

KARAKTERISTIK KARBON AKTIF BERBASIS LIMBAH PELEPAH KELAPA DENGAN VARIASI KONSENTRASI KOH SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

CHARACTERISTICS OF ACTIVATED CARBON BASED ON COCONUT FROND WASTE WITH VARIATIONS OF KOH CONCENTRATION AS SUPERCAPACITOR ELECTRODE MATERIAL

Ariel Javi Kimbal¹, Heindrich Taunaumang², Farly R. Tumimomor³,
Alfrie M. Rampengan⁴, Ishak Pawarangan⁵

¹Program Studi Fisika,
Fakultas Matematika, Ilmu
Pengetahuan Alam dan
Kebumihan, Universitas Negeri
Manado, Kabupaten
Minahasa, 95618, Indonesia
arielkimbal11@gmail.com

²⁻⁵Jurusan Fisika, Fakultas
Matematika, Ilmu
Pengetahuan Alam dan
Kebumihan, Universitas Negeri
Manado, Kabupaten
Minahasa, 95618, Indonesia

ABSTRACT

The current energy needs are increasing due to technological advances and the increasing number of technology users. So, to solve this problem, it is necessary to make major changes and energy renewal by using alternative energy. One of the utilization of alternative energy is energy storage devices such as supercapacitors. In this study, a test was carried out on the activation of coconut stem waste as a supercapacitor electrode with variations in KOH electrolyte, namely 6M, 7M, 8M which produced voltages of 1.254 V, 1.187 V, 1.105 V and produced currents of 87.2 mA, 46.52 mA, 25.38 mA respectively. Based on the results of the study, it showed a decrease in the concentration of electrolytes 6M, 7M, 8M. So it can be concluded that different electrolytes have a significant effect on the voltage and electric current values produced by the supercapacitor electrodes.

Keywords: Supercapacitor, activated carbon, electrode, KOH solution concentration, coconut frond

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi saat ini meningkat akibat dari kemajuan teknologi dan peningkatan jumlah pengguna teknologi. Saat ini, bahan fosil seperti minyak bumi dan batu-bara adalah sumber energi yang paling banyak digunakan. Seiring dengan jumlah penduduk yang semakin meningkat menyebabkan cadangan bahan bakar minyak semakin menipis, terutama bahan bakar fosil yang tidak dapat didaur ulang. Salah satunya adalah energi listrik. Energi listrik telah menjadi kebutuhan penting bagi masyarakat di seluruh dunia dan telah memiliki pengaruh yang signifikan pada hampir semua bidang kehidupan. Jadi, untuk menyelesaikan masalah ini, perlu melakukan perubahan besar dan pembaharuan energi dengan menggunakan energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil. Pemanfaatan energi alternatif ini salah satunya adalah divais penyimpanan energi seperti superkapasitor.

Superkapasitor adalah kapasitor yang memiliki kapasitansi besar yang menggabungkan sifat kapasitor dan baterai menjadi satu perangkat. Baterai dan superkapasitor keduanya bergantung pada proses elektrokimia. Superkapasitor menyimpan energi listrik sebagai muatan secara langsung, sementara baterai menyimpan energi listrik dalam senyawa kimia yang mampu menghasilkan muatan^[1]. Superkapasitor memiliki rapat energi dan daya yang jauh lebih besar dari pada baterai. Oleh karena itu, sebagai piranti penyimpan energi, superkapasitor akan menjadi pilihan yang ideal^[2]. Superkapasitor memiliki waktu pengisian - pengosongan yang cepat dan umur yang panjang^[3]. Superkapasitor memiliki banyak keuntungan, seperti banyaknya siklus pengisian (>100000 siklus), efek struktur pori terhadap kerapatan energi yang tinggi, kemampuan menyimpan energi yang besar, prinsip yang sederhana, dan konstruksi yang mudah. Karena ketiadaan bahan korosif dan toksik, superkapasitor sangat aman bagi pengguna^[4]. Kontruksi *Double Layer* Superkapasitor terdiri dari sepasang elektroda yang diisi dengan elektrolit dan dipisahkan oleh bahan dielektrik isolasi. Elektroda

terdiri dari bahan semikonduktor seperti karbon. Elektrolit dapat berupa cairan atau non-cairan tergantung pembuatan superkapasitornya. Di sisi lain, separator terbuat dari membran, yang menghilangkan ion-ion yang saling bertukar dari elektroda positif dan negative^[5]. Dibandingkan dengan perangkat penyimpanan muatan lainnya, superkapasitor memiliki masa pakai lebih lama. Dibandingkan dengan baterai atau kapasitor elektrolitik, Superkapasitor memiliki kepadatan energi yang lebih tinggi dan kepadatan daya yang lebih tinggi serta volume dan berat yang lebih kecil. Superkapasitor memiliki siklus hidup yang panjang dibandingkan baterai, hingga 500.000 kali lipat^[6].

