

PENGARUH SUHU KALSINASI KARBON AEROGEL BERBASIS CANGKANG KELAPA SAWIT UNTUK APLIKASI KATODA

Putri Dahayu¹, Delovita Ginting^{1*}, Romi Fadli Syahputra¹

¹ Fisika, Fmipa dan Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Riau, Jalan Tuanku Tambusai, Pekanbaru, 28121, Indonesia

*email: delovita@umri.ac.id

ABSTRAK

Karbon aerogel berbasis cangkang kelapa sawit (CKS) memiliki potensi sebagai bahan katoda dalam baterai lithium-ion karena struktur poros dan konduktivitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan suhu kalsinasi optimal guna meningkatkan sifat fisik dan termal dari karbon aerogel berbasis PKS. Kalsinasi dilakukan pada suhu 400°C selama 3 jam dan 450°C selama 2 jam untuk menganalisis pengaruhnya terhadap morfologi, stabilitas termal, dan densitas dari karbon aerogel. Scanning Electron Microscope (SEM) menunjukkan bahwa kalsinasi pada 450°C menghasilkan struktur yang lebih poros dan tidak teratur, yang mendukung pergerakan ion yang optimal. Pengujian Differential Scanning Calorimetry (DSC) menunjukkan stabilitas termal yang lebih tinggi pada 450°C, dengan total energi sebesar -74,54 J/g. Selain itu, densitas karbon aerogel pada 450°C adalah 0,75 g/cm³, lebih rendah dibandingkan 0,83 g/cm³ pada 400°C, menunjukkan porositas yang lebih baik untuk konduktivitas ion. Oleh karena itu, suhu kalsinasi 450°C selama 2 jam direkomendasikan sebagai kondisi optimal untuk meningkatkan kinerja karbon aerogel dalam aplikasi katoda baterai lithium-ion.

Kata kunci: Karbon aerogel; Cangkang kelapa sawit; Katoda; Baterai ion lithium; Porositas

ABSTRACT

[Title: Influence Calcination Temperature of Palm Oil Shell-Based Carbon Aerogel for the Application of Cathode] Palm kernel shell (PKS)-based carbon aerogel holds potential as a cathode material in lithium-ion batteries due to its porous structure and high conductivity. This study aims to determine the optimal calcination temperature to enhance the physical and thermal properties of PKS-based carbon aerogel. Calcination was performed at 400°C for 3 hours and 450°C for 2 hours to analyze the effects on morphology, thermal stability, and density of the carbon aerogel. Scanning Electron Microscope (SEM) analysis revealed that calcination at 450°C produced a more porous and irregular structure, which supports optimal ion movement. Differential Scanning Calorimetry (DSC) testing showed higher thermal stability at 450°C, with a total energy of -74.54 J/g. Additionally, the density of carbon aerogel at 450°C was 0.75 g/cm³, lower than 0.83 g/cm³ at 400°C, indicating better porosity for ionic conductivity. Therefore, a calcination temperature of 450°C for 2 hours is recommended as the optimal condition to improve carbon aerogel performance for lithium-ion battery cathode applications.

Keywords: Carbon aerogel; Palm kernel shell; Cathode; Lithium-ion battery; Porosity

PENDAHULUAN

Peningkatan teknologi penyimpanan energi yang efisien dan berkelanjutan telah mengalami peningkatan pesat seiring dengan kemajuan teknologi perangkat elektronik seperti ponsel dan kendaraan listrik. Baterai ion lithium telah menjadi pilihan utama dalam berbagai sistem penyimpanan energi modern karena memiliki berbagai keunggulan (Xiong et al., 2020). Seiring dengan peningkatan aplikasi baterai ion lithium, muncul tantangan untuk terus mengoptimalkan material penyusunnya, terutama komponen katoda, yang secara langsung memengaruhi kapasitas penyimpanan, konduktivitas, dan stabilitas siklus baterai.

