

Pembuatan elektroda karbon superkapasitor berbasis limbah pelepah aren menggunakan kombinasi pengaktifan kimia dan fisika

The production of supercapacitor carbon electrodes based on sugar palm fronds using chemical and physical activation combination

Awitdrus*, Decha Apriliany Suwandi, Agustino, Erman Taer dan Rakhmawati Farma

Received 04 November 2020
Accepted 21 December 2020
Published July 2021

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, 28293

Abstrak. Pembuatan elektroda karbon superkapasitor berbasis limbah pelepah aren dengan kombinasi pengaktifan kimia dan fisika telah berhasil dilakukan. Aktivasi kimia dilakukan dengan menggunakan agen pengaktif 0,3 M KOH dan aktivasi fisika menggunakan gas CO₂ pada suhu 900°C selama 2,5 jam. Karakterisasi sifat fisis elektroda meliputi susut massa, tebal, diameter, densitas dan derajat kristalinitas. Karakterisasi sifat elektrokimia elektroda dilakukan dengan menggunakan metode siklus voltametri. Setelah proses karbonisasi-aktivasi fisika, massa, tebal, diameter dan densitas elektroda mengalami penurunan persentase masing-masing adalah 60,87; 30,43; 24,08 dan 5,71%. Elektroda PA-0,3 memiliki struktur semi kristalin, yang ditandai dengan adanya dua puncak yang lebar pada sudut hamburan sekitar 25° dan 46°. kapasitansi spesifik elektroda PA-0,3 berdasarkan variasi laju pemindaian adalah 90 F g⁻¹ untuk 1 mV s⁻¹, 82 F g⁻¹ untuk 2 mV s⁻¹, dan 71 F g⁻¹ untuk 5 mV s⁻¹.

Abstract. The production of supercapacitor carbon electrodes based on sugar palm frond waste using chemical and physical activation combinations have been successfully carried out. The chemical activation was carried out using 0.3 M KOH activating agent and the physical activation using CO₂ gas at a temperature of 900°C for 2.5 h. Characterization of the physical properties of the electrodes includes mass loss, thickness, diameter, density and degree of crystallinity. The electrochemical properties characterization of the electrodes was carried out using the cyclic voltammetry method. After the carbonization-physical activation process, the mass, thickness, diameter, and density of the electrodes decreased in the percentage of 60.87, 30.43, 24.08, and 5.71%, respectively. The PA-0.3 electrode has a semi crystalline structure, which characterized by the presence of two broadening peaks at a scattering angle around of 25° and 46°. The specific capacitance of the PA-0.3 electrode based on the scan rate variations is 90 F g⁻¹ for 1 mV s⁻¹, 82 F g⁻¹ for 2 mV s⁻¹, and 71 F g⁻¹ for 5 mV s⁻¹.

Keywords: Sugar palm fronds, Chemical activation, Physical activation, Carbon electrode, Supercapacitor

Pendahuluan

Pembuangan hasil pengolahan limbah padat ke lingkungan semakin lama semakin meningkat. Limbah padat terbarukan seperti biomassa sebagian besar dapat dimanfaatkan oleh para peneliti, sehingga dapat mengurangi risiko pencemaran akibat dari pengelolaan limbah padat tersebut (Olivares-Marín *et al.*, 2009). Limbah biomassa seperti daun, kayu, pelepah, biji, akar dan kulit terluar buah atau tumbuhan lain dapat dimanfaatkan untuk produksi bahan karbon. Penggunaan limbah biomassa sebagai prekursor bahan karbon sangat efisien karena bahan ini dapat didaur ulang, ramah lingkungan, berkelanjutan, mudah didapat, dan tersedia secara luas. Keterbatasan bahan bakar fosil dan masalah lingkungan yang ditimbulkan secara signifikan telah berpengaruh pada bidang ekonomi dan ekosistem. Menipisnya sumber energi fosil menuntut kebutuhan akan teknik penyimpanan energi baru. Supercapasitor atau kapasitor elektrokimia memiliki rapat daya yang tinggi, siklus hidup yang panjang, efisiensi tinggi, dan kemampuan untuk bekerja di bawah kepadatan arus tinggi

