

SINTESIS BIOKARBON BATANG JAGUNG YANG DIDOPING NITROGEN SEBAGAI ELEKTRODA KAPASITOR ELEKTROKIMIA

SYNTHESIS OF N-DOPED CORN STALK BIOCARBON AS AN ELECTROCHEMICAL CAPACITOR ELECTRODE

Olly Norita Tetra*, Awfa Joti Aghna Kamiko, Nabila Putri Yusni Chairunnisa, Bustanul Arifin

Departemen Kimia, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Limau Manis Padang 25613

*e-mail korespondensi: olly512@gmail.com

Abstrak

Biokarbon dan unsur nitrogen untuk penyimpanan energi kapasitor elektrokimia telah menjadi salah satu penelitian yang banyak dilakukan karena luas permukaan yang tinggi dan konduktivitas yang tinggi. Dalam penelitian ini biokarbon aktif berhasil disintesis dengan metode pendekatan karbonisasi sederhana menggunakan batang jagung sebagai prekursor. Biokarbon kemudian didoping nitrogen (amonia atau urea) dengan tujuan meningkatkan kapasitansi spesifik. Biokarbon aktif batang jagung yang didoping dengan amonia dan urea memiliki luas permukaan berturut-turut sebesar $4,6919 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ dan $3,7936 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, dengan kapasitansi spesifik masing-masing pada penambahan amonia $8,89 \text{ F g}^{-1}$ dan pada penambahan urea sebesar $6,02 \text{ F g}^{-1}$. Biokarbon aktif batang jagung yang didoping amonia dan urea memiliki kinerja yang baik sebagai elektroda kapasitor elektrokimia.

Kata kunci: biokarbon aktif, batang jagung, amonia, urea, kapasitor elektrokimia

Abstract

Biocarbon and nitrogen elements for electrochemical capacitor energy storage have become one of the most widely researched areas due to their high surface area and high conductivity. In this research, active biocarbon was successfully synthesized using a simple carbonization approach using corn stalks as a precursor. The biocarbon is then doped with nitrogen (ammonia or urea) with the aim of increasing the specific capacitance. Corn stalk bio activated carbon doped with ammonia and urea has a surface area of $4.6919 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ and $3.7936 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, with specific capacitance of 8.89 F g^{-1} in ammonia and 6.02 F g^{-1} in urea. Corn stalk bio activated carbon doped with ammonia and urea has good performance as an electrochemical capacitor electrode.

Keywords: biocarbon, corn stalk, ammonia, urea, electrochemical capacitor

PENDAHULUAN

Karbon terbagi menjadi dua yaitu karbon anorganik dan karbon alam (biokarbon). Karbon anorganik biasanya terdiri dari karbon dalam bentuk mineral atau senyawa anorganik, sedangkan biokarbon merupakan karbon yang terdapat dalam struktur organik, termasuk selulosa, lignin, dan komponen biomassa lainnya. Biokarbon merupakan bahan karbon padat yang dihasilkan menggunakan biomassa sebagai sumber karbon melalui proses pirolisis (De, Acharya, Sahoo, & Chandra Nayak, 2020; Diaz, Sanchis, Coronella, & Mohedano, 2022). Limbah

biomassa untuk pembuatan biokarbon sebagai elektroda kapasitor elektrokimia telah dilakukan seperti, kulit jeruk (Shen et al., 2019), batang pisang (Ghosh et al., 2019), kulit almond (Wu et al., 2016), ampas tebu (Hao et al., 2014), dan masih banyak lainnya. Sampai saat ini, para peneliti masih melakukan penelitian untuk meningkatkan kapasitansi pada kapasitor elektrokimia dengan memanfaatkan limbah biomassa lainnya sebagai prekursor elektroda dengan doping N, P, dan O. Salah satu prekursor yang memiliki peluang besar sebagai sumber biokarbon berpori adalah batang jagung karena

kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin yang tinggi untuk meningkatkan kemampuan kapasitor elektrokimia menyimpan muatan, maka dilakukan penambahan adiktif yaitu dengan penambahan amonia atau urea agar biokarbon yang dihasilkan mempunyai ukuran pori yang besar dengan sifat konduktifitas yang maksimal, sehingga diharapkan dapat meningkatkan performa biokarbon aktif sebagai elektroda dalam menyimpan muatan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada riset ini yaitu LCR-Meter (Sanwa LCR700), stirrer (IKA°C-MAGHS4), furnace (Neytech D-550 Vulcan), ayakan 45 μm , hot plate (IKA°C-MAGHS4), neraca analitik (Mettler PM4000), oven (Nabertherm), kertas pH (Merck), dan peralatan gelas laboratorium lainnya. Peralatan instrumen yang digunakan adalah SEM-EDX (HITACHI FLEXSEM 1000), FTIR (PerkinElmer Frontier C90704 Spectrum IR Version 10.6.1), SAA (TriStar II Plus Version 3.01), instrumen CV dan EIS (Potensiostat Parstat 3000A). Bahan yang digunakan dalam riset ini yaitu sampel limbah batang jagung (diambil dari Ladang Jagung Limau Manis, Padang, Sumatra Barat), kalium hidroksida (Merck), asam klorida (Merck), akuades, asam pospat (H_3PO_4) (Merck), ammonium hidroksida (NH_4OH) (Merck), urea (Merck), kertas saring (Whatman), kertas pH (Merck), dan aluminium foil.

Preparasi dan Aktivasi Biokarbon Aktif Batang Jagung

Limbah batang jagung dikumpulkan dalam satu wadah, lalu dibersihkan dari sisa kotoran yang masih melekat pada limbah batang jagung tersebut. Kemudian, sampel dipotong kecil-kecil dan dikeringkan hingga berat konstan di bawah sinar matahari. Batang jagung yang telah kering *digrinder*, lalu dikeringanginkan dan dioven pada suhu $\pm 110^\circ\text{C}$ sampai beratnya konstan. Kemudian, batang jagung tersebut dikarbonisasi pada suhu 400°C selama 1 jam. Biokarbon aktif didinginkan hingga temperatur ruang dan diayak dengan menggunakan ayakan 45 μm . Karbon diaktivasi dengan aktivator KOH dilakukan dengan menambahkan KOH 5 M dan didoping nitrogen (larutan amonia 1 M atau urea 5 M) dengan perbandingan massa karbon: KOH: amonia atau urea yaitu 4:16:1. *Stirrer* sampai homogen selama 6 jam dan didiamkan selama 24 jam. Kemudian, dimasukan kedalam oven pada

suhu $\pm 110^\circ\text{C}$ sampai kering. Setelah itu, biokarbon aktif dikarbonisasi pada suhu 400°C selama 1 jam, didinginkan biokarbon aktif yang dihasilkan pada suhu ruang, lalu dicuci dengan HCl 0,5 M sampai pH 7. Setelah pH netral, biokarbon aktif dicuci dengan akuades dan dikeringkan, kemudian dioven kembali pada suhu $\pm 110^\circ\text{C}$ sampai berat konstan (Elaiyappillai et al., 2019; Sekhon & Park, 2021; Yu, Zhu, Qi, & Liang, 2018).

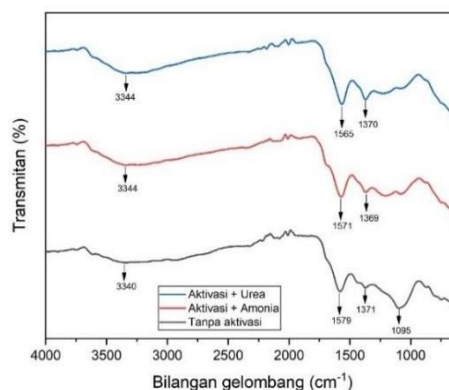
Karakterisasi Pada Biokarbon Aktif Batang Jagung

Biokarbon aktif batang jagung dikarakterisasi menggunakan *Fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), *Surface Area Analyzers* (SAA), dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi Biokarbon Batang Jagung yang didoping Nitrogen FTIR

Pengujian FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi pada permukaan biokarbon batang jagung, hasil spektrum dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum FTIR biokarbon (a) sebelum aktivasi, (b) aktivasi+amonia (c) aktivasi+ urea

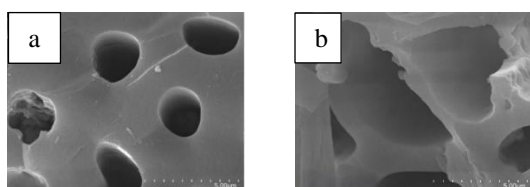
Pada gambar 1(a) terdapat pita lemah dan lebar pada angka gelombang sekitar 3340 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi *stretching* gugus O-H alkohol dan fenolik yang berasal dari senyawa organik pada batang jagung, seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin. Pada angka gelombang 1095 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi *stretching* gugus C-O dari gugus fungsi eter (Nnorom & Onuegbu, 2019).

