

# PEMANFAATAN LIMBAH SERABUT KELAPA MUDA SEBAGAI ELEKTRODA KARBON SUPERKAPASITOR DENGAN VARIASI KONSENTRASI AKTIVATOR $ZnCl_2$

Ridho Nopriansyah, Awitdrus\*  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [awitdrus@lecturer.unri.ac.id](mailto:awitdrus@lecturer.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*The chemical activation method is a simple and low-cost activation method that can modify the surface morphology associated with improving the electrochemical properties of supercapacitor cell electrodes. The porous carbon framework was derived from young coconut fiber biomass by optimizing the chemical activation reagent ( $ZnCl_2$ ). Carbon material derived from coconut fiber is a biomass for the application of supercapacitor cell electrodes through the pre-carbonization stage at  $200^\circ C$  for 1 hour 30 minutes, chemical activation using the activating agent  $ZnCl_2$  with various concentrations of 0.1, 0.3, and 0.5 M, the carbonization process uses gas  $N_2$  with a temperature of  $600^\circ C$  and physical activation using  $CO_2$  gas with a temperature of  $750^\circ C$ . The optimum concentration of young coconut fiber-based carbon electrodes is found at a concentration of 0.5 M, which has the highest density shrinkage percentage of 53.11%. X-ray diffraction analysis showed that the sample at a concentration of 0.5 M was amorphous with two wider diffraction angle of  $2\theta$  at an angle of  $24.867^\circ$  and  $44.556^\circ$ , with the lowest  $L_c/L_a$  ratio of 0.3 and an average microcrystalline layer of 2.3. Analysis of electrochemical properties showed that samples at a concentration of 0.5 M has an optimum specific capacitance of 81.84 F/g in the CV.*

**Keywords:** Carbon Electrodes, Chemical Activation, Specific Capacitance, Supercapacitors, Young Coconut Fiber.

## ABSTRAK

*Metode aktivasi kimia merupakan salah satu metode aktivasi yang sederhana dan berbiaya rendah yang dapat merekayasa morfologi permukaan yang berhubungan dengan peningkatan sifat elektrokimia elektroda sel superkapasitor. Kerangka karbon berpori diturunkan dari biomassa serabut kelapa muda dengan pengoptimalan aktivasi kimia ( $ZnCl_2$ ). Material karbon turunan serabut kelapa merupakan biomassa untuk aplikasi elektroda sel superkapasitor melalui tahapan pra-karbonisasi pada suhu  $200^\circ C$  selama 1 jam 30 menit, aktivasi kimia menggunakan agen pengaktif  $ZnCl_2$  dengan variasi konsentrasi 0,1, 0,3, dan 0,5 M, proses karbonisasi menggunakan gas  $N_2$  dengan suhu  $600^\circ C$  dan aktivasi fisika menggunakan gas  $CO_2$  dengan suhu  $750^\circ C$ . Konsentrasi optimum dari elektroda karbon berbasis serabut kelapa muda terdapat pada konsentrasi 0.5 M, yang memiliki persentase penyusutan densitas tertinggi yaitu sebesar 53,11%. Analisis difraksi sinar-X menunjukkan sampel pada konsentrasi 0.5 M bersifat amorf yang memiliki dua sudut difraksi yang lebar  $2\theta$  pada sudut  $24,867^\circ$  dan  $44,556^\circ$ , dengan rasio  $L_c/L_a$  terendah sebesar 0,3 dan rata-rata lapisan mikrokristalin sebesar 2,3. Analisis sifat elektrokimia menunjukkan sampel pada konsentrasi 0,5 M memiliki kapasitansi spesifik optimum sebesar 81,48 F/g pada uji CV.*

**Kata kunci:** Elektroda Karbon, Aktivasi Kimia, Kapasitansi Spesifik, Supercapacitor, Serabut Kelapa muda.

Diterima 05-06-2023 | Disetujui 04-11-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

## PENDAHULUAN

Pasokan energi menjadi salah satu perhatian utama bagi negara-negara di dunia, seperti

halnya Indonesia saat ini. Tingkat penggunaan energi listrik telah meningkat rata-rata 7,1% per tahun selama tahun 2000 – 2025. Tren ini

kemungkinan akan terus berlanjut karena meningkatnya penggunaan energi listrik dalam kehidupan modern [1]. Krisis energi akhir-akhir ini mendorong para peneliti untuk berinovasi menciptakan perangkat yang dapat menyimpan energi dalam jumlah besar dan dapat digunakan dalam waktu yang relatif lama [2].