merupakan salah satu jenis piranti penyimpanan energi yang penting dan baik untuk dikembangkan (Conway, 1999; Jain *et al.*, 2020; Jiang *et al.*, 2019; Zhang and Zhao, 2009). Di antara berbagai jenis bahan untuk elektroda superkapasitor, karbon aktif banyak digunakan karena biayanya yang rendah, sintesis yang mudah, kemurnian tinggi, luas permukaan yang besar, ramah lingkungan, dan stabilitas elektrokimia yang baik (Abioye and Ani, 2015; Pandolfo and Hollenkamp, 2006; Qie *et al.*, 2013; Xia and Shi, 2016). Metode aktivasi kimia (KOH, ZnCl₂, NaOH, H₃PO₄ dan HNO₃) dan aktivasi fisika (dengan menggunakan uap air, CO₂ dan udara) banyak digunakan untuk menyiapkan bahan karbon dalam penggunaannya sebagai elektroda superkapasitor. Karbon aktif diproses dengan metode pirolisis langsung pada suhu kisaran 600 hingga 1000°C. Proses aktivasi digunakan bertujuan untuk meningkatkan sifat porositas dan luas permukaan bahan karbon (Zhang *et al.*, 2017).

Dalam penelitian ini, elektroda karbon superkapasitor dibuat dari limbah biomassa pelepah aren. Penggunaan pelepah aren sebagai bahan dasar elektroda karbon karena

kandungan 67% selulosa, 14,7% hemiselulosa dan 18,8% lignin yang merupakan bahan dasar karbon (Sahari *et al.*, 2012). Penelitian ini difokuskan pada penggunaan kombinasi pengaktifan kimia dan fisika terhadap sifat fisis dan elektrokimia elektroda karbon berbasis limbah pelepah aren. KOH 0,3 M digunakan sebagai agen pengaktif pada proses pengaktifan kimia dan aktivasi fisika menggunakan gas CO₂ pada suhu 900°C selama 2,5 jam dengan laju pemanasan 10°C/menit. Penggunaan kombinasi pengaktifan kimia dan fisika pada pembuatan elektroda karbon superkapasitor berbasis limbah pelepah aren diperoleh kapasitansi spesifik sebesar 90 F g⁻¹. Hasil tersebut menunjukkan bahwa elektroda karbon berbasis limbah pelepah aren memiliki sifat unggul untuk dikembangkan sebagai elektroda karbon superkapasitor.

Metodologi

Pembuatan elektroda karbon

Limbah pelepah aren diperoleh dan dikumpulkan dari kabupaten rokan hulu, provinsi Riau. Pengolahan limbah pelepah aren meliputi pemotongan pelepah dengan ukuran ±10 cm, penjemuran di bawah sinar matahari, pengeringan menggunakan oven listrik pada suhu 110°C selama 2 jam dan pra-karbonisasi limbah pelepah aren pada suhu 100-250°C selama 2 jam. Kalium hidroksida (KOH) dengan konsentrasi 0,3 molar digunakan sebagai agen pengaktif pada saat proses aktivasi kimia. Proses ini dilakukan menggunakan *hot plate stirrer* (IKA C-MAG HS7) pada suhu 80°C selama 2 jam. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 600°C di bawah lingkungan gas nitrogen (N₂) dan dilanjutkan dengan aktivasi fisika pada suhu 900°C dalam lingkungan gas karbon dioksida (CO₂) selama 2,5 jam menggunakan tanur dengan proses satu langkah (Taer *et al.*, 2019). Terakhir, sampel dicuci hingga pH netral (pH=7), dan dikeringkan pada suhu 110°C. Berdasarkan bahan asal dan konsentrasi KOH yang digunakan sampel diberi kode PA-0,3.

Karakterisasi

Karakterisasi elektroda PA-0,3 meliputi pengukuran susut massa, diameter, tebal, densitas dan derajat kristalinitas. Difraksi sinar-X (Rigaku Miniflex 600) dengan sumber sinar CuKα dan panjang gelombang (λ) 0.154 nm digunakan untuk menentukan derajat kristalinitas elektroda. Metode *Cyclic voltammetry* (CV) digunakan untuk menentukan sifat elektrokimia superkapasitor. Kapasitansi spesifik elektroda PA-0,3 dihitung menggunakan Pers. (1).