Karbon aktif merupakan salah satu bahan yang sering di gunakan untuk pembuatan baterai, superkapasitor dan absorben. Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah mengalami proses karbonasi dan aktivasi untuk meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Karbonisasi adalah pemanasan bahan baku dalam kondisi vakum dan pada suhu tinggi. Sebaliknya, Aktivasi adalah proses pemutusan rantai karbon untuk membuka pori, meningkatkan volume, dan memperkecil diameter pori. Karbon aktif adalah salah satu bahan yang paling umum digunakan dalam pembuatan baterai^[7]. Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon. Karbon Aktif memiliki luas permukaan (*surface area*) sebesar $1,95 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$, dengan total volume pori-pori sebesar $10,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ mg}^{-1}$, dan diameter rata-rata $21,6 \text{ \AA}$ ^[8]. Karbon aktif Banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektro kimia sebagai bahan elektroda. Hal ini disebabkan oleh harganya yang terjangkau, bahan dasar yang mudah didapat dari berbagai jenis bahan alam, mudah disintesis, tersedia dalam bentuk bubuk, serat, fiber, atau komposit, dan memiliki luas permukaan yang besar dan pori yang dapat disesuaikan^[9]. Karbon karbon ini dapat dihasilkan dari biomassa residu atau limbah, yang merupakan bahan baku alternatif murah. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk memanfaatkan bahan limbah menjadi karbon akti sebagai elektroda superkapasitor seperti, pelepah kelapa sawit, kulit pisang^[10], kulit singkong^[11]. Inilah tujuan mengapa peneliti tertarik membuat karbon aktif dari bahan limbah pelepah kelapa agar limbah alam yang tercemar dapat bermanfaat dan berkurangnya pencemaran dari limbah organik.

Limbah organik Pelepah Kelapa merupakan limbah yang melimpah di daerah Provinsi Sulawesi Utara, namun belum dimanfaatkan secara efektif. Pelepah kelapa yang banyak terdapat di Sulawesi Utara kini sedang diteliti oleh PLN UPPK Minahasa menjadi biomassa cofiring di PLTU Amurang. Dari hasil penelitian awal, pelepah kepala yang diteliti ini berpotensi untuk menjadi biomassa karena memiliki nilai kalor yang cukup tinggi. Limbah pelepah kelapa dapat digunakan untuk menghasilkan produk bernilai tinggi melalui konversi biokimia atau termokimia dan dapat dilakukan dengan mengubah limbah padat menjadi arang aktif melalui proses karbonisasi dan aktivasi^[12]. Jika limbah pelepah yang bernilai rendah dapat diubah menjadi karbon yang dapat digunakan untuk membuat elektroda superkapasitor, masalah pengolahan dan pembuangan limbah dalam jumlah besar dapat diatasi. Fokus penelitian ini adalah penggunaan pelepah kelapa sebagai bahan dasar untuk melakukan aktivasi karbon dari bahan limbah tersebut menggunakan larutan KOH dengan variasi konsentrasi larutan. Penggunaan larutan KOH sebagai aktivator dipilih karena memiliki sifat kimia yang dapat meningkatkan kemampuan mekanik dari karbon aktif.

Karakteristik I-V (arus-tegangan) pada superkapasitor sangat penting untuk memahami bagaimana perangkat ini berperilaku di bawah berbagai kondisi operasi. Grafik I-V dari superkapasitor biasanya akan menunjukkan kurva hubungan linier antara arus dan tegangan, namun dengan beberapa deviasi yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti ESR dan arus bocor. Menurut menjelaskan penurunan eksponensial arus bocor setelah penerapan tegangan DC bertahap dan menunjukkan perbedaan yang signifikan antara elektroda yang berbeda. Kurva karakteristik arus-tegangan (I-V) juga menunjukkan perbedaan, di mana arus puncak pada pembebanan maksimum 5 V adalah 5,1 nA untuk sampel dengan elektroda Ag, 138,9 nA untuk elektroda Au, dan 13,5 μA untuk elektroda Pt seperti yang terlihat di gambar 2.2. Selain itu, terdapat puncak arus redoks yang jelas pada sekitar 4 V pada

sampel LLTO/Pt dan puncak yang kabur pada sampel LLTO/Au pada sekitar 2 V, yang mengindikasikan adanya reaksi elektrokimia antara elektroda LLTO dan Pt/Au. Perbedaan ini disebabkan oleh reaksi redoks yang terjadi di antarmuka kontak Schottky antara elektroda dan sampel.