Era global banyak muncul perbincangan tentang energi, mulai dari sumber energi baru, energi alternatif hingga penyimpanan energi yang semakin hari semakin berkembang. Penyimpanan energi yang digunakan dalam perangkat elektronik sehari-hari adalah baterai dan kapasitor. Baterai dianggap efektif sebagai perangkat penyimpan energi bertegangan rendah sampai saat ini. Baterai akan mengalami penurunan tegangan (*voltage drop*) jika sering digunakan, dan kapasitor konvensional hanya mampu menyimpan energi pada kapasitansi yang kecil [3]. Krisis energi yang terjadi membuat peneliti berinovasi membuat sebuah piranti penyimpanan energi dengan kapasitas penyimpanan yang lebih tinggi dari kapasitor konvensional dan dengan energi yang lebih tinggi dari baterai, yang disebut superkapasitor. Superkapasitor terdiri dari elektroda, elektrolit, pengumpul arus dan pemisah.

Elektroda superkapasitor dapat dibuat dari karbon aktif yang berasal dari biomassa. Pembuatan karbon aktif menggunakan limbah biomassa untuk elektroda superkapasitor sebagai piranti penyimpanan energi sangatlah menjanjikan. Limbah organik memiliki kandungan karbon yang cukup besar, yang dapat dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif berpori. Selain itu juga, menyediakan luas permukaan tinggi, struktur pori alami yang beragam, konduktivitas tinggi, stabilitas termal yang baik, ketersediaannya yang melimpah, harga yang lebih ekonomis dan mempunyai sifat fisika-kimiawi yang sangat baik menjadi salah satu alasan memilih biomassa untuk dijadikan elektroda superkapasitor [4]. Limbah serabut kelapa muda adalah biomassa yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan elektroda karbon berpori pada sel superkapasitor pada penelitian ini. Serabut kelapa dapat dimanfaatkan sebagai

bahan baku pembuatan karbon aktif karena adanya kandungan lignin hemiselulosa dan selulosa yang besar. Kandungan lignin sebanyak 33,5%, hemiselulosa 15,5%, dan selulosa 37,9% [5]. Studi ini difokuskan pada peranan pengaruh konsentrasi aktivasi kimia terhadap penyusutan densitas dan kapasitansi spesifik sel superkapasitor yang dihasilkan.

## METODE PENELITIAN

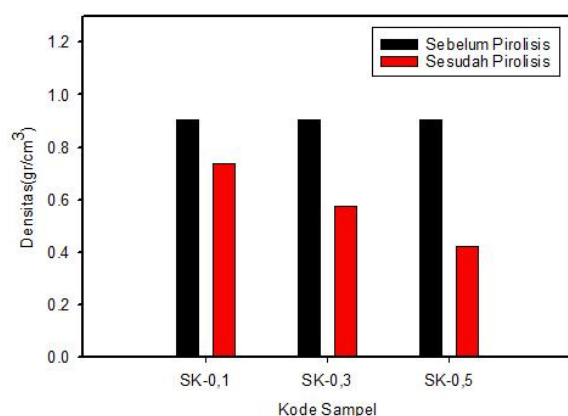
Metode penelitian ini menjelaskan prosedur pembuatan elektroda karbon sel superkapasitor yang berbahan dasar serabut kelapa muda. Serabut kelapa muda dipisahkan dari buahnya dan dijemur dibawah sinar matahari hingga massa konstan. Proses pra-karbonisasi menggunakan oven dengan suhu sebesar 200°C selama 1 jam 30 menit dan sampel dihaluskan menggunakan ball milling selama 24 jam dengan waktu istirahat selama 4 jam. Sampel diayak menggunakan ayakan ukuran 53  $\mu\text{m}$  untuk menyeragamkan ukuran partikel serbuk karbon. Proses aktivasi kimia menggunakan agen pengaktif  $\text{ZnCl}_2$  dengan variasi 0,1, 0,3, dan 0,5 M. Pembuatan pelet dari serbuk karbon menggunakan hydraulic press dengan tekanan sebesar 7,5 ton dan ditahan selama 2 menit. Proses karbonisasi dilakukan dengan cara memanaskan pelet di dalam furnace pada suhu 600°C yang dialiri gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ). Proses aktivasi fisika menggunakan gas Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) pada suhu 750°C. Elektroda karbon direndam menggunakan aquades hingga pH netral. Pembuatan sel superkapasitor dibuat menggunakan beberapa bahan, yaitu elektroda karbon, pengumpul arus, teflon, separator (masker medis lapisan ke-2), dan elektrolit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Masing-masing sampel dilakukan perhitungan densitas dan analisis difraksi sinar-X, serta pengujian sifat elektrokimia menggunakan metode siklik voltametri.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Densitas