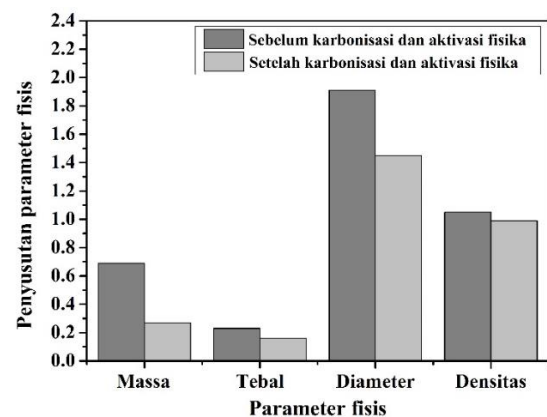
$$C_{sp} = \frac{I_c - I_d}{s \cdot m} \quad (1)$$

Dimana C_{sp} adalah kapasitansi spesifik (F g⁻¹), I_c adalah arus pengisian (A), I_d adalah arus pengosongan (A), s adalah laju pemindaian (mV s⁻¹), m adalah massa elektroda (g).

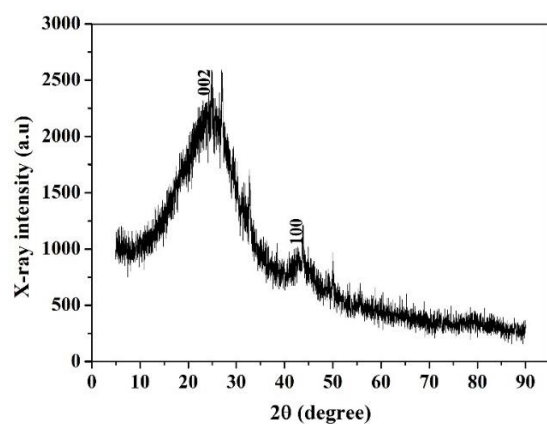
Hasil Penelitian

Analisa Susut Massa, Tebal, Diameter dan Densitas Elektroda

Gambar 1 menunjukkan perubahan massa, tebal, diameter dan rapat massa (densitas) sebelum dan setelah aktivasi kimia. Parameter massa, tebal, diameter dan densitas dari gambar menunjukkan terjadinya perubahan yang signifikan setelah proses pengaktifan fisika. Persentase susut massa, tebal, diameter dan densitas elektroda masing-masing adalah 60,87; 30,43; 24,08 dan 5,71%. Penyusutan ini terjadi akibat proses karbonisasi-aktivasi fisika yang menyebabkan terjadinya pelepasan unsur-unsur selain karbon seperti molekul air dan bahan pengotor lainnya (Farma *et al.*, 2013; Taslim *et al.*, 2018). Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh sampel dari rumput purun tikus dan serat daun nanas, dimana parameter fisis mengalami penurunan pada saat proses karbonisasi dan aktivasi fisika (Agustino *et al.*, 2020; Zulkifli *et al.*, 2018).



Gambar 1 Susut massa, tebal, diameter dan densitas elektroda PA-0,3



Gambar 2 Pola difraksi elektroda PA-0,3

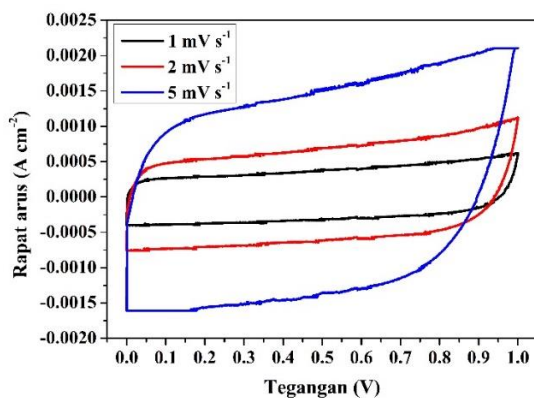
Analisa Derajat Kristalinitas Elektroda

Gambar 2 menunjukkan pola difraksi elektroda PA-0,3 pada rentang sudut hamburan (2θ) 5°-90°. Elektroda PA-0,3 memiliki struktur semi kristal, yang ditandai dengan kehadiran dua puncak lebar pada sudut difraksi di sekitar 25° dan 46°, yang masing-masing bersesuaian dengan orientasi bidang 002 dan 100 (Hou *et al.*, 2015). Lapisan

