

Analisis Pengaruh Variasi Elektrolit H₂SO₄, KOH, dan Na₂SO₄ Terhadap Kinerja Elektrokimia Superkapasitor berbasis Biomassa Kulit Kakao

Exaudi Pratama Rajagukguk¹, Widi Mulia Nasution², Mulda Muldarisnur^{1*}, Yuli Yetri³

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas

²Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau

³Prodi Rekayasa Perancangan Mekanik, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 31 Mei 2024

Direvisi: 10 Juli 2024

Diterima: 23 Juli 2024

Kata kunci:

Biomassa

Elektrolit

Kapasitansi Spesifik

Kulit Kakao

Superkapasitor

Keywords:

Biomass

Electrolite

Specific Capacitance

Cacao Husk

Supercapacitor

Penulis Korespondensi:

Muldarisnur

Email: muldarisnur@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan material dasar limbah kulit kakao (*Theobroma cacao*) sebagai elektroda karbon superkapasitor melalui optimasi elektrolit berhasil dilakukan dengan aktivator kimia KOH 0,4 M. Produksi karbon dimulai dari pengirisan kulit buah kakao, pengeringan dengan bantuan sinar Matahari, prakarbonisasi, penghancuran partikel karbon dengan mortar dan *ball milling*, serta penyeragaman ukuran partikel menggunakan ayakan. Serbuk partikel yang telah didapatkan, diaktivasi kimia dengan KOH 0,4 M, pencetakan koin karbon monolit dan diakhiri dengan pirolisis terintegrasi. Sampel dipirolisis terintegrasi satu tahap dengan karbonisasi dari suhu ruang hingga suhu 600 °C dalam lingkungan gas N₂, dilanjutkan dengan aktivasi fisika hingga suhu 700 °C dalam lingkungan gas CO₂. Pengujian sifat elektrokimia elektroda karbon berdasarkan jenis elektrolit yang berbeda (H₂SO₄, KOH, dan Na₂SO₄) 1M menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *Galvanostatic Charge Discharge* (GCD). Sampel yang diberikan elektrolit H₂SO₄ dikonfirmasi memiliki kapasitansi spesifik tertinggi yaitu sebesar 412,94 F/g pada arus 1 A/g. Berdasarkan hasil penelitian ini dikonfirmasi bahwa kulit buah kakao berpotensi sebagai sumber untuk material dasar elektroda dengan larutan elektrolit H₂SO₄ sebagai sumber pembawa muatan dalam piranti sel superkapasitor.

Utilization of cocoa pod waste (Theobroma cacao) as a supercapacitor carbon electrode through electrolyte optimisation was successfully conducted with 0.5M KOH chemical activator. Carbon production starts with slicing cocoa pods, sun drying, pre-carbonisation, crushing of carbon particles with mortar and ball milling, and particle size uniformity using a sieve. The obtained particle powder was chemically activated with 0.5M KOH, coin-molded into of carbon monolith and finished with integrated pyrolysis. Samples were subjected to one-stage integrated pyrolysis by carbonisation from room temperature to 600° C in an N₂ gas environment, followed by physical activation to 700° C in a CO₂ gas environment. Testing the electrochemical properties of carbon electrodes based on different types of electrolytes (H₂SO₄, KOH, and Na₂SO₄) 1M using cyclic voltammetry (CV) and galvanostatic charge discharge (GCD) methods. The sample provided with H₂SO₄ electrolyte was confirmed to have the highest specific capacitance of 412.94 F/g at a current of 1 A/g. Based on the results of this study, it is confirmed that cocoa pods have the potential to be a source of electrode base material with H₂SO₄ electrolyte solution as a source of charge carrier in supercapacitor cell devices.