Selain itu, penelitian ini memberikan gambaran proses aktivasi karbon pada bahan limbah organik dan penerapannya pada pengolahan limbah pelepah kelapa. Pemanfaatan pelepah kelapa sebagai bahan baku utama karbon aktif tentunya menjadi permasalahan dalam penelitian dan pengembangan karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor. Pengaruh perubahan konsentrasi larutan KOH limbah pelepah kelapa kering terhadap proses aktivasi karbon masih perlu diteliti. Oleh karena itu, dalam penelitian ini peneliti fokus pada proses aktivasi karbon dari limbah organik pelepah kelapa kering yang dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi larutan KOH terhadap densitas karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor.

2. METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam dan Kebumihan, Universitas Negeri Manado. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus sampai November 2024.

Alat dan Bahan yang digunakan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Kursebel 50 ml, Ovenpengering, *Furnace*, *Magnetic Stirrer with heater*, peralatan penggiling, ayakan 100 mesh, pipet 5 ml, gelas beker 50-500 ml, labu takar 500 ml, pH meter, LCR meter, batang pengaduk, reactor pirolisis, *vortex mixer*, timbangan kimia analitik, spatula atau sendok, mortar, dan LAQUA *conductivity meter*.

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah Pelepah Kelapa sebagai bahan baku, dan bahan yang digunakan untuk proses aktivasi sampai pembuatan elektroda superkapasitor adalah KOH Pro-Analis, MnO₂, akuades, alkohol 70%, larutan elektrolit 6M, membran PTFE, plastik acrylic, aluminium foil.

Pembuatan Karbon Aktif

Pada tahap pra-Karbonisasi, sampel pelepah kelapa dibersihkan dari kotoran yang menempel dicuci dengan *clean water*/ air bersih, kemudian dilakukan pengeringan pemurnian menggunakan alat Oven Pengering *Memmert* pada suhu 100°C selama 12 jam. Proses ini bertujuan untuk mengeringkan atau menghilangkan kadar air pada bahan baku. Setelah Bahan baku kering, pelepah kelapa dipotong – potong menjadi kecil.

Setelah dipotong – potong, dilanjutkan dengan proses karbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu 500°C selama 2 jam^[13] Proses karbonisasi ini dilakukan untuk mengubah sampel pelepah kelapa menjadi karbon. Sampel yang sudah melewati proses karbonisasi dihaluskan menggunakan mortar dan disaring menggunakan ayakan 100 mesh. Kemudian, Sampel yang sudah disaring dilakukan proses aktivasi. Proses aktivasi dibagi menjadi dua yaitu proses aktivasi kimia dan fisika. Proses aktivasi kimia dilakukan dengan cara sampel pelepah kelapa sebanyak 10 gram direndam dalam 500 mL larutan KOH 6M, 7M, 8M lalu disimpan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam.

Selanjutnya, setelah 24 jam, sampel disaring menggunakan alat pompa vakum dan kemudian dimasukkan dalam *furnace* pada suhu 750°C selama 2 jam untuk aktivasi fisika. Setelah itu sampel dicuci dan disaring sampai mencapai pH 7 menggunakan akuades^[14] dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 12 jam.

Fabrikasi Elektroda Superkapasitor dan Pengukuran I-V

Elektroda dibuat dengan sampel karbon aktif ditimbang sebanyak 0,7 gram lalu dicampur bubuk PTFE sebanyak 0,2 gram, dan lem besi sebanyak 0,1 gram, dengan *ONEMED* alcohol 70% sebanyak 50 mL sebagai media pencampuran menggunakan *stirrer with heater* selama 1 jam. Setelah 1 jam di *stirrer*, nyalakan *heater* sampai sampel berubah menjadi pasta yang homogen. Sampel yang berbentuk pasta kemudian dilapisi diatas permukaan kolektor arus yang terbuat dari aluminium foil berukuran 5×5 cm, dan disusun dengan separator yang terbuat dari tissue makan berukuran $5,5 \times 5,5$ cm dan cover body yang terbuat dari kaca akrilik berukuran 5×5 cm. Kedua elektroda sebelumnya diberikan larutan elektrolit KOH 6M^[15] sebanyak 3 tetes menggunakan alat pipet dan diseparator sebanyak 1 tetes.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran arus dan tegangan listrik pada masing-masing sampel elektroda superkapasitor. Sebelum melakukan pengukuran tegangan dan arus listrik pada superkapasitor dilakukan proses pengisian, pada proses pengisian dilakukan secara paralel selama 3 menit menggunakan *power supply DC* dengan tegangan sebesar 3V dan arus 0,6 A.

