

Pengaktifan material karbon turunan sabut buah nipah dengan KOH dan NH₃ untuk aplikasi sel superkapasitor

Activation of nipah fruit coir-derived carbon material with KOH and NH₃ for supercapacitor cell applications

Rakhmawati Farma*, Vepy Asyana, dan Irma Apriyani

Received 19 September 2022
Accepted 24 October 2022
Published October 2022

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

Abstrak. Impregnasi kimia merupakan salah satu metode pengaktifan material karbon yang sederhana dan berbiaya rendah yang dapat merekayasa sifat elektrokimia elektroda sel superkapasitor. Material karbon diturunkan dari biomassa sabut buah nipah (SBN) dengan pengoptimalan reagen aktivator kimia (tanpa agen pengaktif, KOH, NH₃). Material karbon turunan sabut buah nipah disintesis melalui tahapan pra-karbonisasi, aktivasi kimia, karbonisasi-aktivasi fisika secara terintegrasi. Proses karbonisasi menggunakan aliran gas N₂ pada suhu 600°C dengan laju alir 1,5 L/menit dan tingkat pemanasan 3°C/menit, serta aktivasi fisika menggunakan gas CO₂ pada suhu 800°C dengan laju alir 1 L/menit dan tingkat pemanasan 10°C/menit. Sifat elektrokimia dianalisis menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *Galvanostatic Charge-Discharge* (GCD). Supercapacitor simetris berdasarkan bahan elektroda SBN memiliki kapasitansi spesifik optimum sebesar 224 Fg⁻¹ pada laju pemindaian 1mV/s dalam elektrolit berair (H₂SO₄ 1M) dioperasikan pada potensial 1V. Hasil ini memberikan gambaran yang jelas, strategi sintesis yang sederhana dan mudah untuk konversi skala besar limbah biomassa berkelanjutan menjadi material karbon untuk aplikasi penyimpanan dan konversi energi.

Abstract. Chemical impregnation is a simple and low-cost carbon materials activation method that can engineer the electrochemical properties of supercapacitor cell electrodes. The carbon material was derived from nipah fruit coir (SBN) biomass by optimizing chemical activator reagents (without activating agents, KOH, NH₃). The carbon material derived from nipah fruit coir is synthesized through of pre-carbonization, chemical activation, carbonization- physical activation in an integrated manner. The carbonization process uses N₂ gas flow at a temperature of 600°C with a flow rate of 1.5 L/min and a heating rate of 3°C/min, as well as physical activation using CO₂ gas at a temperature of 800°C with a flow rate of 1 L/min and a heating rate of 10°C/min. Electrochemical properties were analyzed using *Cyclic Voltammetry* (CV) and *Galvanostatic Charge-Discharge* (GCD) methods. The symmetrical supercapacitor based on SBN electrode material has an optimum specific capacitance of 224 Fg⁻¹ at a scan rate of 1mV/s in an aqueous electrolyte (H₂SO₄ 1M) operated at a potential of 1V. These results provide a clear, simple and easy synthesis strategy for the large-scale conversion of sustainable waste biomass into carbon materials for energy storage and conversion applications.

Keywords: Nipah fruit coir, Carbon material, Chemical impregnation, Supercapacitor

Pendahuluan

Perkembangan teknologi modern seperti kendaraan hibrida, produk elektronik portabel (ponsel, phablet, tablet, jam tangan, gelang, gantungan kunci), jaringan pintar disertai dengan pertumbuhan energi yang dihasilkan dari sumber terbarukan mendesak sistem penyimpanan energi yang lebih cepat dan lebih efisien (Wang *et al.*, 2020). Penyimpanan energi elektrokimia superkapasitor telah menarik perhatian karena propogasi muatan yang cepat, stabilitas siklus yang sangat baik, *pulse power supply*, pengoperasian yang sederhana, rapat daya dan energi yang tinggi dan ramah lingkungan (De *et al.*, 2020). Kinerja superkapasitor berdasarkan beberapa aspek seperti material elektroda, larutan elektrolit, pemisah dan kolektor arus yang digunakan (Islam *et al.*, 2021). Material elektroda memainkan peran penting dan menjadi aspek utama dalam peningkatan kinerja superkapasitor yang berhubungan dengan perilaku luas permukaan spesifik dan kapasitansi spesifik yang tinggi (Vinayagam *et al.*, 2020).

Material elektroda berbasis karbon secara umum untuk superkapasitor disebabkan oleh sifat fisikokimia yang stabil, luas permukaan spesifik yang tinggi, dan konduktivitas yang baik (Xu *et al.*, 2011). Biomassa dan turunannya telah banyak disiapkan untuk material elektroda karbon berpori yang dikaitkan dengan fitur terbarukannya, morfologi yang dapat diatur, ekonomis, seperti biomassa sabut pinang (Fang *et al.*, 2019), tandan kosong buah aren (Farma *et al.*, 2022), serat tandan kosong kelapa sawit (R. Farma *et al.*, 2021), sabut kelapa (Sesuk *et al.*, 2019) dan lain-lain.