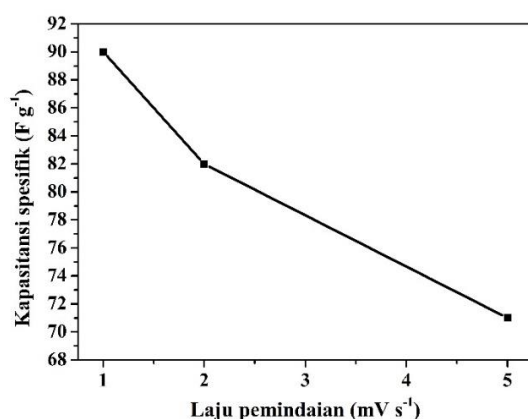
karbon heksagonal yang berorientasi acak mengakibatkan struktur yang terganggu pada karbon amorf yang bermanfaat untuk peningkatan luas permukaan tertentu (Niu *et al.*, 2017).

Analisa Sifat Elektrokimia Elektroda

Metode *Cyclic voltammetry* (CV) digunakan untuk mengevaluasi sifat elektrokimia elektroda PA-0,3, dilakukan pada laju pemindaian 1, 2, dan 5 mV s^{-1} dengan konfigurasi dua elektroda dalam larutan elektrolit 1 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ H_2SO_4 . Sifat elektrokimia elektroda PA-0,3 ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar tersebut memperlihatkan kurva siklis voltammogram elektroda pada beda potensial 0-1 V dengan laju pemindaian 1, 2 dan 5 mV s^{-1} . Semua kurva CV menyajikan kurva yang ideal dengan bentuk hampir seperti persegi panjang tanpa adanya kehadiran puncak redoks, yang merupakan karakteristik EDLC berbasis bahan karbon dari limbah biomassa (González *et al.*, 2016).



Gambar 3 Kurva siklis voltammogram elektroda pada laju pemindaian 1,2 dan 5 mV s^{-1}



Gambar 4 Hubungan kapasitas spesifik (F g^{-1}) elektroda terhadap laju pemindaian (mV s^{-1})

Gambar 4 menunjukkan kurva hubungan antara kapasitas spesifik (F g^{-1}) terhadap laju pemindaian (mV s^{-1}). Kurva tersebut menunjukkan karakteristik umum perangkat penyimpanan energi elektrokimia. Laju pemindaian yang rendah menunjukkan nilai kapasitas spesifik yang lebih tinggi dibandingkan pada laju

pemindaian yang lebih tinggi. Pada laju pemindaian yang rendah ion-ion dalam elektrolit dapat berdifusi ke dalam pori-pori elektroda PA-0,3, difusi ini memungkinkan terbentuknya interaksi yang baik antara ion dan pori-pori elektroda (Awitdrus *et al.*, 2016; Hatzell *et al.*, 2014). Pada tingkat pemindaian yang tinggi, aksesibilitas difusi yang buruk untuk ion elektrolit pada pori elektroda menyebabkan kapasitansi spesifik menurun. Kapasitansi spesifik elektroda PA-0,3 berdasarkan laju pemindaian berurutan adalah 90 F g^{-1} untuk laju pemindaian 1 mV s^{-1} , 82 F g^{-1} untuk laju pemindaian 2 mV s^{-1} , dan 71 F g^{-1} untuk laju pemindaian 5 mV s^{-1} . Perbandingan kapasitansi elektroda PA-0,3 dengan bahan elektroda berbasis biomassa yang telah dilaporkan sebelumnya secara lengkap ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan kapasitansi elektroda PA-0,3 dengan dengan bahan elektroda berbasis biomassa yang telah dilaporkan sebelumnya