Material katoda ideal harus memiliki struktur permukaan yang luas, kapasitas penyimpanan ion yang tinggi, serta konduktivitas listrik yang baik untuk mendukung pergerakan ion lithium selama siklus pengisian dan pengosongan (Zhai et al., 2024). Beberapa tahun terakhir material berbasis karbon aerogel telah menarik perhatian sebagai salah satu karbon yang menjanjikan untuk aplikasi katoda karena memiliki luas permukaan yang besar dan konduktivitas listrik yang baik, yang membuatnya mampu meningkatkan kapasitas penyimpanan energi dan mempercepat proses transfer ion dalam baterai (Sun et al., 2021). Aerogel karbon berbasis cangkang kelapa sawit (CKS) merupakan limbah biomassa yang bisa digunakan sebagai sumber karbon aerogel karena memiliki struktur pori yang cocok untuk aplikasi katoda, karena CKS memiliki kandungan karbon mencapai 51,6%, 29,7% selulosa, 12,61% hemiselulosa dan 42,96% lignin yang berkontribusi untuk memperkuat struktur material pada katoda (Opoku et al., 2021). Selain itu, karbon aerogel juga memiliki keunggulan dalam hal stabilitas termal yang baik yang dapat memperpanjang masa pakai katoda dan meningkatkan ketahanannya terhadap siklus pengisian ulang pada baterai (Gultekin et al., 2023).

Proses kalsinasi menjadi salah satu tahapan penting dalam sintesis karbon aerogel berbasis CKS (Kanthachan et al., 2021). Kalsinasi adalah proses pemanasan material pada suhu tinggi yang berfungsi untuk menghilangkan senyawa organik dan membentuk struktur karbon yang lebih stabil (Phan, 2023). Suhu kalsinasi berperan penting dalam menentukan sifat-sifat karbon aerogel yang dihasilkan, termasuk luas permukaan spesifik, konduktivitas ionik, dan kestabilan termal. Penelitian ini telah menunjukkan bahwa variasi suhu kalsinasi dapat secara signifikan memengaruhi kinerja material karbon dalam aplikasi katoda, seperti baterai ion lithium (Wang et al., 2022).

Oleh karena itu, optimasi suhu kalsinasi menjadi aspek penting untuk mendapatkan material katoda yang optimal, di mana konduktivitas ionik dan kestabilan termal baterai dapat ditingkatkan.

Semakin meningkatnya kebutuhan akan baterai yang efisien dan tahan lama, penelitian ini berfokus pada optimasi suhu kalsinasi karbon aerogel berbasis CKS sebagai bahan material utama dalam pembuatan katoda, yang bertujuan untuk melihat karakteristik dari karbon aerogel yang dipengaruhi oleh waktu dan suhu kalsinasi.

METODE

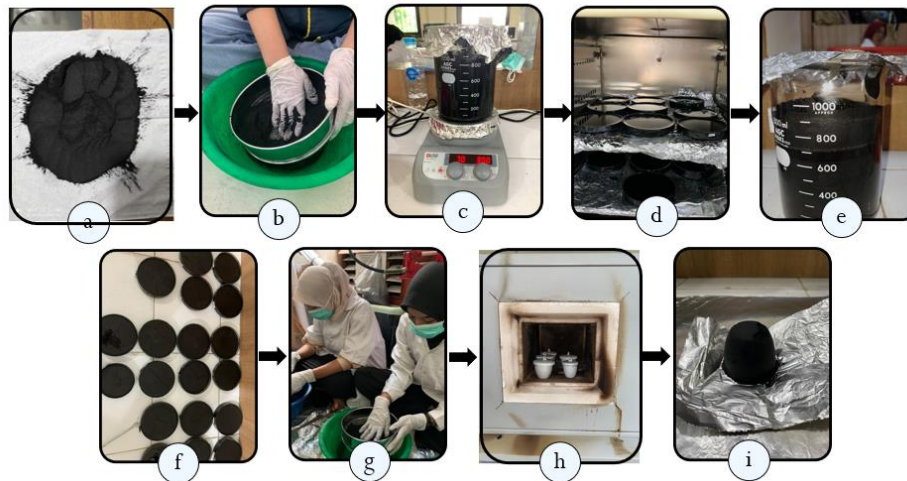
2.1 Alat dan Bahan

Material yang digunakan pada penelitian ini cangkang kelapa sawit. Bahan aditif yang digunakan pada penelitian ini seperti kalium hidroksida (KOH) dan asam klorida (HCl). Peralatan utama yang digunakan dalam pembuatan karbon aerogel yakni saringan mesh 500, magnetik stirer dan hot plate, oven, gelas beaker dan *furnace*. Karakterisasi karbon aerogel untuk pengujian morfologi dengan menggunakan SEM hitachi TM 3000, untuk menganalisis sifat termal material menggunakan DSC, menghitung nilai densitas karbon aerogel menggunakan piknometer.