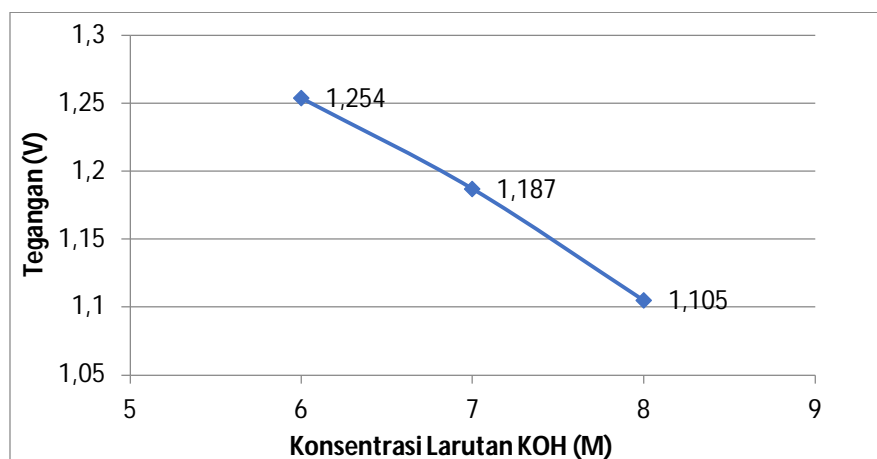
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tegangan Listrik

Tabel 1. "Hasil Uji Tegangan Pada Superkapasitor"

No	Konsentrasi Aktivator KOH	Tegangan (V)
1.	6 M	1,254
2.	7 M	1,187
3.	8 M	1,105

Tabel 1 menunjukkan bahwa hasil pengukuran Tegangan Listrik pada Superkapasitor menggunakan alat Multimeter Digital dengan nilai satuan yang didapat adalah Volt (V).



Gambar 1. Grafik Nilai Tegangan Superkapasitor Terhadap Konsentrasi Larutan KOH

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 1 menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi larutan KOH yang berbeda memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai dari tegangan listrik yang dihasilkan oleh elektroda superkapasitor. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa, pada konsentrasi larutan 6 M nilai tegangan listrik yang dihasilkan adalah 1,254 V, Pada Konsentrasi larutan 7 M nilai

tegangan listrik yang dihasilkan mulai menurun 1,187 V Pada Konsentrasi larutan 8 M nilai tegangan listrik menurun sampai 1,105 V.

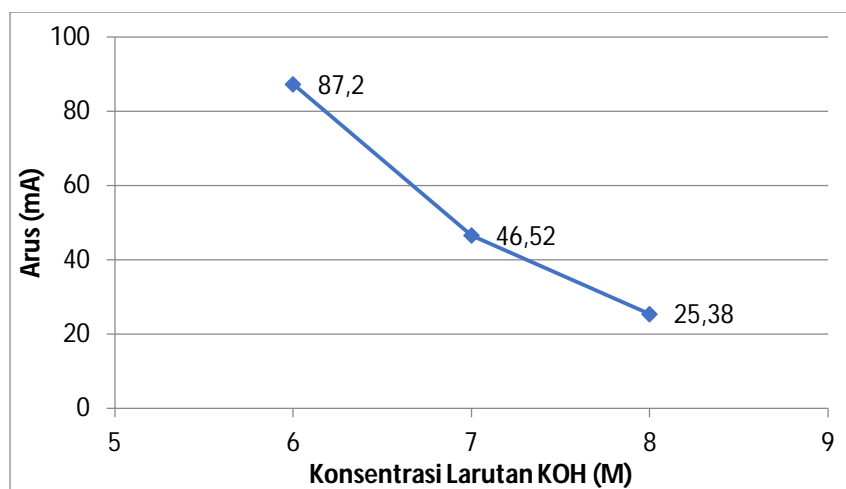
Berdasarkan hasil menunjukkan bahwa sampel dengan perlakuan konsentrasi aktivator kimia 6 M, 7 M dan 8 M mengalami penurunan tegangan listrik pada superkapasitor. Itu dikarenakan tingginya konsentrasi aktivator kimia dapat menyebabkan penguraian yang berlebihan pada karbon aktif, yang berdampak pada pengurangan ketahanan elektroda. Jika struktur elektroda melemah, ini akan menghambat transfer muatan di dalam superkapasitor, yang mengakibatkan penurunan tegangan saat proses pengisian dan pengosongan. Larutan elektrolit yang semakin banyak juga akan merusak karbon pada kertas karbon, dan juga separator karena lapisan tipis dapat mengalami perubahan bentuk (swelling)^[16].