Material elektroda turunan biomassa memiliki komposisi dan struktural yang berbeda setiap jenisnya sehingga metode sintesis yang digunakan dengan pengoptimalan setiap prosesnya perlu diperhatikan. Bahan elektroda yang diturunkan dari biomassa dengan metode penambahan karbon nano meterial memiliki struktur pori yang tidak beraturan dan saluran pori tunggal, yang mengarah pada peningkatan jarak difusi ion dan resistensi

dalam elektrolit, sehingga secara signifikan mengurangi kinerja elektroda sel superkapasitor (Wang *et al.*, 2019). Selain itu berbagai metode lain telah dicoba untuk meningkatkan kinerja elektrokimia, seperti metode template, aktivasi kimia, karbonisasi, aktivasi fisika dan lain-lain. Aktivasi kimia salah satu metode yang sangat umum untuk mengaktifkan karbon dengan reagen kimia sebagai aktivator. Aktivasi dapat dilakukan dalam satu langkah, di mana aktivator dicampur dengan biomassa dan dipanaskan pada temperatur rendah. Aktivator yang paling sering digunakan adalah KOH, NaOH, H_3PO_4 , K_2CO_3 , NH_3 , dan ZnCl_2 (Jiang *et al.*, 2022).

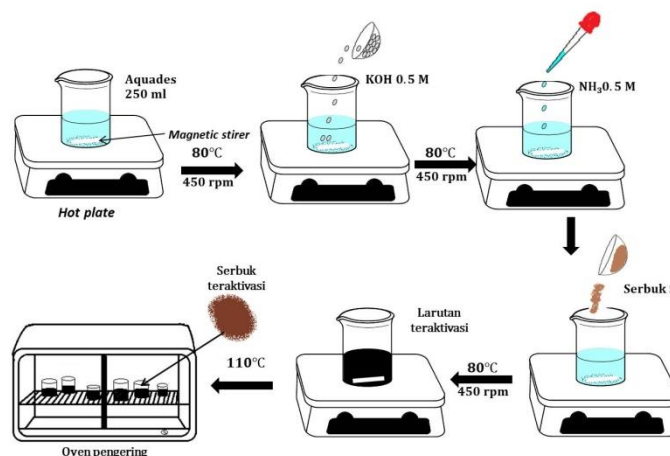
Penelitian ini berfokus pada material karbon turunan biomassa sabut buah nipah dengan berbagai jenis aktivator (tanpa agen pengaktif, KOH, dan NH_3), yang bertujuan untuk merekayasa sifat elektrokimia sel superkapasitor. Nipah atau *Nypa Fruticans* adalah salah satu tanaman palmae yang tumbuh di daerah pasang surut air laut serta tersebar hampir merata diseluruh Indonesia. Buah nipah merupakan hasil hutan yang bersifat musiman dengan buah yang sangat melimpah setiap musimnya. Biasanya masyarakat memanfaatkan daun nipah untuk membuat atap rumah dan anyaman, lidi dari daunnya diolah menjadi sapu, bahkan nipah juga dapat disadap nirahnya seperti aren (Moudingo *et al.*, 2020). Nipah memiliki buah yang berbentuk pipih dan berwarna coklat kemerah-merahan, di mana pada buah nipah terdapat kulit buah yang terdiri dari serabut-serabut seperti serabut pada kulit buah kelapa, akan tetapi serabut pada kulit nipah tersebut lebih halus. Kulit buah nipah dapat menjadi limbah yang dapat mencemari lingkungan apabila dibiarkan begitu saja. Sabut buah nipah berpotensi dijadikan elektroda karbon sel superkapasitor karena memiliki kandungan senyawa kimia aktif karbon yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin masing-masing, sebesar 36,5%, 21,8% dan 27,3% (Tamunaidu and Saka, 2011).

Metodologi Penelitian

Preparasi Elektroda Karbon

Biomassa buah Nipah yang sudah berwarna kecoklatan dikumpulkan dari pinggiran sungai Bengkalis, Riau, Indonesia. Buah nipah dipisahkan dari bijinya dan dipipihkan sehingga menghasilkan sabut buah nipah (SBN). Sabut buah nipah dikeringkan menggunakan sinar matahari selama 3-4 hari hingga massa konstan diikuti dengan proses pra-karbonisasi pada suhu 200°C selama 1 jam, dilanjutkan dengan penghalusan untuk memperoleh bubuk karbon berukuran $\leq 53 \mu\text{m}$. Selanjutnya bubuk yang diperoleh diaktivasi kimia menggunakan agen pengaktif KOH, NH_3 dan tanpa agen pengaktif selama 2 jam secara berurutan pada suhu 80°C . Larutan teraktivasi yang didapatkan dikeringkan pada suhu 100°C , lalu bubuk teraktivasi kimia dicetak kedalam bentuk pelet seperti koin menggunakan hidrolik press. Produk yang diperoleh diberi nama sebagai SBN-TA (tanpa agen pengaktif), SBN-K (agen pengaktif KOH) dan SBN-N (agen