2.2 Tahap pembuatan karbon aerogel

Cangkang kelapa sawit dicuci dengan air deionisasi, dikeringkan, lalu dikarbonisasi dalam *furnace* pada suhu 600°C selama 3 jam. Setelah karbonisasi, cangkang dihaluskan dan diayak dengan saringan mesh 500 (Zhang et al., 2019). Cangkang kelapa sawit yang sudah disaring dicuci dengan larutan KOH 1 M sebanyak 500 ml selama 2 jam dengan kecepatan pengadukan 300 rpm suhu 70°C kemudian diendapkan selama 1 malam untuk memisahkan antara karbon dengan larutan KOH. Sampel dikeringkan menggunakan oven selama 3 jam dengan suhu 110°C selama 3, dihaluskan, dan dipersiapkan untuk langkah selanjutnya (Yani et al., 2023). Kemudian memasuki tahap pencucian ulang karbon aktif dengan HCl 1 M dan aquades hingga pH mencapai 6,5-7,5, diikuti oleh pengendapan. Karbon dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam. Setelah pengeringan, karbon aktif dihaluskan dengan mortar dan disaring menggunakan ayakan mesh 500. Tahapan terakhir melibatkan proses karbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu 400°C selama 3 jam dan 450 °C selama 2 jam (Akinlabi et al., 2021).

Tahapan pembuatan karbon aerogel dan variasi karbon aerogel dapat dilihat pada gambar 1 dan tabel 1 dibawah ini (Akinlabi et al., 2021).



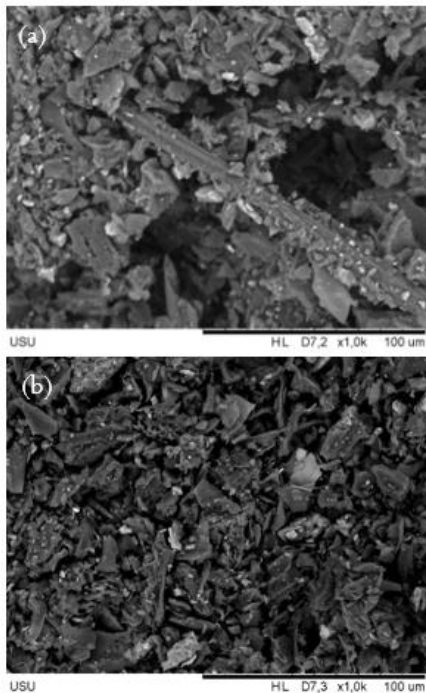
Gambar 1. Proses Pembuatan Karbon Aerogel dari Cangkang Kelapa Sawit; (a) CKS; (b) Penyaringan; (c) Alkalisasi; (d) Pengeringan; (e) Acidifikasi; (f) Pengeringan; (g) Penyaringan; (h) Karbonisasi; (i) Karbon Aerogel.

Tabel 1. Variasi Waktu dan Suhu Kalsinasi pada Sampel Aerogel Karbon

No	Nama Sampel	Waktu Kalsinasi (jam)	Suhu Kalsinasi (°C)
1	Aerogel 1	3	400
2	Aerogel 2	2	450

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Morfologi Karbon Aerogel



Gambar 2. Karakterisasi SEM Karbon Aerogel; (a) Variasi Aerogel 1; (b) Variasi Aerogel 2