Gambar 1 merupakan grafik penyusutan densitas elektroda karbon sebelum dan sesudah

proses pirolisis. Penurunan hasil densitas dipengaruhi oleh penguapan unsur selain karbon yang dapat meningkatkan porositas. Aktivasi konsentrasi agen pengaktif  $ZnCl_2$  yang dilakukan dapat membuat zat pengaktif bereaksi secara langsung dengan karbon, selanjutnya proses aktivasi fisika dengan gas  $CO_2$  mengakibatkan gas bereaksi dengan permukaan elektroda karbon yang mengakibatkan pembentukan pori sehingga menurunkan densitas pada semua sampel [6]. Besarnya densitas setiap sampel SK-0,1, SK-0,3, dan SK-0,5 setelah proses karbonisasi-aktivasi fisika yaitu 0,730, 0,574, dan 0,424  $gr/cm^3$  dengan persentase penyusutan densitas masing-masing yaitu 18,38%, 36,44%, dan 53,11%. SK-0,5 memiliki densitas yang paling rendah dari pada SK-0,1 dan SK-0,3. Konsentrasi 0,5 M merupakan konsentrasi optimum untuk pembentukan pori-pori karbon pada biomassa serabut kelapa muda. Nilai densitas yang semakin kecil akan membuat semakin banyak pori-pori elektroda karbon aktif yang terbentuk sehingga tingkat porositas yang dihasilkan pun semakin besar, dengan demikian penyimpanan muatan pada elektroda akan semakin baik [7].



**Gambar 1.** Grafik penyusutan densitas elektroda karbon.

### Analisis Data Difraksi Sinar-X

Pola difraksi sinar-X yang dihasilkan merupakan pola difraksi terhadap karbon aktif yaitu terdapat 2 puncak landai pada rentang sudut difraksi  $2\theta$  dengan bidang refleksi (002)

dan (100), pada sudut  $22^\circ - 25^\circ$  dan  $42^\circ - 45^\circ$ . Dua puncak landai tersebut mengindikasikan bahwa pada sampel tersebut memiliki struktur karbon amorf [8].