pengaktif NH_3). Selanjutnya, pelet dengan setiap pengaktifan kimia, dilakukan proses karbonisasi-aktivasi fisika secara terintegrasi, proses karbonisasi menggunakan aliran gas N_2 pada suhu 600°C dengan laju alir 1,5 L/menit dan tingkat pemanasan $3^\circ\text{C}/\text{men}$, serta aktivasi fisika menggunakan gas CO_2 pada suhu 800°C dengan laju alir 1 L/menit dan tingkat pemanasan $10^\circ\text{C}/\text{men}$. Selanjutnya, elektroda karbon yang dihasilkan direndam aquades hingga mencapai pH ~ 7 . Akhirnya, elektroda karbon yang diperoleh dikeringkan pada suhu 100°C selama 24 h. Gambar 1 menunjukkan ilustrasi skema proses aktivasi kimia serbuk karbon sabut buah nipah.



Gambar 1 Proses aktivasi kimia

Pengujian Elektrokimia Sel Superkapasitor

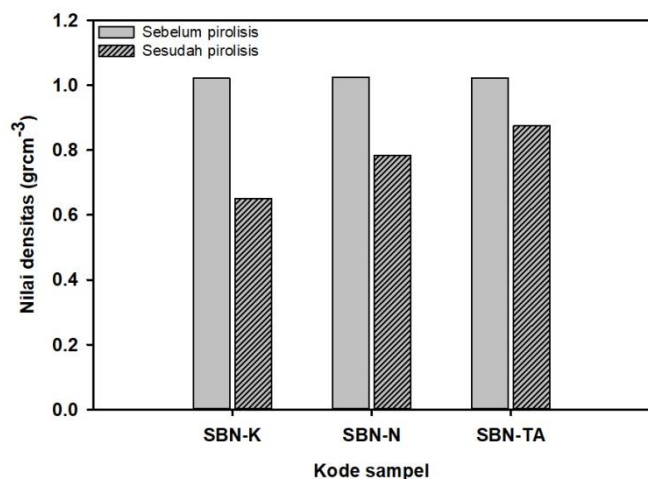
Sel superkapasitor dipersiapkan menggunakan sistem dua elektroda simetris, yang dipisahkan oleh membran kulit telur ayam di dalam larutan elektrolit H_2SO_4 1M dan kolektor arus *stainless steel* 316 L untuk mengumpulkan muatan bilayer yang dihasilkan selama proses pengisian-pengosongan. Pengujian elektrokimia sel superkapasitor menggunakan metode *Cyclic Voltametry* (CV) dan *Galvanostatic Charge-Discharge* (GCD). Metode CV menggunakan instrumen Physics CV UR Rad-Far 5831 pada *scan rate* 1, 2, 5, dan 10 mVs^{-1} dengan potensial pengoprasian 0-1 V. Selanjutnya, Metode GCD dilakukan menggunakan instrumen Physics GCD UR Rad-Far 5831 pada rapat arus 1, 2, 5, dan 10 Ag^{-1} dan potensial 0-1 V.

Hasil Penelitian

Analisis Penyusutan Densitas

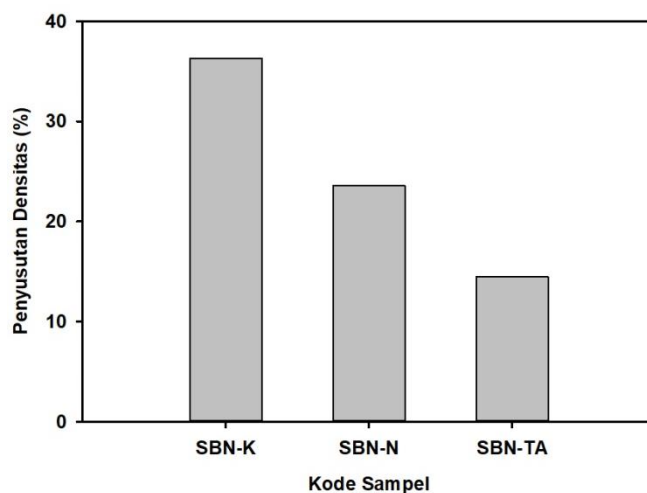
Pengukuran densitas elektroda karbon sel superkapasitor dilakukan sebelum dan sesudah proses karbonisasi-aktivasi fisika secara terintegrasi yang bertujuan untuk mengetahui penyusutan densitas dari elektroda karbon SBN yang berhubungan dengan sifat elektrokimia sel superkapasitor. Gambar 2 menunjukkan penurunan densitas yang terjadi terhadap elektroda SBN yang disebabkan oleh proses karbonisasi, di mana, senyawa-senyawa yang terdapat pada matriks karbon seperti senyawa *volatile* (CO_2 dan H_2O) dan senyawa pengotor (SiO_2 , CaCO_3 dan K_2CO_3) mengalami penguapan serta meninggalkan hole berukuran nanometer (De et al., 2020);

Banerjee et al., 2020). Proses aktivasi fisika juga berperan dalam penurunan densitas, hal ini diakibatkan oleh struktur pori yang terbentuk pada proses sebelumnya melebar mengacu pada pembentukan pori-pori dengan diameter lebih besar akibat terkikisnya dinding antar-pori dan terbentuknya pori-pori baru.



