superkapasitor berbasis karbon aktif memberikan informasi krusial tentang performa perangkat tersebut. Melalui analisis I-V, peneliti dapat mengevaluasi efisiensi penyimpanan energi, kapasitansi spesifik, serta potensi aplikasi dalam berbagai teknologi penyimpanan energi<sup>[9]</sup> Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan bahan dan proses produksi agar menghasilkan superkapasitor dengan kinerja tinggi dan efisiensi maksimal, analisis jenis aktivator kimia dari bahan karbon eceng gondok perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, baik itu dari karakteristik bahan, sifat fisis bahan dan lainnya. Sehingga peneliti memfokuskan penelitian ini untuk menjadikan karbon aktif dari eceng gondok dengan variasi jenis aktivator kimia untuk mengidentifikasi lebih lanjut terkait sifat tegangan dan arus listrik pada elektroda superkapasitor.

## 2. METODE PENELITIAN

### Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Mei sampai Oktober 2024 di Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, dan Kebumihan, Universitas Negeri Manado.

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah oven pengering *Memmert*, *furnace*, *vortex mixer*, pH meter digital, multimeter digital, timbangan kimia analitik, pipet tetes dan *magnetic stirrer with heater*, *mortar and pestle*, spatula, batang pengaduk, ayakan 100 *mesh*, pipet ukur 1-50 mL, *laboratory funnel* 75 mm, gelas beker 50-500 mL, gelas ukur 10-50 mL, pompa vakum, labutakar 500 mL, botol *reagen* 250 mL, botol semprot 500 mL, *crucible porcelain* 50 mL.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah adalah eceng gondok (*eichhornia crassipes*) sebagai bahan baku yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif yang sudah teraktivasi KOH 3 M, 5 M, 7 M, dan NaOH 3 M, 5 M, 7 M. Sedangkan bahan yang digunakan untuk proses aktivasi fisik dan kimia sampai pembuatan elektroda superkapasitor adalah KOH (kalium hydroxide) dan NaOH (natrium hydroxide) Pro-Analysis, akuades, alkohol 70%, larutan elektrolit KOH 1 M dan NaOH 1 M aluminium foil, kertas saring *Whatman*, lem *merican epoxy steel black*, bubuk PTFE, serta kaca akrilik.

### **Pembuatan karbon aktif**

Pada tahap ini sampel eceng gondok (*eichhornia crassipes*) dibersihkan dengan *cleanwater* untuk menghilangkan kotoran dan debu yang menempel pada sampel. kemudian dilakukan pengeringan dalam oven pengering dengan suhu 100°C selama 24 jam. Setelah bahan baku kering, eceng gondok dihaluskan sampai menjadi serbuk<sup>[10]</sup>.

Terlebih dahulu, eceng dilanjutkan pencucian sampel dengan cara dicuci menggunakan air bersih dengan pH 7, yang selanjutnya dilakukan pengeringan sampel menggunakan alat Oven Pengering *Memmert* pada suhu 80°C selama 12 jam<sup>[11]</sup>.

Setelah sampel kering dilanjutkan dengan proses karbonisasi menggunakan furnace. Suhu karbonisasi diberikan perlakuan variasi suhu dari 450° C selama 1 Jam dengan laju pemanasan 10° C/menit <sup>[12]</sup>. Proses karbonisasi ini dilakukan untuk mengubah sampel eceng gondok menjadi karbon dan selanjutnya menganalisa karbonisasi karakteristik I-V pada elektroda superkapasitor. Sampel yang sudah melewati proses karbonisasi dihaluskan menggunakan mortar dan disaring menggunakan ayakan 100 mesh.