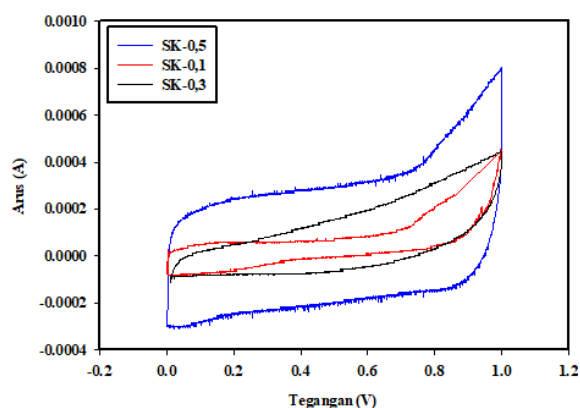
Penambahan konsentrasi aktivator  $ZnCl_2$  dapat menyebabkan perubahan nilai  $L_c$  dan  $L_a$ . Perubahan nilai  $L_c$  dan  $L_a$  tersebut disebabkan terjadi pergeseran jarak antar lapisan pada bidang refleksi (002) dan (100) pada SK-0,1 terdapat jarak antar bidang dari 3,693 nm menjadi 2,053 nm, sedangkan SK-0,5 menunjukkan jarak antar bidang dari 3,578 nm menjadi 2,032 nm. Pergeseran sudut  $2\theta$  ini disebabkan oleh semakin banyaknya impregnasi  $ZnCl_2$  pada sampel SK sehingga terjadilah reaksi karbon dengan reagen kimia yang menghasilkan produk-CO  $ZnOCl$  dan menguapkan lebih banyak senyawa volatile sehingga pori-pori mulai terbentuk dan menyebar secara tidak teratur pada permukaan sampel [9]. Luas permukaan elektroda karbon dipengaruhi oleh nilai  $L_a$  dan  $L_c$ ,  $L_c$  yang lebih rendah diperlukan untuk pembentukan luas permukaan yang tinggi [10]. SK-0,5 juga menunjukkan rasio  $L_c/L_a$  yang lebih rendah, dimana rasio  $L_c/L_a$  menyatakan bahwa elektroda SK memiliki kristalinitas rendah, aromatik, dan ketidakteraturan atom karbon yang tinggi sehingga dapat memfasilitasi pergerakan elektron dan secara bersamaan meningkatkan daya hantar listrik atau konduktivitas. Nilai  $N_p$  yang dihasilkan sampel SK-0,5 juga menunjukkan nilai tertinggi dari kedua sampel, hal ini menunjukkan bahwa pada molaritas 0.5 M  $ZnCl_2$  yang bereaksi dengan karbon saat proses karbonisasi menghasilkan sedikit produk sampingan dan banyak zat pengotor yang menguap, sehingga ada banyak pori yang terbentuk menyebar tidak teratur pada permukaan elektroda SK-0,5. Kondisi ini dapat meningkatkan konduktivitas dari elektrokimia sel superkapasitor [11]. Pada Tabel 1 sampel SK-0,5 memiliki nilai  $L_c$  dan  $L_c/L_a$  yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel SK-0,1 yaitu 8,25 dan 0,3 dan memiliki nilai  $N_p$  tertinggi yaitu 2,3.

**Tabel 1.** Jarak antar bidang dan dimensi mikrokristalin elektroda karbon.

Kode Sampel	2θ		Jarak antar bidang		Dimensi mikrokristalin		$L_c/L_a$	$N_p$
	002	100	$d_{002}$ (nm)	$d_{100}$ (nm)	$L_c$ (nm)	$L_a$ (nm)		
SK-0,1	24,076	44,066	3,693	2,053	8,37	24,82	0,34	2,27
SK-0,5	24,867	44,556	3,578	2,032	8,25	27,93	0,30	2,30

### Analisis Siklik Voltametri

Kurva pengujian siklik voltametri dari sampel SK-0,1, SK-0,3, dan SK-0,5 dengan laju pemindaian 1 mV/s dipaparkan pada Gambar 2. Kurva CV yang dihasilkan mempunyai lengkungan dan mendekati bentuk persegi panjang, dimana bentuk ini merupakan sifat ideal dari superkapasitor lapis ganda elektrokimia (EDLC) [12]. Kurva CV pada SK-0,1 memiliki luas paling kecil dan kurva CV pada SK-0,5 memiliki luas paling besar, hal ini dapat mempengaruhi besarnya nilai kapasitansi spesifik pada sel superkapasitor. Semakin luas kurva CV maka nilai arus pengisian-pengosongan semakin besar, maka kapasitansi spesifik tinggi.

**Gambar 2.** Kurva siklik voltametri.

Nilai kapasitansi spesifik untuk masing-masing sampel SK-0,1, SK-0,3, dan SK-0,5 yaitu 12,38, 36,1, dan 81,48 F/g. Pada kurva setiap sampel terjadinya kenaikan rapat arus yang signifikan. Kenaikan rapat arus ini disebabkan karena kandungan heteroatom yang terdapat pada sampel [13]. Tingginya nilai kapasitansi spesifik pada SK-0,5 disebabkan karena memiliki nilai densitas setelah proses pirolisis paling rendah dari sampel lainnya. Rendahnya nilai densitas dari elektroda karbon

mampu meningkatkan porositas yang mengindikasikan terdapat banyaknya pori-pori dari elektroda karbon. Aktivasi konsentrasi aktivator  $ZnCl_2$  yang dilakukan dapat membuat zat pengaktif bereaksi secara langsung dengan karbon, selanjutnya proses aktivasi fisika dengan gas  $CO_2$  mengakibatkan gas bereaksi dengan permukaan elektroda karbon yang mengakibatkan pembentukan pori sehingga menurunkan densitas pada sampel [6].