Gambar 1 (a-c) menunjukkan bahwa spektrum pada permukaan biokarbon batang jagung sebelum aktivasi dan setelah aktivasi mengandung beberapa gugus fungsi dan menunjukkan pola yang mirip. Karbon batang

jagung sebelum dan setelah aktivasi memiliki gugus fungsi yang sama pada angka gelombang $1571,38\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C=C (cincin aromatik), pada angka gelombang $1369,30\text{ cm}^{-1}$ menunjukan adanya vibrasi *stretching* gugus C-N dari gugus amida. Terjadi pergeseran gugus fungsi akibat perlakuan doping nitrogen oleh amonia dan urea serta aktivasi dengan KOH, dan adanya pemanasan pada suhu tinggi, dimana pergeseran menunjukan perubahann ikatan pada gugus fungsi karena permukaan pori mulai terbuka setelah aktivasi dan pemanasan karbon batang jagung. Gugus-gugus fungsi yang terdapat di permukaan biokarbon aktif berperan penting untuk membentuk lapis rangkap listrik pada superkapasitor, sehingga kinerja elektroda superkapasitor dapat meningkat (Tetra, Aziz, & Akmal, 2020).

B. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian SEM digunakan untuk morfologi permukaan batang jagung yang didoping amonia dan urea, hasil SEM dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil SEM pada perbesaran 10.000x dari biokarbon aktif batang jagung yang didoping dengan (a) amonia dan (b) urea

Pada gambar 2(a) dapat diamati bahwa pembentukan pori sudah terjadi dimana pori yang terbentuk dalam keadaan homogen, sehingga terlihat pada distribusi ukuran pori merata, sedangkan pada gambar 2(b) pori yang terbentuk belum homogen, hal ini terlihat dari tidak meratanya distribusi ukuran pori, hal ini terlihat dari tidak meratanya distribusi ukuran pori. Morfologi permukaan biokarbon aktif batang jagung yang didoping amonia terlihat seperti lubang akibat pori yang terbentuk setelah batang jagung melalui proses aktivasi menggunakan aktivator KOH, dimana pori yang berfungsi untuk menyimpan muatan. Hal ini disebabkan pada kondisi suhu tinggi, aktivator KOH diaktifkan dari dalam ke luar, dan efek aktivasi lebih lengkap dan merata, yang memperbaiki struktur pori dan meningkatkan kinerja adsorpsi biokarbon aktif (Yang et al., 2020; Yu et al., 2018).

C. Energy Dispersive X-Ray (EDX)

Analisis EDX digunakan untuk mengetahui komposisi unsur pada biokarbon aktif batang jagung yang didoping dengan amonia dan urea yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi unsur biokarbon aktif batang jagung yang didoping amonia dan urea

Unsur	% Unsur	
	Amonia	Urea
C	55,72	53,34
O	30,03	34,13
N	5,49	7,17
K	2,99	2,94

Berdasarkan tabel 1 persentase komposisi unsur karbon pada biokarbon aktif batang jagung yang didoping amonia (55,72%), lebih besar dibandingkan dengan biokarbon aktif batang jagung yang didoping urea (53,34%). Unsur karbon berasal dari selulosa yang merupakan senyawa utama penyusun biomassa batang jagung, dimana terdapat banyak rantai karbon pada selulosa (Yu et al., 2018). Unsur oksigen berasal dari proses karbonisasi yang belum sempurna sehingga terdapat kandungan oksigen dari bahan baku yang tertinggal atau dapat juga disebabkan karena adanya ikatan pada proses aktivasi (Nurul Hidayu, Erman Taer, & Sugianto, 2016). Unsur nitrogen berasal dari sisa NH_4OH (amonia) dan $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ (urea) yang tertinggal saat proses pendopingan dan proses pencucian yang kurang sempurna. Unsur kalium berasal dari sisa aktivator KOH yang digunakan dan tidak hilang sepenuhnya setelah dikarbonisasi pada suhu $400\text{ }^\circ\text{C}$.