Arus Listrik

Tabel 2. “Hasil Uji Arus Pada Superkapasitor”

No	Konsentrasi Aktivator KOH	Arus (mA)
1.	6 M	87,2
2.	7 M	46,52
3.	8 M	25,38

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



Gambar 2. Grafik Nilai Arus Superkapasitor terhadap Konsentrasi Larutan KOH

Berdasarkan data Tabel 2 dan Gambar 2 menunjukkan elektrolit yang berbeda memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai arus listrik yang dihasilkan oleh elektroda superkapasitor. Arus listrik pada superkapasitor berkaitan langsung dengan jumlah muatan yang dilepaskan atau dihasilkan selama pengisian dan pelepasan muatan. Dalam percobaan ini, arus yang dihasilkan oleh superkapasitor dengan variasi elektrolit KOH didapatkan sebagai berikut: pada konsentrasi 6M arus listrik yang dihasilkan cukup tinggi yaitu 87,2 mA, namun pada konsentrasi 7M arus listrik yang dihasilkan mulai menurun menjadi 46,52 mA dan pada konsentrasi 8M arus listrik yang dihasilkan menurun mencapai 25,38 mA.

Berdasarkan hasil menunjukkan adanya penurunan arus listrik pada superkapasitor. Proses aktivasi kimia pada karbon aktif berujuan untuk meningkatkan luas permukaan dan jumlah pori untuk menyimpan ion. Namun, jika konsentrasi aktivasi kimia terlalu tinggi dapat terjadi pengikisan yang berlebihan pada struktur karbon, yang berpotensi menyebabkan struktur pori menjadi tidak stabil atau rusak. Struktur pori yang tidak stabil ini akan mengurangi kemampuan menyimpan ion secara efektif, sehingga kapasitas penyimpanan muatan menurun, yang dapat menyebabkan arus listrik pada superkapasitor menurun. Aktivasi kimia yang kuat juga dapat menyebabkan terbentuknya gugus-gugus oksigen seperti $-OH$ dan $-COOH$ pada permukaan karbon. Gugus-gugus ini bisa meningkatkan kapasitas elektroda, tetapi pada konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan reaksi sampingan seperti oksidasi atau penguraian selama proses aktivasi. Reaksi ini cenderung mengkonsumsi muatan, sehingga mengurangi arus dan tegangan efektif yang dihasilkan pada superkapasitor. Sama halnya pada pengukuran tegangan larutan elektrolit yang semakin banyak juga akan merusak karbon pada kertas karbon, dan juga separator karena lapisan tipis dapat mengalami perubahan bentuk (swelling)^[16].