Sampel yang sudah disaring kemudian dilakukan proses aktivasi. Proses aktivasi dibagi menjadi dua yaitu proses aktivasi kimia dan fisika. Proses aktivasi kimia dilakukan dengan cara sampel karbon eceng gondok sebanyak 10 gram direndam dalam 500 mL larutan KOH 3M, 5M, 7M, dan NaOH dengan konsentrasi larutan yang sama yaitu 3M, 5M, 7M lalu sampel disimpan dalam oven pada suhu 60°C selama 4 jam. Setelah 4 jam, sampel disaring menggunakan alat pompa vakum dan kemudian dimasukkan dalam *furnace* pada suhu 750°C untuk sampel KOH dan NaOH selama 2 jam untuk aktivasi fisika. Selanjutnya sampel dicuci dan disaring sampai mencapai pH 7 menggunakan akuades<sup>[13]</sup> dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 12 jam<sup>[14]</sup>

### **Fabrikasi Elektroda Superkapasitor dan Pengukuran I-V**

Proses pembuatan elektroda prototype superkapasitor menggunakan campuran homogen 7:2:1 karbon aktif, bubuk PTFE, lem epoxy steel hitam (10wt%) *ONEMED* dengan alkohol 70% sebanyak 50 mL sebagai media percampuran menggunakan magnetic stirrer with heater selama 1 jam sehingga sampel berubah menjadi pasta yang homogen.

Siapkan kolektor arus yang terbuat dari aluminium foil berukuran 5 × 5 cm lalu oleskan sampel yang sudah berbentuk pasta sampai permukaan menjadi rata, sampel elektroda lalu diberikan larutan elektrolit KOH 1M dan NaOH 1M sebanyak 3 tetes dan disusun dengan separator dari kertas penyaring *whatman* yang berukuran 5,5 × 5,5 cm dan diberikan larutan elektrolit sebanyak 1 tetes pada separator lalu disusun lagi dengan elektroda dan untuk cover body menggunakan kaca akrilik berukuran 5 × 5 cm<sup>[9]</sup>. Kemudian sampel-sampel tersebut dilakukan pengukuran tegangan dan arus listrik.

Dalam penelitian ini, data diambil dari hasil uji sampel elektroda superkapasitor. Data yang dikumpulkan meliputi hasil pengukuran tegangan dan arus listrik oleh superkapasitor. Sebelum

pengukuran tegangan listrik dilakukan, superkapasitor diisi selama 10 menit menggunakan *power supply DC to DC* dengan tegangan sebesar 3 V dan arus 0,6 A.

### Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data

Data yang diambil pada eksperimen laboratorium yang dilakukan menghasilkan karbon aktif dari eceng gondok yang telah teraktivasi konsentrasi larutan KOH 3M, 5M, 7M dan NaOH 3M, 5M, 7M. Serta dilakukan analisis data dari masing-masing sampel dengan mengukur tegangan dan arus listrik output dari elektroda superkapasitor.

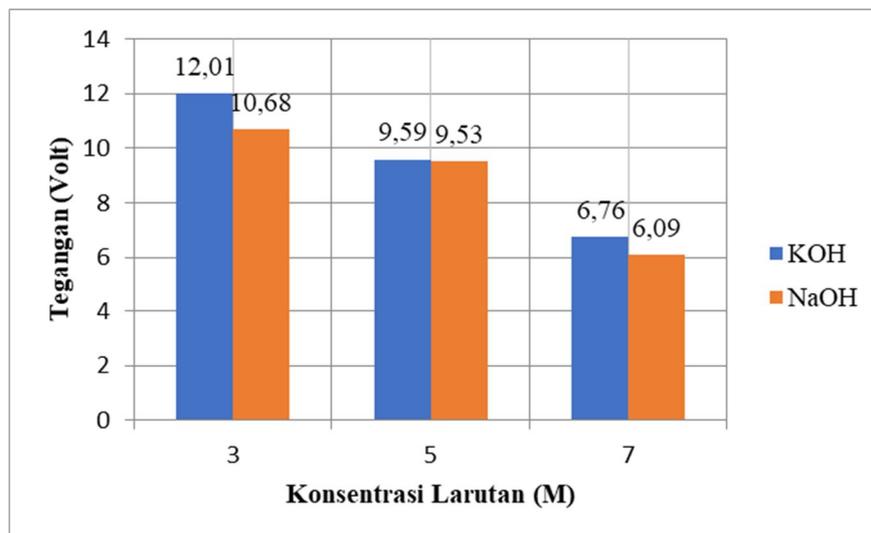
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tegangan Listrik

**Tabel 1.** Hasil Uji Tegangan Pada Superkapasitor

Percobaan ke - ...	Jenis Aktivator Kimia	Konsentrasi Larutan (M)	Tegangan (V)
1	KOH	3	1,235
2		5	1,637
3		7	1,715
4	NaOH	3	1,012
5		5	1,516
6		7	1,625

Tabel 1 di atas menunjukkan bahwa pengukuran tegangan listrik pada superkapasitor dilakukan menggunakan alat Multimeter Digital, dengan satuan nilai yang diperoleh adalah volt (V).