Berdasarkan hasil pengamatan SEM pada kedua variasi suhu dan waktu kalsinasi, dapat disimpulkan

bahwa variasi aerogel 2 (450°C 2 jam) dan variasi aerogel 1 (400°C 3 jam) menunjukkan bahwa variasi 450 memiliki keunggulan yang lebih signifikan sebagai material katoda. Variasi 450 memiliki struktur aerogel karbon yang tidak teratur dan berpori, dengan ukuran pori antara 10 hingga 50 μm, yang mendukung transportasi ionik dan elektronik yang sangat baik. Pori-pori yang besar, bersama dengan struktur yang memiliki bagian-bagian terputus dan tepi tajam, memungkinkan ion bergerak dengan lebih mudah, menjadikannya ideal untuk aplikasi penyimpanan energi. Sementara itu, variasi 400 mungkin memiliki kekurangan dalam hal stabilitas mekanik dan ketahanan terhadap kondisi ekstrem, yang dapat memengaruhi daya tahannya dalam penggunaan jangka panjang. Kekurangan ini dapat mengakibatkan penurunan efisiensi kinerja dalam aplikasi baterai lithium-ion dibandingkan dengan variasi 450. Dengan demikian, variasi 450 lebih menjanjikan untuk meningkatkan efisiensi kinerja dalam aplikasi baterai lithium-ion, berkat porositas yang lebih tinggi dan struktur yang mendukung interaksi ionik (Hu et al., 2019).

3.2 Sifat Termal Karbon Aerogel

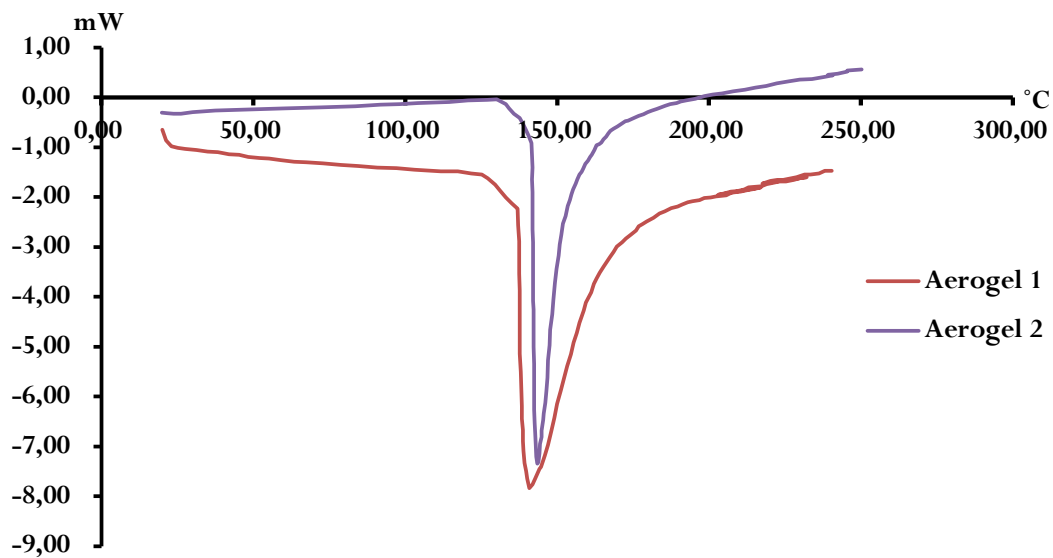
Sifat termal diuji menggunakan karakterisasi DSC hasilnya menunjukkan perbedaan karakteristik termal antara kedua variasi suhu kalsinasi. Untuk variasi suhu 400°C selama 3 jam, terdapat reaksi eksotermik yang signifikan dalam rentang suhu 121,17°C hingga 187,89°C, dengan puncak pelepasan energi pada 142,67°C dan total energi yang dilepaskan sebesar -402,06 mJ atau -80,41Jg⁻¹ Setelah reaksi eksotermik, material ini mencapai kestabilan termal yang baik pada suhu sekitar 190°C, menunjukkan ketahanan yang baik terhadap perubahan struktural pada suhu tinggi. Sebaliknya, variasi suhu 450°C selama 2 jam menunjukkan reaksi eksotermik yang lebih singkat,

dengan rentang suhu 133,32°C hingga 178,18°C dan puncak pelepasan energi pada 144,00°C, serta total energi yang dilepaskan sebesar -372,24 mJ atau -74,54 Jg⁻¹. Meskipun energi yang dilepaskan lebih rendah, kestabilan termal tercapai di atas 178,18°C. Dari kedua variasi tersebut, karbon aerogel yang dikalsinasi pada suhu 450°C selama 2 jam menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam hal total energi yang dilepaskan maupun kestabilan termalnya (Zi et al., 2024).