Gambar 2 Diagram batang nilai densitas sampel SBN

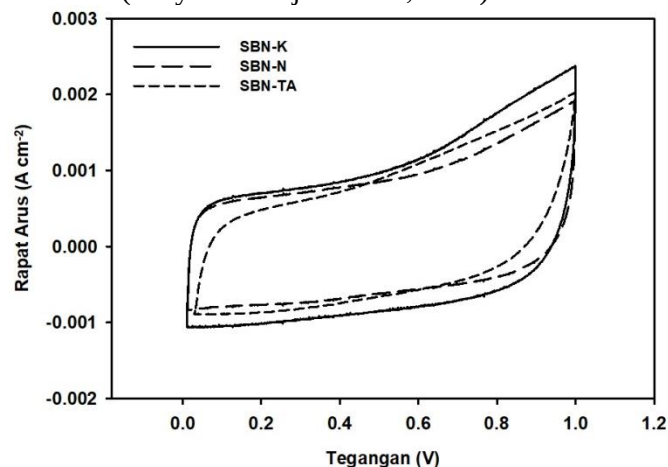
Gambar 3 menunjukkan penyusutan densitas pada elektroda karbon SBN-K, SBN-N, dan SBN-TA setelah proses pirolisis masing-masing sebesar 36,2 %, 23,5 % dan 14,4 %. Penyusutan densitas tertinggi elektroda karbon dimiliki oleh SBN-K, hal ini terjadi karena agen pengaktif KOH dapat menghasilkan struktur mikro-mesopori pada elektroda karbon. Agen pengaktif KOH juga memproduksi uap air yang berkontribusi pada gasifikasi karbon yang mempromosikan pengembangan struktur pori dan membentuk produk lanjutan yang dapat berinterkalasi ke dalam jaringan karbon yang mengarah ke perluasan kisi karbon (De et al., 2020). Agen penghidrasi NH_3 bereaksi dengan bahan karbon untuk menghasilkan gas yang mudah menguap. NH_3 memfasilitasi untuk menghasilkan mikropori pada permukaan luar bahan dengan pengikisan atom karbon (Ayinla et al., 2019; Wang et al., 2020; Jiang et al., 2022). Tanpa dilakukannya proses aktivasi kimia, pori hanya akan terbentuk pada saat proses aktivasi fisika, sehingga pembentukan pori menjadi kurang optimal. Elektroda karbon yang memiliki banyak pori mengakibatkan susut densitas yang lebih besar sehingga dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik.



Gambar 3 Diagram batang persentase susut densitas elektroda karbon SBN

Analisis Sifat elektrokimia sel superkapasitor

Perilaku elektrokimia sel superkapasitor berbasis biomassa sabut buah nipah dianalisis menggunakan pengukuran cyclic voltametry (CV) pada potensial yang meningkat dari 0 V hingga 1 V. Respon arus yang direkam untuk rentang potensial yang berbeda disajikan pada Gambar 4. Peningkatan rentang potensial dari 0 V hingga 1 V, kurva CV menunjukkan bentuk kuasi-persegi panjang yang merupakan tipe EDLC yang ideal (Wang et al., 2021). Luas kurva yang dibentuk oleh arus *charge* dan *discharge* menunjukkan kemampuan kinerja dan menyimpan energi elektrokimia, di mana agen pengaktif yang digunakan mempengaruhi luas kurva CV yang dihasilkan (Divya and Rajalakshmi, 2020).

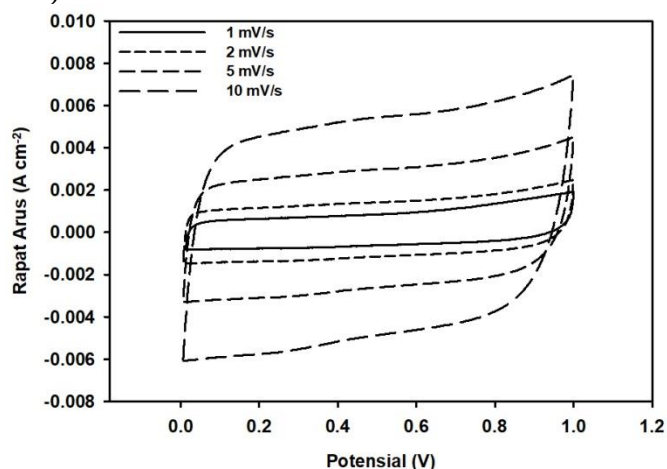


Gambar 4 Kurva CV dari elektroda sel superkapasitor Sabut Buah Nipah

Luas kurva CV terbentuk semakin besar mengindikasikan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan semakin tinggi, fenomena ini terjadi karena kurva dengan luas terbesar dihasilkan oleh respon arus yang tinggi disebabkan oleh akumulasi muatan ion-ion elektrolit dengan jumlah yang banyak pada permukaan elektroda sel superkapasitor (Fang et al., 2019). Luas kurva yang terbesar dimiliki oleh sampel SBN-K dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 224 Fg^{-1} dan luas kurva