**Gambar 1** Grafik Nilai Tegangan Superkapasitor KOH-NaOH

Hasil Tabel 1 dan Gambar 1 di atas dapat dilihat bahwa nilai tegangan yang dihasilkan superkapasitor mengalami peningkatan pada masing-masing sampel KOH dan NaOH, dengan konsentrasi 3 M, 5 M, dan 7 M. Dari hasil penelitian, jenis aktivator KOH dan NaOH dengan aktivasi fisika dalam *furnace* pada suhu 750°C masing-masing dengan konsentrasi 3 M, 5 M, dan 7 M, mempunyai nilai tegangan sebesar KOH 1,235 V, 1,637 V, 1,715 V dan NaOH 1,012 V, 1,516 V, 1,625 V.

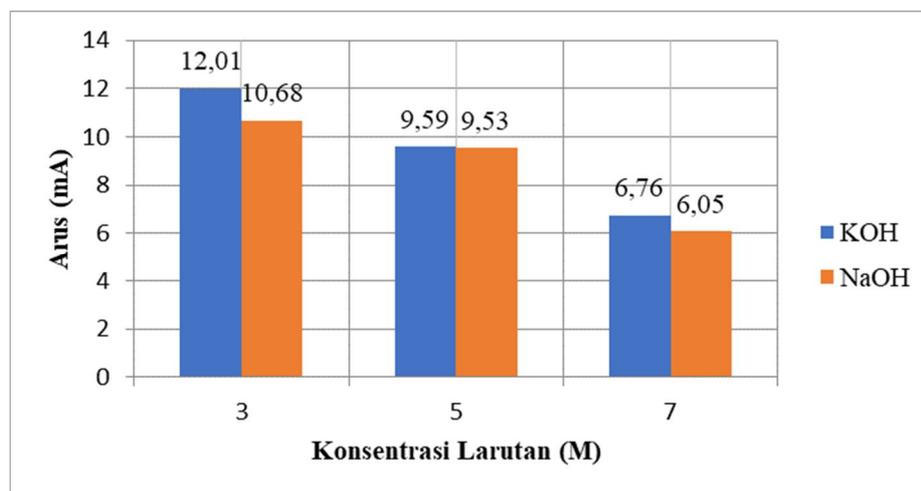
Tegangan listrik pada superkapasitor dipengaruhi oleh metode dan jenis aktivator karbon, karena aktivator yang digunakan dalam proses pembuatan karbon aktif dapat mempengaruhi bentuk pori, luas permukaan, dan sifat elektrokimia dari elektroda berbasis karbon aktif. Pada penelitian ini digunakan aktivator jenis KOH dan NaOH dengan masing-masing tegangan yang dihasilkan sebesar 1,235 V, 1,637 V, 1,715 V dan 1,012 V, 1,516 V, 1,625. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa superkapasitor dengan tegangan tertinggi secara keseluruhan konsentrasi ada di sampel dengan jenis aktivator KOH dibandingkan dengan aktivator jenis NaOH. Itu karena KOH merupakan aktivator kimia yang sangat efektif dalam menciptakan pori-pori pada karbon aktif yang meningkatkan luas permukaan. Dengan struktur berpori yang lebih baik, karbon aktif yang diaktivasi oleh KOH dapat menyimpan lebih banyak ion, yang menghasilkan kapasitansi yang lebih besar. Tegangan yang besar menunjukkan bahwa superkapasitor tersebut memiliki kapasitas yang lebih besar untuk menyimpan energi<sup>[15]</sup>

## Arus Listrik

**Tabel 2.** Hasil Uji Arus Superkapasitor

Percobaan ke - ...	Jenis Aktivator Kimia	Konsentrasi Larutan (M)	Arus (mA)
1	KOH	3	12,01
2		5	9,59
3		7	6,76
4	NaOH	3	10,68
5		5	9,53
6		7	6,05

Tabel 2 di atas menunjukkan bahwa pengukuran arus listrik pada superkapasitor dilakukan menggunakan alat Multimeter Digital, dengan satuan nilai yang diperoleh adalah milliampere (mA).