D. Surface Area Analyzer (SAA)

SAA (*Surface Area Analyzer*) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui luas permukaan pori biokarbon aktif (diuji dengan metode BET) dan volume serta distribusi pori biokarbon aktif (diuji dengan metode BJH). Pada tabel 2 menunjukkan ukuran pori rata-rata dari biokarbon aktif yang telah dimodifikasi oleh nitrogen untuk amonia dan urea secara berturut-turut adalah $13,8846\text{ nm}$ dan $15,7031\text{ nm}$. Sampel biokarbon aktif memiliki ukuran mesopori, karena ukuran porinya berada pada rentang 2-50 nm.

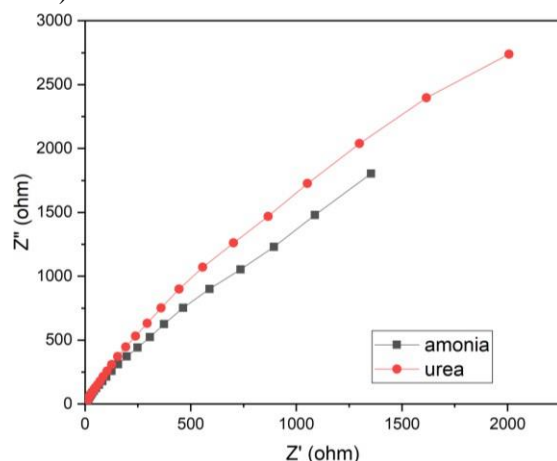
Tabel 2. Hasil karakterisasi dengan *Surface Area Analyzer (SAA)*

No	Sampel	Luas permukaan spesifik (m ² /g)	Ukuran pori rata-rata (nm)	Volume pori (cm ³ /g)
1	Amonia	4,6919	13,8846	0,016237
2	Urea	3,7936	15,7031	0,012223

Riset serupa dilaporkan pula oleh Anisyah (2021) mengenai pembuatan biokarbon aktif dari tempurung kelapa dengan menggunakan aktivator ZnCl₂ dimana luas permukaan yang dihasilkan lebih rendah yaitu 3,294 m²/g (Anisyah, Arnelli, & Astuti, 2021). Hal tersebut mengindikasikan bahwa perbedaan jenis prekursor dan jenis pemanasan yang digunakan, akan menghasilkan biokarbon aktif dengan luas permukaan spesifik yang berbeda (Nurdin, Harahap, & Fahmi, 2022).

E. Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Berdasarkan gambar 3 plot *Nyquist* biokarbon aktif, nilai impedansi imajiner (Z'') meningkat terhadap nilai impedansi riil (Z') pada frekuensi tinggi (10.000 Hz) ke frekuensi rendah (0,01 Hz). Daerah *semi-circle* tidak terlihat begitu jelas, hal ini diakibatkan oleh sifat kapasitif dan transfer ion yang cepat dalam sel biokarbon aktif, dimana biokarbon aktif memiliki struktur mesopori yang dominan dan memiliki sifat pseudokapasitansi. Dari hasil EIS didapatkan nilai kapasitansi spesifik pada elektroda kapasitor elektrokimia yang didoping amonia sebesar 8,89 F g⁻¹ dan yang didoping urea sebesar 6,02 F g⁻¹ (Wang et al., 2022).



Gambar 3. Plot Nyquist elektroda biokarbon aktif batang jagung yang didoping amonia

KESIMPULAN

Biokarbon aktif dari batang jagung dapat digunakan sebagai elektroda kapasitor elektrokimia. Berdasarkan hasil EDX didapatkan bahwa persentase karbon terbesar adalah 55,72%. Biokarbon aktif yang didoping amonia memiliki luas permukaan spesifik berturut-turut sebesar 4,6919 m² g⁻¹. Nilai kapasitansi yang paling maksimum adalah 8,89 F g⁻¹ dengan ukuran karbon 45 μm. Hasil ini menunjukkan bahwa sintesis biokarbon aktif batang jagung yang didoping nitrogen dengan penambahan aktivator KOH dapat dimanfaatkan secara optimal serta menciptakan inovasi baru untuk perangkat penyimpanan energi yang ramah lingkungan.