yang terkecil dimiliki oleh sampel SBN-TA dengan kapasitansi spesifik yang sebesar 170 Fg^{-1} . Luas kurva CV SBN-N lebih besar jika dibandingkan dengan SBN-TA dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 90 Fg^{-1} .

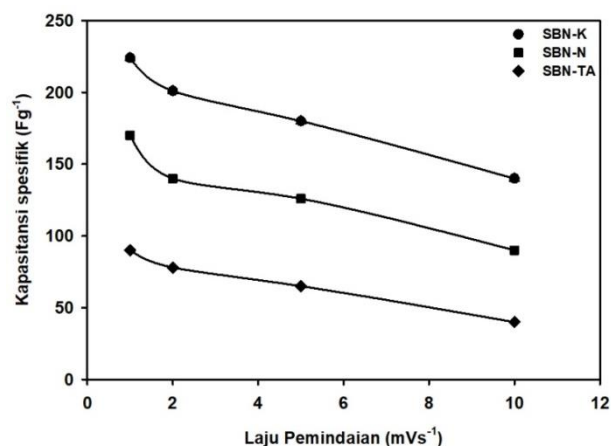
Nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan oleh setiap elektroda sel superkapasitor berhubungan dengan pembentukan pori-pori pada elektroda karbon. Pembentukan pori-pori berhubungan dengan penyusutan densitas, di mana, susut densitas tertinggi mengindikasikan pembentukan pori-pori dengan jumlah yang lebih banyak (Farma *et al.*, 2021). Dengan demikian, berdasarkan analisis penyusutan densitas SBN-K memiliki persentase susut densitas tertinggi yang mengindikasikan pembentukan pori-pori dengan jumlah yang lebih banyak dibandingkan sampel lainnya. Fenomena tersebut menyebabkan SBN-K memiliki nilai kapasitansi spesifik tertinggi disebabkan oleh kemampuan dalam akumulasi muatan dengan jumlah yang banyak, aktivator KOH dapat membentuk mikropori, dominasi mesopori dan mengoptimalkan distribusi makropori (Saikia *et al.*, 2020). Dominasi mesopori dalam SBN-K berfungsi sebagai media difusi ion-ion elektrolit dengan hambatan yang kecil dan jalur transfer yang baik untuk meningkatkan area kontak antara elektrolit dan elektroda yang dapat meningkatkan perilaku EDLC (Sankar *et al.*, 2019).



Gambar 5 Kurva CV SBN-K dengan variasi laju pemindaian

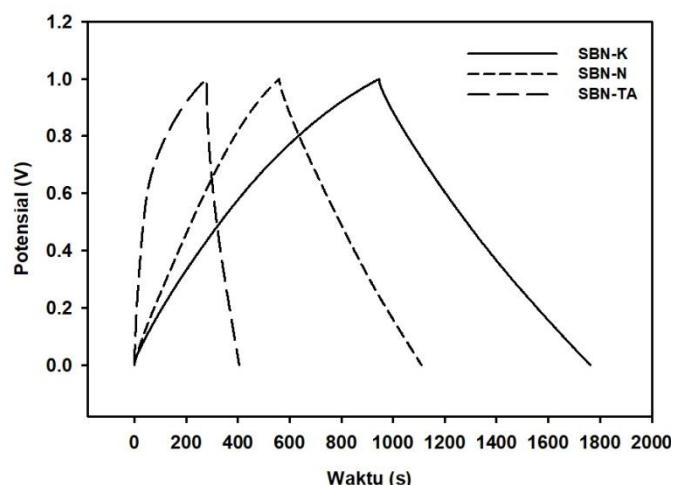
Gambar 5 menunjukkan kurva CV untuk SBN-K pada laju pemindaian dari 1 hingga 10 mVs^{-1} dalam rentang potensial yang sama. Arus pengisian-pengosongan bervariasi secara linier dengan laju pemindaian yang berbeda. Pada laju pemindaian yang rendah, ion H^+ dan SO_4^{2-} dapat mengisi sebagian besar situs aktif di permukaan serta daerah interior elektroda SBN-K. Fenomena tersebut disebabkan oleh fakta bahwa proses adsorpsi-desorpsi elektrokimia pada *scan rate* yang lebih rendah memiliki waktu yang cukup untuk difusi ion (Pang *et al.*, 2022). Sebaliknya, pada laju pemindaian yang lebih tinggi, ion-ion tersebut tidak dapat memperoleh waktu yang cukup untuk difusi secara efisien ke situs aktif disebabkan oleh tingkat mobilitas yang tinggi. Kurva

kuarsa persegi panjang memiliki bentuk yang tetap sama meskipun kecepatan pemindaian meningkat menjadi 10 mVs^{-1} , menunjukkan efisiensi yang baik untuk kinerja elektrokimia dan hambatan seri ekuivalen yang rendah dari elektroda.