**Gambar 2.** Grafik Nilai Arus Superkapasitor KOH-NaOH

Berdasarkan data Tabel 2 dan Gambar 2 di atas menunjukkan bahwa jenis aktivator memiliki perbedaan signifikan terhadap arus listrik yang dihasilkan oleh superkapasitor, dari jenis aktivator ini dapat mempengaruhi kualitas dan karakteristik Arus listrik dari material karbon aktif dengan metode yang digunakan pada superkapasitor. Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan jenis aktivator, arus listrik yang dihasilkan masing-masing aktivator kimia, dengan kalium hidroksida (KOH) memiliki nilai arus listrik 3 M, 5 M, dan 7 M, sebesar 12,01 mA, 9,59 mA, 6,76 mA, secara keseluruhan KOH

lebih baik dibandingkan dengan natrium hidroksida (NaOH) yang memiliki nilai arus sebesar 10,68 mA, 9,53 mA, 6,09 mA. Jenis aktivator kalium hidroksida (KOH) dan natrium hidroksida (NaOH) mempengaruhi proses perpindahan elektron karena struktur karbon memiliki tingkat absorpsi yang lebih tinggi. Jenis aktivator ini juga mengubah ukuran dan distribusi pori dalam karbon aktif sehingga cenderung menghasilkan pori yang lebih banyak dan besar, meningkatkan luas permukaan spesifik dan kapasitas penyimpanan ion, yang secara langsung meningkatkan kapasitas penyimpanan muatan dan arus listrik. Jenis aktivator kalium hidroksida (KOH). Menurut<sup>[16]</sup> aktivasi dengan kalium hidroksida memberikan hasil yang lebih baik daripada natrium hidroksida dalam hal luas permukaan dan kinerja pada aplikasi yang berbeda. Selain itu, karbon aktif dengan kalium hidroksida (KOH) lebih baik dalam absorpsi dari pada aktivator NaOH, dan lain-lainya.

#### 4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, sampel eceng gondok telah berhasil di modifikasi menjadi karbon aktif dari jenis aktivator KOH dan NaOH sebagai elektroda superkapasitor. Proses aktivasi kimia menggunakan larutan KOH dan NaOH 3 M, 5 M, 7 M dengan aktivasi fisika menggunakan *furnace* pada suhu 750°C menghasilkan tegangan masing-masing KOH sebesar 1,235 V, 1,637 V, 1,715 V arus 12,01 mA, 9,59 mA, 6,76 mA dan NaOH 1,012 V, 1,516 V, 1,625 arus 10,68 mA, 9,53 mA, 6,09 mA yang menunjukkan bahwa adanya perbedaan nilai tegangan dan arus listrik pada superkapasitor, dengan sampel yang paling bagus di tunjukkan pada sampel dengan jenis aktivator KOH. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi jenis aktivator memiliki karakteristik tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh superkapasitor.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada dosen pembimbing dan mahasiswa yang penititan tentang superkapasitor serta berbagai pihak yang senantiasa membantu dan mendukung selama penelitian ini berlangsung sampai proses publikasi ini selesai.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Q. Wang, J. Yan, and Z. Fan, "Carbon materials for high volumetric performance supercapacitors: Design, progress, challenges and opportunities," *Energy Environ. Sci.*, vol. 9, no. 3, pp. 729–762, 2016, doi: 10.1039/c5ee03109e.
- [2] E. Taer, A. Ira, S. Sugianto, and R. Taslim, "Pengaruh Jenis Aktivator Kimia Terhadap Densitas Dan Kapasitansi Spesifik Elektroda Karbon Aktif Dari Serbuk Gergaji Kayu Karet," vol. V, pp. SNF2016-MPS-79-SNF2016-MPS-84, 2016, doi: 10.21009/0305020215.
- [3] M. C. R. Ko'tz, "Principles and applications of electrochemical capacitors," vol. 45, pp. 2483–2498, 2000, doi: 10.1057/9780230503014.
- [4] R. Ratnani, I. Hartati, and L. Kurniasari, "Pemanfaatan Eceng Gondok Untuk menurunkan Kandungan COD, pH Bau dan warna pada limbah cair tahu," *J. Momentum*, vol. 7, no. 1, pp. 41–47, 2011.
- [5] F. I. Nuria, M. Anwar, and D. Y. Purwaningsih, "Pembuatan Karbon Aktif dari Enceng Gondok," *JNuria, F.I., Anwar, M. Purwaningsih, D.Y. 'Pembuatan Karbon Aktif dari Enceng Gondok', J. Tecnoscienza, 5(1), pp. 37–48.urnal Tecnoscienza*, vol. 5, no. 1, pp. 37–48, 2020.
- [6] N. Fanani and I. Fitri Ulfindrayani, "Sintesis Dan Karakterisasi Karbon Aktif Dari Limbah Bambu Menggunakan Aktivator Asam Pospat (H 3 Po 4 )," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap.*, pp. 741–745, 2019.
- [7] M. Nurhadi, G. A. Oktaviani, H. Kusumawati, and N. Hidayah, "PENGARUH AKTIVASI DAN MASSA PADA KARBON ECENG GONDOK ( *Eichhornia crassipe*) TERHADAP