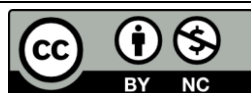
### KESIMPULAN

Hasil dan Pembahasan menunjukkan bahwa konsentrasi 0,5 M merupakan konsentrasi aktivator  $ZnCl_2$  optimum untuk sampel serabut kelapa muda. Konsentrasi 0,5 M mampu menghasilkan elektroda karbon dengan persentase penyusutan densitas tertinggi sebesar 53,11%. Aktivasi kimia aktivator  $ZnCl_2$  0,5 M memiliki nilai  $L_c$  dan  $L_c/L_a$  terendah sehingga mampu meningkatkan luas permukaan dari elektroda karbon. Analisis menggunakan siklik voltametri menunjukkan konsentrasi aktivator  $ZnCl_2$  0,5 M mampu menghasilkan  $C_{sp}$  sebesar 81,84 F/g.

### REFERENSI

1. Tumimomor, F. R., & Palilingan, S. C. (2018). Pemanfaatan karbon aktif dari sabut kelapa sebagai elektroda superkapasitor. *Fullerene Journal of Chemistry*, **3**(1), 13–18.
2. Wang, X., Li, Y., Lou, F., Buan, M. E. M., Sheridan, E., & Chen, D. (2017). Enhancing capacitance of supercapacitor with both organic electrolyte and ionic liquid electrolyte on a biomass-derived carbon. *RSC advances*, **7**(38), 23859–23865.

3. Pasaribu, F. I. (2020). Superkapasitor Sebagai Penyimpan Energi Menggunakan Bahan Graphene. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, **2**(2), 65–72.
4. Wei, Q., Chen, Z., Cheng, Y., Wang, X., Yang, X., & Wang, Z. (2019). Preparation and electrochemical performance of orange peel based-activated carbons activated by different activators. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **574**, 221–227.
5. Lita, A. L., Maulana, A., & Ryswaldi, R. (2022). Characteristics Biochar from Young Coconut Waste based on Particle Size as Améliorant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **959**(1), 012034.
6. Ayinla, R. T., Dennis, J. O., Zaid, H. M., Sanusi, Y. K., Usman, F., & Adebayo, L. L. (2019). A review of technical advances of recent palm bio-waste conversion to activated carbon for energy storage. *Journal of cleaner production*, **229**, 1427–1442.
7. Farma, R., Husni, H., Apriyani, I., Awitdrus, A., & Taer, E. (2021). Biomass waste-derived rubber seed shell functionalized porous carbon as an inexpensive and sustainable energy material for supercapacitors. *Journal of Electronic Materials*, **50**, 6910–6919.
8. Awitdrus, A., Hanifa, Z., Agustino, A., Taer, E., & Farma, R. (2022). Perbandingan larutan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan KOH pada kinerja elektrokimia bahan elektroda berbasis karbon aktif sabut kelapa muda. *Jurnal Litbang Industri*, **12**(1), 15–20.
9. Hor, A. A., & Hashmi, S. A. (2020). Optimization of hierarchical porous carbon derived from a biomass pollen-cone as high-performance electrodes for supercapacitors. *Electrochimica Acta*, **356**, 136826.
10. Deraman, M., Daik, R., Soltaninejad, S., Nor, N. S. M., Awitdrus, Farma, R., ... & Othman, M. A. R. (2015). A new empirical equation for estimating specific surface area of supercapacitor carbon electrode from X-ray diffraction. *Advanced Materials Research*, **1108**, 1–7.
11. Farma, R., Maurani, S. F., Apriyani, I., & Rini, A. S. (2021). Fabrication of Carbon Electrodes from Sago Midrib Biomass with Chemical Variation for Supercapacitor Cell Application. *Journal of Physics: Conference Series*, **2049**(1), 012054.
12. Hanifa, Z., & Awitdrus, A. (2022). Pembuatan Elektroda Karbon dari Biomassa Sabut Kelapa Muda dengan Aktivator KOH Sebagai Aplikasi Sel Supercapacitor. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **19**(1), 45–50.
13. Liu, T., Zhang, F., Song, Y., & Li, Y. (2017). Revitalizing carbon supercapacitor electrodes with hierarchical porous structures. *Journal of Materials Chemistry A*, **5**(34), 17705–17733.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)