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan utama yang digunakan di berbagai bidang kehidupan. Semua alat elektronik yang ada saat ini, seperti telepon seluler dan laptop membutuhkan suplai energi listrik. Mobilitas pengguna berdampak pada diperlukannya peralatan *portable* yang dapat digunakan dimana saja. Penggunaan sumber energi tersebut memerlukan media penyimpanan energi yang efisien dan terjangkau. Perkembangan perangkat penyimpan energi seperti kapasitor, superkapasitor, baterai, dan sel bahan bakar terus berkembang seiring dengan permintaan energi. Setiap perangkat tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan dalam hal kepadatan energi dan daya yang dapat disimpan. Perangkat penyimpanan yang paling ideal adalah yang memiliki nilai kepadatan energi dan daya yang seimbang, seperti yang terdapat pada superkapasitor dan baterai dengan rentang kepadatan daya dan energi yang berada di antara kapasitor dan sel bahan bakar. Baterai cenderung sulit diisi ulang, dan kapasitas penyimpanannya tergantung pada ukuran baterai. Superkapasitor memiliki keunggulan karena dapat diisi ulang dengan cepat, memiliki kepadatan daya yang tinggi, kapasitas penyimpanan muatan yang besar, proses pengisian dan pengosongan muatan yang cepat, serta jangka waktu penggunaan yang lebih panjang (Miller & Burke, 2008).

Kemampuan superkapasitor untuk menyimpan energi dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kapasitansi spesifik dari bahan elektroda. Beberapa contoh elektroda yang umum digunakan melibatkan bahan seperti karbon, logam pengoksida, dan polimer (Simon & Gogotsi, 2010). Polimer dan logam pengoksida memiliki kapasitas relatif tinggi, namun harganya cenderung mahal. Di sisi lain, karbon memiliki kapasitas relatif yang lebih rendah namun harganya lebih terjangkau. Penggunaan elektroda berbahan karbon dapat meningkatkan kinerja superkapasitor, salah satunya dengan meningkatkan nilai luas permukaan dan struktur pori agar mencapai kondisi optimal (Simon & Gogotsi, 2010).

Karbon aktif dapat dibuat dari bahan-bahan yang mengandung karbon, seperti batu bara, karbon aerogel, logam oksida, nano komposit, dan polimer konduktif. Bahan yang di atas cukup langka dan mahal sehingga menghambat pengembangan superkapasitor. Karbon aktif yang berasal dari limbah biomassa merupakan bahan baku alternatif berbiaya rendah (Azevedo dkk., 2007). Bahan organik yang memiliki kandungan karbon tinggi merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan kemampuan menyimpan muatan listrik superkapasitor. Pemanfaatan bahan biomassa dalam pembuatan karbon aktif untuk elektroda superkapasitor saat ini menjadi fokus perhatian karena dinilai lebih menguntungkan dari segi ekonomi, lingkungan, dan sosial (Pari dkk., 2014).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan bahwa kulit kakao mengandung selulosa sekitar 23-54%. Kulit buah kakao juga memiliki kandungan lignin sebesar 60,67%, holoselulosa 36,47% dan hemiselulosa 18,90% (Loppies, 2016). Kandungan tersebut mengindikasikan bahwa kulit buah kakao dapat diolah menjadi arang yang mengandung banyak karbon. Pemanfaatan kulit buah kakao ini dapat membantu dalam upaya pengolahan limbah yang dihasilkan oleh kulit buah kakao di Indonesia, serta mengurangi jumlah elektroda karbon yang di impor oleh industri. Produksi biji kakao kering memiliki perbandingan 1:10 dengan kulit buah kakao. Hal ini menyebabkan banyaknya limbah yang dihasilkan dari kulit buah kakao tersebut. Penanganan produksi yang tinggi ini diperlukan sehingga tidak mengganggu produksi dan lingkungan sekitar pabrik pengolahan. Kinerja elektroda superkapasitor juga dapat dipengaruhi oleh jenis elektrolit yang menyediakan transfer ion pada elektroda.

Elektrolit diketahui dapat memberikan ion pada karbon sehingga dapat mempengaruhi nilai kapasitansi yang dihasilkan. Elektrolit yang biasa digunakan yaitu asam sulfat (H₂SO₄), kalium hidroksida (KOH), dan natrium sulfat (Na₂SO₄). Pemberian variasi elektrolit ini dirasa penting untuk melihat hubungannya dengan interaksi ion pada elektroda terhadap kapasitansi dan konduktivitas superkapasitor.