Material	Aktivator	Kapasitansi spesifik (F g^{-1})	Referensi
Rumput purun tikus	Uap air	58	(Zulkifli <i>et al.</i> , 2018)
Daun ketapang	KOH+CO ₂	54	(Taer <i>et al.</i> , 2018b)
Serat daun nanas	KOH+CO ₂	110	(Agustino <i>et al.</i> , 2020)
Cangkang kelapa sawit	KOH	99	(Perdana <i>et al.</i> , 2020)
Ampas teh	NaOH	67	(Mossfika <i>et al.</i> , 2020)
Kulit buah Kakao	KOH+CO ₂	90	(Yetri <i>et al.</i> , 2020)
Pelepah Aren	KOH+CO ₂	90	Penelitian sekarang

Kesimpulan

Pemanfaatan limbah pelepah Aren sebagai bahan asal pembuatan elektroda karbon superkapasitor dengan metode pengaktifan kimia dan fisika telah berhasil dilakukan. Setelah proses karbonisasi-aktivasi fisika, parameter fisis elektroda PA-0,3 mengalami penyusutan dengan persentase susut massa, tebal, diameter dan densitas elektroda masing-masing adalah 60,87; 30,43; 24,08 dan 5,71%. Elektroda PA-0,3 dihasilkan memiliki struktur semi kristal. Kapasitansi spesifik elektroda PA-0,3 berdasarkan variasi laju pemindaian mengalami penurunan. Kapasitansi spesifik elektroda PA-0,3 masing-masing berdasarkan laju pemindaian adalah 90 F g^{-1} untuk 1 mV s^{-1} , 82 F g^{-1} untuk 2 mV s^{-1} , dan 71 F g^{-1} untuk 5 mV s^{-1} .

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Riau melalui Proyek Penelitian Bidang Ilmu Tahun 2020 dengan judul “Elektroda superkapasitor berbasis limbah pohon Aren dengan metode pengaktifan

kimia dan fisika” dengan nomor kontrak: 748/UN.19.5.1.3/PT.01.03/2020.