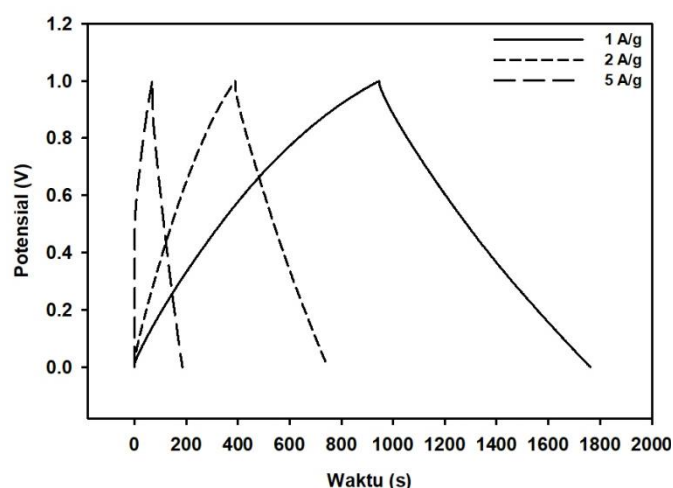
Gambar 6 Hubungan laju pemindaian dengan Nilai Kapasitansi Spesifik

Peningkatan laju pemindaian juga mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Nilai kapasitansi spesifik menurun dengan meningkatnya laju pemindaian yang berhubungan dengan waktu proses pengisian-pengosongan muatan (Baig and Gul, 2021). Gambar 7 menunjukkan Kurva GCD dari elektroda sel superkapasitor SBN yang memiliki bentuk seperti kuarsa segitiga, hal tersebut merupakan bentuk ideal untuk superkapasitor EDLC yang menunjukkan sifat lapisan ganda listrik (Jiang *et al.*, 2020). Sel SBN-K memiliki luas daerah yang lebih besar dan waktu pengisian dan pengosongan lebih lama dibandingkan sampel SBN-N dan SBN-T, hal ini menunjukkan sel SBN-K memiliki kinerja sel superkapasitor lebih baik dibandingkan sampel lain yang berkesesuaian dengan pengujian CV. Selain itu penurunan IR atau penurunan tegangan tiba-tiba ditinjau pada setiap sampel. Penurunan IR terjadi karena peningkatan tegangan tiap pertambahan waktu, dengan resistansi seri yang menyebabkan tegangan sel turun dengan cepat saat beralih dari pengisian menjadi pengosongan muatan. Sampel SBN-K menunjukkan R_{ct} yang lebih rendah sebesar $0,005 \Omega$, jika dibandingkan dengan sampel lainnya masing-masing sebesar $0,0010 \Omega$ dan $0,0024 \Omega$ untuk sampel SBN-N, dan SBN-TA, fenomena tersebut bermanfaat dalam peningkatan laju difusi ion elektrolit pada jaringan pori matriks karbon yang akan menghasilkan kinerja kapasitif yang lebih baik untuk sel superkapasitor. Waktu pengosongan yang lebih lama dan penurunan IR yang pendek menyebabkan kapasitas penyimpanan muatan yang lebih tinggi (He *et al.*, 2019). Sampel SBN-KOH memiliki waktu pengosongan yang paling lama dan penurunan IR yang paling pendek dibandingkan sampel SBN lainnya, sehingga menyebabkan kapasitas penyimpanan muatan yang lebih tinggi dan dapat meningkatkan kinerja superkapasitor yang lebih baik.



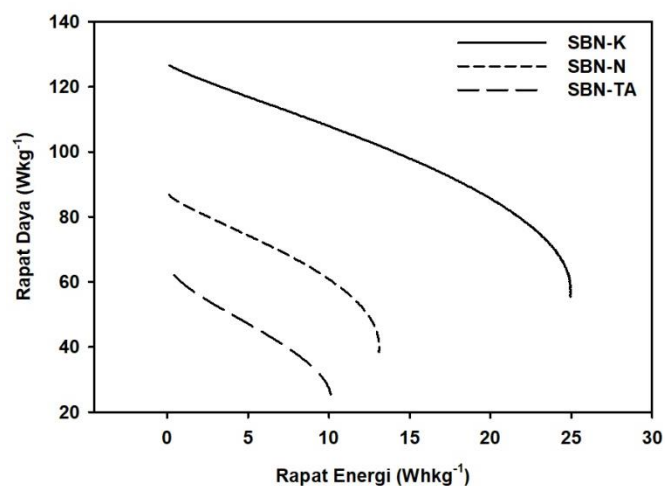
Gambar 7 Kurva GCD dari elektroda sel superkapasitor

Gambar 8 menunjukkan kurva GCD sampel SS-K dengan variasi rapat arus 1, 2, dan 5 A g^{-1} , di mana, kurva GCD SBN-K pada rapat arus yang berbeda menunjukkan bentuk kuarsa segitiga yang sama tanpa pendistorsian. Fenomena ini mengindikasikan proses adsorpsi-desorpsi ion bersifat reversibel dan transfer ion yang efektif pada antarmuka elektroda-elektrolit (wu *et al.*, 2020).