II. METODE

2.1 Pembuatan Karbon Aktif

2.1.1 Kulit Kakao

Kulit buah kakao yang digunakan dalam penelitian ini merupakan yang baru diambil dari batangnya, masih bagus dan belum busuk. Kulit buah kakao dibersihkan (dicuci) dengan air kemudian dipotong tipis-tipis, ukuran kurang lebih 5 cm x 1 cm (Nuradi dkk., 2022; Yetri, Mursida, dkk., 2020).

2.1.2 Penjemuran

Kulit buah kakao yang telah dipotong-potong, dikeringkan dalam ruangan sampai kadar airnya berkurang atau bentuk fisiknya berubah menjadi warna coklat dan mengkerut (lebih kurang 14 Hari) (Afza dkk., 2021; Rahmi dkk., 2021).

2.1.3 Prakarbonisasi

Prakarbonisasi merupakan proses dimana kulit buah kakao yang telah dikeringkan dipanaskan pada suhu 250 °C selama 2,5 jam dalam tabung yang terbuat dari *stainless steel* dan dalam keadaan vakum. Proses prakarbonisasi dengan suhu 250 °C mengakibatkan kulit buah kakao perlahan-lahan berubah menjadi karbon berwarna coklat gelap serta memiliki kandungan karbon lebih kurang 70%. Prakarbonisasi dilakukan dengan menggunakan oven dengan spesifikasi suhu paling tinggi 250 °C.

2.1.4 Penghancuran dan Pengayakan

Proses penghalusan karbon kulit buah kakao dapat dilakukan dengan menggunakan lumpang dan alu dengan tujuan mempermudah dan mempercepat tahap penggilingan dengan menggunakan *ball mill*. Sebanyak 150 gram sampel yang sudah diprakarbonisasi dimasukkan ke dalam tabung yang di dalamnya berisi 30 buah bola-bola besi, kemudian penggilingan dilakukan sekitar kurang lebih 20 jam, setiap 4 jam sekali alat penggilingan diistirahatkan selama 1 jam. Perlakuan berikutnya dilakukan pengayakan dengan menggunakan ayakan 0,8 µm, dengan demikian akan diperoleh butiran serbuk ≤ 0,8 µm.

2.1.5 Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia dilakukan dengan mencampur KOH 0,4M dengan akuades dan memanaskannya di atas *hot plate* pada suhu 80°C dan putaran 300 rpm selama satu jam. Kemudian sebanyak 30 g serbuk kulit buah kakao dimasukkan ke dalam larutan KOH yang telah bercampur dengan akuades dan diaduk hingga tercampur rata dan dipanaskan kembali di atas *hot plate* selama 2 jam dengan suhu dipertahankan konstan 80 °C. Proses ini bertujuan untuk memperbesar pori pada sampel karbon aktif. Sampel yang sudah diaktivasi kemudian dinetralkan menggunakan air suling hingga pH sampel tersebut netral (pH = 7).

2.1.6 Pencetakan Elektroda Karbon

Pencetakan pelet dilakukan dengan menggunakan *hydraulic press*. Cetakan pelet terbuat dari besi pejal yang mempunyai diameter 7 cm dan tinggi 10 cm, kemudian pada bagian tengahnya terdapat lubang dengan diameter 2 cm sebagai wadah sampel yang akan dicetak. Serbuk kulit buah kakao ditimbang sebanyak 0,7 g kemudian dimasukkan ke dalam cetakan. Pencetakan dilakukan dengan pemberian tekanan 8 ton oleh alat *hydraulic press*. Tekanan 8 ton merupakan tekanan ideal yang dapat memampatkan serbuk di dalam cetakan sehingga pelet yang dihasilkan padat, kuat, dan tidak mudah pecah (Nuradi dkk., 2022).