4. KESIMPULAN

Pada saat proses aktivasi menggunakan variasi elektrosit KOH, 6M, 7M, dan 8M menghasilkan tegangan masing masing 1,254 V, 1,187 V, 1,105 V dan arus 87,2 mA, 46,52 mA, 25,38 mA. Berdasarkan pada hasil penelitian ini menunjukkan bahwa adanya penurunan yang signifikan hal ini disebabkan tingginya konsentrasi aktivator kimia dapat menyebabkan penguraian yang berlebihan pada karbon aktif, yang berdampak pada pengurangan ketahanan elektroda. Karna Jika struktur elektroda melemah, ini akan menghambat transfer muatan di dalam superkapasitor, yang mengakibatkan penurunan tegangan saat proses pengisian dan pengosongan. Serta jika konsentrasi aktivasi kimia terlalu tinggi dapat terjadi pengikisan yang berlebihan pada struktur karbon, yang berpotensi menyebabkan struktur pori menjadi tidak stabil atau rusak. Struktur pori yang tidak stabil ini akan mengurangi kemampuan menyimpan ion secara efektif, sehingga kapasitas penyimpanan muatan menurun, yang dapat menyebabkan arus listrik pada superkapasitor menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Tumimomor, A. Maddu, and G. Pari, "Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Bambu Sebagai Elektroda Superkapasitor," *J. Ilm. Sains*, vol. 17, no. 1, p. 73, 2017, doi: 10.35799/jis.17.1.2017.15802.
- [2] A. Riyanto, "Superkapasitor Sebagai Piranti Penyimpan Energi Listrik Masa Depan," *J. Ilm. Pendidik. Fis. Al-Biruni*, vol. 3, no. 2, pp. 56–63, 2014, doi: 10.24042/jpifalbiruni.v3i2.73.
- [3] N. NURHASMIA, "Studi Penggunaan Superkapasitor Sebagai Media Penyimpan Energi," *Progress. Phys. J.*, vol. 2, no. 2, p. 79, 2021, doi: 10.30872/ppj.v2i2.770.
- [4] Xian Jian *et al.*, "Carbon-Based Electrode Materials for Supercapacitor: Progress, Challenges and Prospective Solutions," *J. Electr. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 75–87, 2016, doi: 10.17265/2328-2223/2016.02.004.
- [5] D. Dahlan, N. Sartika, Astuti, E. L. Namigo, and E. Taer, "Effect of TiO₂ on duck eggshell membrane as separators in supercapacitor applications," *Mater. Sci. Forum*, vol. 827, pp. 151–155, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.827.151.
- [6] G. Gautham Prasad, N. Shetty, S. Thakur, Rakshitha, and K. B. Bommegowda, "Supercapacitor technology and its applications: A review," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 561, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/561/1/012105.
- [7] P. Febriyanto, J. Jerry, A. W. Satria, and H. Devianto, "Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Berbahan Baku Limbah Kulit Durian Sebagai Elektroda Superkapasitor," *J. Integr. Proses*, vol. 8, no. 1, p. 19, 2019, doi: 10.36055/jip.v8i1.5439.

- [8] M. S. Dr. Rika, “Pemanafatan Limbah Pelepah Kelapa Sawit Untuk Pembuatan Elektroda Superkapasitor.”
- [9] O. N. Tetra *et al.*, “REVIEW : SUPERKAPASITOR BERBAHAN DASAR KARBON AKTIF DAN LARUTAN IONIK SEBAGAI ELEKTROLIT REVIEW: SUPERKAPASITOR BASED ON ACTIVATED CARBON AND IONIC SOLUTION AS ELECTROLYTE,” vol. 6, no. 1, pp. 39–46, 2018.
- [10] R. Achmad, S. Fauziah, and M. Zakir, “Pembuatan dan Modifikasi Karbon Aktif Pelepah Kelapa Sawit (*Cocus nucifera* L.) Sebagai Adsorben Metilen Biru,” *Indones. J. Pure Appl. Chem.*, vol. 3, no. 2, p. 1, 2021.
- [11] A. Ariyani, P. A. R., E. R. P., and F. R., “PEMANFAATAN KULIT SINGKONG SEBAGAI BAHAN BAKU ARANG AKTIF DENGAN VARIASI KONSENTRASI NaOH DAN SUHU,” *Konversi*, vol. 6, no. 1, p. 7, 2017, doi: 10.20527/k.v6i1.2992.
- [12] T. D. Larasati, A. S. Sanjaya, B. A. V. Agatha, and N. P. Tebay, *Activated Carbon Produced by Carbonization and Chemical Activation of Coconut Frond for Air Batteries*. Atlantis Press International BV, 2023. doi: 10.2991/978-94-6463-180-7_2.
- [13] V. O. Njoku, M. A. Islam, M. Asif, and B. H. Hameed, “Preparation of mesoporous activated carbon from coconut frond for the adsorption of carbofuran insecticide,” *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 2014, doi: 10.1016/j.jaap.2014.08.020.
- [14] M. F. Wu, C. H. Hsiao, C. Y. Lee, and N. H. Tai, “Flexible Supercapacitors Prepared Using the Peanut-Shell-Based Carbon,” *ACS Omega*, vol. 5, no. 24, pp. 14417–14426, 2020, doi: 10.1021/acsomega.0c00966.
- [15] Y. Wang *et al.*, “Hydrothermal synthesis and electrochemical properties of Sn-based peanut shell biochar electrode materials,” *RSC Adv.*, vol. 14, no. 9, pp. 6298–6309, 2024, doi: 10.1039/d3ra08655k.
- [16] H. D. Admin Alif, Olly Norita Tetra, Hermansyah Aziz, “Sebagai Elektroda Superkapasitor,” vol. 5, no. 2, pp. 38–43, 2016.