Gambar 8 Kurva GCD dari SBN-K dengan variasi rapat arus

Gambar 9 menunjukkan plot Ragone hubungan energi spesifik dan daya spesifik dari elektroda sel superkapasitor turunan biomassa sabut buah nipah. Energi spesifik menurun secara linier dengan peningkatan daya spesifik untuk semua sel superkapasitor SBN, fenomena tersebut menjelaskan bahwa lebih sedikit energi yang dilepaskan pada keluaran daya yang lebih tinggi (Farma *et al.*, 2022b). Hubungan energi daya terbaik untuk sel superkapasitor SBN yaitu sampel SBN-K, dapat menghasilkan kinerja elektroda sel superkapasitor tertinggi jika dibandingkan dengan sampel SBN lainnya. Energi spesifik dan daya spesifik maksimum yaitu 25 Wh kg^{-1} dan 126 W kg^{-1} masing-masing untuk elektroda sel superkapasitor SBN-K.



Gambar 9 Grafik ragone plot dari elektroda SBN

Kesimpulan

Konversi limbah biomassa dengan kandungan lignoselulosa yang tinggi menjadi material karbon untuk aplikasi sel superkapasitor memiliki beberapa karakteristik seperti terbarukan, murah, ekonomis, ramah lingkungan dan metode sintesis yang sederhana. Metode pengaktifan secara kimia dapat mengoptimalkan sifat elektrokimia elektroda sel superkapasitor berbasis biomassa. Pada penelitian ini material karbon diturunkan dari biomassa sabut buah nipah dengan pengoptimalan proses pengaktifan secara kimia. Elektroda karbon yang dihasilkan menghasilkan penyusutan densitas yang berbeda-beda. SBN-K memiliki persentase penyusutan densitas terendah sebesar 36,2 %. Sifat elektrokimia sampel SBN-KOH memiliki rapat daya spesifik tertinggi yaitu 126 W kg^{-1} pada sistem elektroda simetris didalam larutan elektrolit H_2SO_4 1 M. Sifat fisis dan sifat elektrokimia dari material karbon yang diturunkan dari biomassa sabut buah nipah dapat dikontrol secara efektif dengan pengaturan aktivator kimia yang digunakan. Metode ini dengan pemahaman lebih lanjut memberikan rute yang sederhana dan hemat biaya untuk merekayasa sifat elektrokimia sel superkapasitor untuk mencapai superkapasitor berkinerja tinggi.

Ucapan Terima Kasih

The authors wish to extend their gratitude to the Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, with contract number: 470/UN.19.5.1.1.3/KPT/2022.

Referensi

- 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**(20): 1427–1442.
- Baig, M. M., & Gul, I. H. (2021) Conversion of wheat husk to high surface area activated carbon for energy storage in