Tabel hasil uji sifat thermal dan grafik analisis termal karbon aerogelnya bisa dilihat pada tabel 2 dan gambar 3 dibawah ini:

Tabel 2. Hasil Uji Sifat Thermal Karbon Aerogel

Nilai Termal	Aerogel 1	Aerogel 2
Integral (mJ)	-402,06	-372,24
Normalized (Jg ⁻¹)	-80,41	-74,45
Onset (°C)	138,63	141,57
Peak (°C)	142,67	144,00
Endset (°C)	167,77	151,97
Left bl limit (°C)	121,17	133,32
Right bl limit (°C)	187,89	178,18



Gambar 3. Grafik Pengujian Sifat Termal Karbon Aerogel

3.3 Nilai Densitas pada Karbon Aerogel

Hasil pengukuran densitas dapat kita lihat pada tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3. Nilai Densitas Karbon Aerogel

No	Prosedur	Aerogel 1	Aerogel 2
		Densitas (g/cm ³)	
1	Sebelum Aktivasi	1.25	1.25
2	Setelah Aktivasi	1	1
3	Setelah Karbonisasi	0.83	0.75

Dalam tabel yang disajikan, tampak bahwa densitas karbon aerogel menurun secara linear. Penurunan densitas karbon aerogel yang terlihat pada data tabel mengindikasikan pengaruh signifikan

dari proses aktivasi kimia dan karbonisasi. Sebelum aktivasi, densitas yang lebih tinggi menunjukkan aerogel yang lebih padat, yang kemudian berubah menjadi lebih porous seiring dengan terdekomposisinya bahan organik selama aktivasi kimia. Proses karbonisasi lebih lanjut mengurangi densitas karena pembakaran materi organik, meninggalkan struktur karbon yang lebih ringan. Densitas yang lebih rendah ini berkontribusi pada porositas tinggi yang esensial untuk aplikasi katoda baterai, memfasilitasi penetrasi dan mobilitas ion yang lebih baik, yang krusial untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan pengisian dalam baterai (Desmagrini et al., 2021).

Nilai densitas Aerogel 1 setelah karbonisasi sebesar 0.83 g/cm³ menunjukkan bahwa meskipun mengalami penurunan densitas, material tersebut tetap mempertahankan karakteristik yang baik untuk aplikasi katoda. Di sisi lain, Aerogel 2 dengan

densitas 0.75 g/cm³ menunjukkan penurunan yang lebih signifikan dibandingkan dengan aerogel 1. Hal ini menandakan bahwa nilai densitas yang dihasilkan aerogel 2 tampak lebih baik dikarenakan memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan aerogel 1.

Perhitungan densitas pada karbon aerogel cangkang kelapa sawit menggunakan rumus :

- Densitas

$$\rho = \frac{m}{\Delta V} \quad (1)$$

Dengan (ρ) merupakan densitas dari karbon aerogel, (m) berat karbon aerogel dalam keadaan kering dan (ΔV) volume total pengukuran karbon.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aerogel yang dihasilkan dari CKS memiliki potensi yang signifikan sebagai bahan katoda dalam baterai lithium-ion. Melalui proses kalsinasi, ditemukan bahwa suhu 450°C selama 2 jam menghasilkan struktur yang lebih porous dan stabil secara termal, dengan densitas yang lebih rendah dan konduktivitas ion yang lebih baik dibandingkan dengan suhu kalsinasi 400°C. Dengan stabilitas termal yang lebih tinggi dan sifat fisik yang optimal, karbon aerogel pada suhu kalsinasi ini dapat meningkatkan kinerja baterai lithium-ion secara keseluruhan.