DAFTAR RUJUKAN

- Anisyah, Arnelli, & Astuti, Y. (2021). SMAC-SLS) dari Tempurung Kelapa Menggunakan Aktivator ZnCl₂ dan Gelombang Mikro sebagai Adsorben Kation Pb(II). In *Greensphere: J. Environ. Chem* (Vol. 1).
- De, S., Acharya, S., Sahoo, S., & Chandra Nayak, G. (2020). Present status of biomass-derived carbon-based composites for supercapacitor application. *Nanostructured, Functional, and Flexible Materials for Energy Conversion and Storage Systems*, 373–415. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819552-9.00012-9>
- Diaz, E., Sanchis, I., Coronella, C. J., & Mohedano, A. F. (2022). Activated Carbons from Hydrothermal Carbonization and Chemical Activation of Olive Stones: Application in Sulfamethoxazole Adsorption. *Resources*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/resources11050043>
- Elaiyappillai, E., Srinivasan, R., Johnbosco, Y., Devakumar, P., Murugesan, K., Kesavan, K., & Johnson, P. M. (2019). Low cost activated carbon derived from Cucumis melo fruit peel for electrochemical supercapacitor application. *Applied Surface Science*, 486, 527–538.
- Ghosh, S., Santhosh, R., Jeniffer, S., Raghavan, V., Jacob, G., Nanaji, K., ... Grace, A. N. (2019). Natural biomass derived hard carbon and activated carbons as electrochemical supercapacitor electrodes. *Scientific Reports*, 9(1).
- Hao, P., Zhao, Z., Tian, J., Li, H., Sang, Y., Yu, G., ... Umar, A. (2014). Hierarchical porous

- carbon aerogel derived from bagasse for high performance supercapacitor electrode. *Nanoscale*, 6(20), 12120–12129.
- Nnorom, O. O., & Onuegbu, G. C. (2019). Authentication of *Rothmannia whitfieldii* Dye Extract with FTIR Spectroscopy. *Journal of Textile Science and Technology*, 05(02), 38–47. <https://doi.org/10.4236/jtst.2019.52004>
- Nurdin, A., Harahap, H., & Fahmi, A. (2022). Indonesian Journal of Chemical Research Production Process of Large Pore Size Activated Carbon from Palm Kernel Shell using Sodium Chloride as An Activator. *J. Chem. Res*, 10(1), 8–13. <https://doi.org/10.30598//.ijcr2022.10-ahm>
- Nurul Hidayu, Erman Taer, & Sugianto. (2016). Pengaruh Penambahan Surfaktan Sodium Dodecyl Sulfate Pada Sifat Fisis Elektroda Superkapasitor Dari Karbon Tempurung Kelapa. *Repository Unri*, 1–9.
- Sekhon, S. S., & Park, J. S. (2021, December 1). Biomass-derived N-doped porous carbon nanosheets for energy technologies. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 425. Elsevier B.V.
- Shen, H., Xia, X., Ouyang, Y., Jiao, X., Mutahir, S., Mandler, D., & Hao, Q. (2019). Preparation of Biomass-Based Porous Carbons with High Specific Capacitance for Applications in Supercapacitors. *ChemElectroChem*, 6(14), 3599–3605.
- Tetra, O. N., Aziz, H., & Akmal, C. (2020). Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Ampas Kopi Sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor Dengan Aktivator ZnCl₂. *Jurnal Kimia Unand*, 9(2), 9–12.
- Wang, R., Li, X., Nie, Z., Jing, Q., Zhao, Y., Song, H., & Wang, H. (2022). Ag nanoparticles-decorated hierarchical porous carbon from cornstalk for high-performance supercapacitor. *Journal of Energy Storage*, 51.
- Wu, C., Yang, S., Cai, J., Zhang, Q., Zhu, Y., & Zhang, K. (2016). Activated Microporous Carbon Derived from Almond Shells for High Energy Density Asymmetric Supercapacitors. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(24), 15288–15296.
- Yang, X., Wang, Q., Lai, J., Cai, Z., Lv, J., Chen, X., ... Lin, G. (2020). Nitrogen-doped activated carbons via melamine-assisted NaOH/KOH/urea aqueous system for high performance supercapacitors. *Materials Chemistry and Physics*, 250. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123201>
- Yu, K., Zhu, H., Qi, H., & Liang, C. (2018). High surface area carbon materials derived from corn stalk core as electrode for supercapacitor. *Diamond and Related Materials*, 88(June), 18–22.