Referensi

- Abioye, A.M., Ani, F.N. (2015) Recent development in the production of activated carbon electrodes from agricultural waste biomass for supercapacitors: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **52**: 1282–1293.
- Agustino, A., Awitdrus, A., Farma, R., Taer, E. (2020) Pembuatan dan karakterisasi elektroda karbon aktif dari serat daun nanas untuk aplikasi superkapasitor. *J. Aceh Phys. Soc.* **9**: 1–8.
- Awitdrus, A., Deraman, M., Talib, I.A., Farma, R., Nor, N.S.M., Ishak, M.M., Dolah, B.N. (2016) Cyclic voltammometry of binderless activated carbon monoliths-based supercapacitor from mixtures of pre-carbonized of fibers of empty fruit bunches and green petroleum coke. *KnE Eng.* **1**: 1–8.
- Conway, B.E. (1999) *Electrochemical supercapacitors: Scientific fundamentals and technological applications*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Farma, R., Deraman, M., Awitdrus, Talib, I.A., Omar, R., Manjunatha, J.G., Ishak, M.M., Basri, N.H., Dolah, B.N.M. (2013) Physical and electrochemical properties of supercapacitor electrodes derived from carbon nanotube and biomass carbon. *Int. J. Electrochem. Sci.* **8**: 257–273.
- González, A., Goikolea, E., Barrena, J.A., Mysyk, R. (2016) Review on supercapacitors: Technologies and materials. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **58**: 1189–1206
- Hatzell, K.B., Fan, L., Beidaghi, M., Boota, M., Pomerantseva, E., Kumbur, E.C., Gogotsi, Y. (2014) Composite manganese oxide percolating networks as a suspension electrode for an asymmetric flow capacitor. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **6**: 8886–8893
- Hou, H., Banks, C.E., Jing, M., Zhang, Y., Ji, X. (2015) Carbon quantum dots and their derivative 3d porous carbon frameworks for sodium-ion batteries with ultralong cycle life. *Adv. Mater.* **27**: 7861–7866
- Jain, D., Kanungo, J., Tripathi, S.K. (2020) Enhancement in performance of supercapacitor using eucalyptus leaves derived activated carbon electrode with CH₃COONa and HQ electrolytes: A step towards environment benign supercapacitor. *J. Alloys Compd.* **832**: 154956
- Jiang, H., Zhang, Y., Wang, C., Wang, Q., Meng, C., Wang, J. (2019) Rice husk-derived Mn₃O₄/manganese silicate/C nanostructured composites for high-performance hybrid supercapacitors. *Inorg. Chem. Front.* **6**: 2788–2800
- Mossfika, E., Syukri, S., Aziz, H. (2020) Preparation of activated carbon from tea waste by NaOH activation as a supercapacitor material. *Journal of Aceh Physics Society.* **9**: 42–47
- Niu, Q., Gao, K., Tang, Q., Wang, Lizhen, Han, L., Fang, H., Zhang, Y., Wang, S., Wang, Lixia (2017) Large-size graphene-like porous carbon nanosheets with controllable N-doped surface derived from sugarcane bagasse pith/chitosan for high performance supercapacitors. *Carbon N. Y.* **123**: 290–298.
- Olivares-Marín, M., Fernández, J.A., Lázaro, M.J., Fernández-González, C., Macías-García, A., Gómez-Serrano, V., Stoeckli, F., Centeno, T.A. (2009) Cherry stones as precursor of activated carbons for supercapacitors. *Mater. Chem. Phys.* **114**: 323–327.
- Pandolfo, A.G., Hollenkamp, A.F. (2006) Carbon properties and their role in supercapacitors. *J. Power Sources* **157**: 11–27
- Perdana, Y.Z., Joni, R., Emriadi, Aziz, H. (2020) Pengaruh aktivator KOH terhadap kinerja karbon aktif dari cangkang kelapa sawit sebagai bahan elektroda superkapasitor. *J. Aceh Phys. Soc.* **9**: 13–19
- Qie, L., Chen, W., Xu, H., Xiong, X., Jiang, Y., Zou, F., Hu, X., Xin, Y., Zhang, Z., Huang, Y. (2013) Synthesis of functionalized 3D hierarchical porous carbon for high-performance supercapacitors. *Energy Environ. Sci.* **6**: 2497–2504
- Sahari, J., Sapuan, S.M., Ismarrubie, Z.N., Rahman, M.Z.A. (2012) Physical and chemical properties of different morphological parts sugar palm fibers. *Fibres Text East Eur.* **2**(91): 23-26
- Taer, E., Afrianda, A., Taslim, R., Krisman, K., Minarni, M., Agustino, A., Apriwandi, A., Malik, U. (2018) The physical and electrochemical properties of activated carbon electrode made from Terminalia Catappa leaf (TCL) for supercapacitor cell application. *J. Phys. Conf. Ser.* **1120**: 012007
- Taer, E., Apriwandi, A., Taslim, R., Malik, U., Usman, Z. (2019) Single step carbonization-activation of durian shells for producing activated carbon monolith electrodes. *Int. J. Electrochem. Sci.* **14**: 1318–1330
- Taslim, R., Agustino, A., Taer, E. (2018) Natural carbon-metal composite for supercapacitor application. *J. Phys. Conf. Ser.* **1120**: 012008
- Xia, C., Shi, S.Q. (2016) Self-activation for activated carbon from biomass: Theory and parameters. *Green Chem.* **18**: 2063–2071.
- Yetri, Y., Mursida, Dahlan, D., Taer, E., Agustino, Muldarisnur. (2020) Identification of cacao peels potential as a basic of electrodes environmental friendly supercapacitors. *Key Eng. Mater.* **846 KEM**:274–281.
- Zhang, L.L., Zhao, X.S. (2009) Carbon-based materials as supercapacitor electrodes. *Chem. Soc. Rev.* **38**: 2520–2531
- Zhang, W., Lin, N., Liu, D., Xu, J., Sha, J., Yin, J., Tan, X., Yang, H., Lu, H., Lin, H. 2017. Direct carbonization of rice husk to prepare porous carbon for supercapacitor applications. *Energy.* **128**: 618–625.
- Zulkifli, Awitdrus, Taer, E. (2018) Studi awal pemanfaatan purun tikus sebagai elektroda superkapasitor menggunakan aktivasi uap air. *Journal of Aceh Physics Society.* **7**: 30–34