Penelitian ini menyarankan untuk mengoptimalkan parameter proses karbonisasi agar hasil yang diperoleh lebih konsisten. Penting juga untuk melakukan uji kinerja jangka panjang guna memastikan stabilitas dan daya tahan material dalam aplikasi nyata.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Muhammadiyah Riau yang telah memberikan dukungan pendanaan dalam skema Penelitian Fundamental-Reguler. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Laboratorium Fisika Universitas Muhammadiyah Riau atas fasilitas dan dukungan yang telah diberikan selama proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akinlabi, S. A., Jen, T. C., & Hassan, S. (2021). *Characteristics of Palm Kernel Shell and Palm Kernel Shell-Polymer Composites : A.Review*, 11(7), 012019.
- Desmagrini, D., Awitdrus, A., Taer, E., & Farma, R. (2021). Synthesis of activated carbon electrodes from date seeds with a variety of separators for supercapacitor cell applications. *Journal of Aceh Physics Society*, 10(3), 53–59.
- Gultekin, S. Y., Guler, A., Kuruahmet, D., Güngör, H., Singil, M. M., Uzun, E., Akbulut, H., & Güler, M. O. (2023). Graphene aerogel-supported Na₃V₂(PO₄)₃/C cathodes for sodium-ion batteries. *Diamond and Related Materials*, 139(9), 110399
- Hu, L., He, R., Lei, H., & Fang, D. (2019). Carbon Aerogel for Insulation Applications: A Review. *International Journal of Thermophysics*, 40(4), 2–25
- Kanthachan, J., Khamman, O., Intatha, U., & Eitssayeam, S. (2021). Effect of reducing calcination processing on structural and electrochemical properties of LiNi_{0.5}Mn_{0.3}Co_{0.2}O₂cathode materials for lithium battery. *Materials Today: Proceedings*, 47(1), 3600–3603.
- Opoku, B., Isaac, A., Akrofi Micheal, A., Kwesi Bentum, J., & Paul Muyoma, W. (2021). Characterization of Chemically Activated Carbons Produced from Coconut and Palm Kernel Shells Using SEM and FTIR Analyses. *American Journal of Applied Chemistry*, 9(3), 90–96.
- Phan, M. T. (2023). Nipa palm shell-derived magnetic carbon aerogel for absorbents and storage energy. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 615(1), 122–244.
- Sun, S., Yan, Q., Wu, M., & Zhao, X. (2021). Carbon aerogel based materials for secondary batteries. *Sustainable Materials and Technologies*, 30(1) 20–26.
- Wang, R., Zhang, T., Cheng, X., Xiao, J., & Gao, H. (2022). Ti₃C₂T_x aerogel with 1D unidirectional channels for high mass loading supercapacitor electrodes. *Ceramics International*, 48(14), 20324–20331.
- Xiong, R., Pan, Y., Shen, W., Li, H., & Sun, F. (2020). Lithium-ion battery aging mechanisms and diagnosis method for automotive applications : Recent advances and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131(5), 110048.
- Yani, A. F., Lubis, V., Ginting, D., & Syahputra, R. F. (2023). Pemanfaatan karbon aktif tempurung kelapa sebagai carbon black. 8(2), 90–95.
- Zhai, Z., Wang, S., Xu, Y., Zhang, L., Wang, X., Yu, H., & Ren, B. (2024). Starch-based carbon aerogels prepared by an innovative KOH activation method for supercapacitors. *International Journal of Biological Macromolecules*, 257(1), 128587.
- Zhang, Y., Du, X., Chen, L., Li, Z., Wang, W., Li,

- T., & Yuan, M. (2019). Tri- (2-picolyl) amine-modi fi cated triarylborane : Synthesis , photophysical properties and distinguish for cyanide and fl uoride anions in aqueous solution. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 218(1), 119–126.
- Zi, Y., Sina, M., & John, B. (2024). Probing precipitation in aluminium alloys during linear cooling via in-situ differential scanning calorimetry and electrical resistivity measurement. *Thermochemica Acta*, 739(6)38-44.