- high-performance supercapacitors. *Biomass and Bioenergy*. 144: 105909.
- Banerjee, S., De, B., Sinha, P., Cherusseri, J & Kar, K. K. (2020) Applications of supercapacitors. *Springer Series in Materials Science*. **300**: 341-250.
- Sinha, P., Banerjee, S., & Kar, K. K. (2020) Transition Metal Oxide-/Carbon-/Electronically Conducting Polymer-Based Ternary Composites as Electrode Materials For Supercapacitors. *Springer Series in Materials Science*. **302**: 145–178.
- Divya, P., & Rajalakshmi, R. (2020) Renewable low Cost Green Functional Mesoporous Electrodes From Solanum Lycopersicum Leaves for Supercapacitors. *Journal of Energy Storage*. 101149.
- Fang, J., Guo, D., Kang, C., Wan, S., Li, S., Fu, L., Liu, G., & Liu, Q (2019) Enhanced Hetero-Elements Doping Content in Biomass Waste-Derived Carbon for High Performance Supercapacitor. *International Journal of Energy Research*. **43**(14): 8811–8821.
- Farma, R. (2021) Effect of KOH Concentration and Growth of Platinum Nanoparticles on Current Collector to Improved Performance of Supercapacitor Cells. *Journal of Ovonic Research*. **17**(2): 185–190.
- Farma, R. (2021) The Production of Carbon Electrodes From Lignocellulosic Biomass of Areca Midrib Through A Chemical Activation Process For Supercapacitor Cells Application. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 1–11.
- Farma, R. Apriyani, I., Awitdrus, A., Taer, E., Apriwandi, A. (2022) Hemicellulosa-Derived Arenga Pinnata Bunches As Free-Standing Carbon Nanofiber Membranes For Electrode Material Supercapacitors. *Scientific Reports*. **12**(1): 1–11.
- He, J., Zhang, D., Han, M., Liu, X., Wang, Y., Li, Y., Zhang, X., Wang, K., Feng, H., & Wang, Y. (2019) One-Step Large-Scale Fabrication Of Nitrogen Doped Microporous Carbon By Self-Activation Of Biomass For Supercapacitors Application. *Journal of Energy Storage*. **21**: 94–104.
- Islam, M. A. (2021) Biomass-Derived Cellulose Nanofibrils Membrane From Rice Straw As Sustainable Separator For High Performance Supercapacitor. *Industrial Crops and Products*. 170: 113694.
- Jiang, C., Yakaboylu, C. A., Yumak, T., Zondi, J. W., Sabolsk, E. M., & Wang, J. (2020) Activated Carbons Prepared By Indirect And Direct CO₂ Activation Of Lignocellulosic Biomass For Supercapacitor Electrodes. *Renewable Energy*. 155: 38–52.
- Jiang, G., Senthil, R. A., Sun, Y., Kumar, R. T., & Pan, J. (2022) Recent Progress On Porous Carbon And Its Derivatives From Plants As Advanced Electrode Materials For Supercapacitors. *Journal of Power Sources*. **520**: 230886.
- Moudingo, J. H., Ajonina, G., Dibong, D., & Tomedi, M. (2020) Distribution, Devastating Effect, And Drivers Of The Exotic Mangrove *Nypa fruticans* Van Wurmb (Arecaceae) On The Mangroves Of West And Central Africa. *Biotechnological Utilization of Mangrove Resources*. 49-78.
- Pang, X. et al. (2022) Synthesis Of Bamboo-Derived Porous Carbon: Exploring Structure Change, Pore Formation And Supercapacitor Application. *Journal of Porous Materials*. **29**(2): 559–569.
- Saikia, B. K., Benoy, S. M., Bora, M., Tamuly, J., Pandey, M., Bhattacharya, D. (2020) A Brief Review On Supercapacitor Energy Storage Devices And Utilization Of Natural Carbon Resources As Their Electrode Materials. *Fuel*. **282**: 118796.
- Sankar, S., AHmed, A. T. A., Inamdar, A. I., Im, H., Im, Y. B., Lee, Y., Kim, D. Y., Lee, S. (2019) Biomass-Derived Ultrathin Mesoporous Graphitic Carbon Nanoflakes As Stable Electrode Material For High-Performance Supercapacitors. *Materials and Design*. **169**(5): 107688.
- Sesuk, T., Tammawat, P., Jivaganont, P., Somton, K., Limthongkul, P., Kobsiriphat, W. (2019) Activated Carbon Derived From Coconut Coir Pith As High Performance Supercapacitor Electrode Material', *Journal of Energy Storage*. **25**: 100910.
- Tamunaidu, P., & Saka, S. (2011) Chemical Characterization Of Various Parts Of Nipa Palm (*Nypa fruticans*). *Industrial Crops and Products*. **34**(3): 1423–1428.
- Vinayagam, M., Babu, R. S., Sivasamy, A., & Barros, A. L. F. de. (2020) Biomass-Derived Porous Activated Carbon From Syzygium Cumini Fruit Shells And Chrysopogon Zizanioides Roots For High-Energy Density Symmetric Supercapacitors. *Biomass and Bioenergy*. **143**: 105838.
- Wang, H. Niu, H., Wang, H., Wan, W., Jin, X., Wang, H., Zhou, H., & Lin, T. (2021) Micro-Meso Porous Structured Carbon Nanofibers With Ultra-High Surface Area And Large Supercapacitor Electrode Capacitance. *Journal of Power Sources*. **482**: 228986.
- Wang, J., Zhang, X., Li, Z., Ma, Y., & Ma, L. (2020) Recent Progress Of Biomass-Derived Carbon Materials For Supercapacitors. *Journal of Power Sources*. **451**: 227794.
- Wang, Y., Qu, Q., Gao, S., Tang, G., Liu, K., He, S., & Huang, C. (2019) Biomass Derived Carbon As Binder-Free Electrode Materials For Supercapacitors. *Carbon*. **155**: 706–726.
- Wu, J., Xia, M., Zhang, X., Chen, Y., Sun, F., Wang, X., Yang, H., & Chen, H. (2020) Hierarchical Porous Carbon Derived From Wood Tar Using Crab As The Template: Performance On Supercapacitor. *Journal of Power Sources*. **455**: 227982.
- Xu, B., Liu, X., Zhou, K., & Jia, J. (2011) Carbon Materials for Supercapacitors. In: Ozoemena, K., Chen, S. (eds) *Nanomaterials in Advanced Batteries and Supercapacitors*. Nanostructure Science and Technology. Switzerland: Springer, Cham.