- KEMAMPUAN DEGRADASI METHYLENE BLUE,” *Pros. Semnas KPK*, vol. 2, pp. 39–42, 2019.
- [8] M. Chairani and A. Putra, “Sintesis dan Karakterisasi Elektroda Superkapasitor Berbasis Karbon Aktif Limbah Kulit Nanas,” *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 8, no. 2, pp. 20044–20055, 2024.
- [9] M. Ismail, “KARAKTERISASI SUPERKAPASITOR DENGAN PEMODELAN RANGKAIAN R-C TIGA CABANG,” 2019.
- [10] F. Kurniawan *et al.*, “Carbon microsphere from water hyacinth for supercapacitor electrode,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 47, pp. 197–201, 2015, doi: 10.1016/j.jtice.2014.10.002.
- [11] Y. Qiao, C. Zhang, F. Kong, Q. Zhao, A. Kong, and Y. Shan, “Activated biochar derived from peanut shells as the electrode materials with excellent performance in Zinc-air battery and supercapacitance,” *Waste Manag.*, vol. 125, pp. 257–267, 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2021.02.057.
- [12] L. Pandey *et al.*, “Fabrication of activated carbon electrodes derived from peanut shell for high-performance supercapacitors,” *Biomass Convers. Biorefinery*, vol. 13, no. 8, pp. 6737–6746, 2023, doi: 10.1007/s13399-021-01701-9.
- [13] W. Kang *et al.*, “Peanut bran derived hierarchical porous carbon for supercapacitor,” *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 29, no. 8, pp. 6361–6368, 2018, doi: 10.1007/s10854-018-8615-1.
- [14] N. Yadav, M. K. Singh, N. Yadav, and S. A. Hashmi, “High performance quasi-solid-state supercapacitors with peanut-shell-derived porous carbon,” *J. Power Sources*, vol. 402, no. June, pp. 133–146, 2018, doi: 10.1016/j.jpowsour.2018.09.032.
- [15] J. M. Lim *et al.*, “Advances in high-voltage supercapacitors for energy storage systems: materials and electrolyte tailoring to implementation,” *Nanoscale Adv.*, vol. 5, no. 3, pp. 615–626, 2023, doi: 10.1039/d2na00863g.
- [16] Z. Heidarinejad, M. H. Dehghani, M. Heidari, G. Javedan, I. Ali, and M. Sillanpää, “Methods for preparation and activation of activated carbon: a review,” *Environ. Chem. Lett.*, vol. 18, no. 2, pp. 393–415, 2020, doi: 10.1007/s10311-019-00955-0.