2.1.7 Karbonisasi

Proses karbonisasi dilakukan pada oven pemanasan suhu tinggi dengan ketentuan oven tersebut memiliki lingkungan gas nitrogen (N₂) untuk menghindari pelet terurai menjadi abu. Proses tersebut membutuhkan waktu kurang lebih 8 - 9 jam sesuai dengan temperatur pemanasan yang diberikan. Pemanasan merupakan aspek utama yang diberikan dalam proses karbonisasi.

2.1.8 Aktivasi Fisika

Pelet karbon yang dibuat dari proses karbonisasi kemudian diaktivasi melalui aktivasi fisika dengan menggunakan oven yang dialiri dengan gas CO₂ pada suhu 700 °C selama 4 jam untuk meningkatkan luas permukaan pelet karbon. Proses ini akan memperbesar pori pada sampel elektroda. Selanjutnya, sampel pelet elektroda karbon yang telah dikarbonisasi dan aktivasi fisika dinetralkan kembali menggunakan air suling hingga pH sampel tersebut netral (pH = 7). Selanjutnya sampel dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam dengan suhu 105 °C.

2.1.9 Pemolesan

Sampel pelet karbon yang sudah netral dan kering dipoles menggunakan kertas pasir *Hammer P600* untuk memperkecil diameter dan *Hammer P1200* untuk memperkecil ketebalan pelet karbon. Pemolesan ini bertujuan untuk memperoleh pelet elektroda karbon dengan diameter sekitar 7-8 mm dan

ketebalan 0,2-0,25 mm serta mengurangi cacat permukaan pada pelet karbon yang terjadi selama proses karbonisasi dan aktivasi fisika.

2.1.10 Pembuatan Sel Superkapasitor

Sel superkapasitor dibuat dengan permukaannya berbentuk lingkaran dengan susunan komponennya: teflon, pengumpul arus (*stainless steel*), elektroda karbon, separator (pemisah) dari membran telur itik, elektroda karbon, dan pengumpul arus. Sebelum elektroda digunakan, terlebih dahulu direndam dalam larutan elektrolit 1 M H₂SO₄, KOH dan Na₂SO₄. Pengujian nilai pH dilakukan pada waktu pergantian air, dengan tujuan mencapai pH netral atau pH = 7 pada pelet karbon tersebut.

2.2 Karakterisasi Sifat Elektrokimia Elektroda Karbon Kulit Kakao

Sifat elektrokimia elektroda karbon kakao dievaluasi melalui teknik *Cyclic Voltammetry* (CV), dan *Galvanostatic Charge Discharge* (GCD). Pengukuran CV menggunakan instrument *Physics CV UR Rad-Er 5841* yang dikontrol dengan *Software Cyclic Voltammetry CV V6* pada potensial 0-1000 mV dengan laju pemindaian 1 mV/s. Selanjutnya, kapasitansi spesifik dihitung menggunakan Persamaan 1.

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

dimana C_{sp} merupakan kapasitansi spesifik (F/g), I_c merupakan arus *charge* dan I_d merupakan arus *discharge* (A), s merupakan laju pemindaian (mV/s) dan m merupakan massa elektroda (g).

Pengukuran sifat elektrokimia menggunakan metode GCD pada rapat arus 1 A/g. Metode ini dilakukan dengan alat *CD UR Rad-ER 2018* pada tegangan antara 0-1 V dengan densitas arus konstan sebesar 0,01 mA/s. Selanjutnya, nilai kapasitansi spesifik dievaluasi menggunakan Persamaan 2.

$$C_{sp} = \frac{I \times \Delta t}{m \times \Delta V} \quad (2)$$

dimana C_{sp} merupakan kapasitansi spesifik, I merupakan arus, Δt merupakan waktu pengosongan, m merupakan massa kerja, ΔV merupakan jendela potensial.

Selanjutnya, analisis mendalam elektroda karbon kulit kakao untuk aplikasi penyimpanan energi superkapasitor ditinjau melalui hubungan antara kerapatan energi dan kerapatan daya yang dihitung menggunakan Persamaan 3 dan 4 .

$$E_{sp} = \frac{C_{sp} \times \Delta V^2}{7.2} \quad (3)$$

$$P_{sp} = \frac{3600 \times E_{sp}}{\Delta t} \quad (4)$$

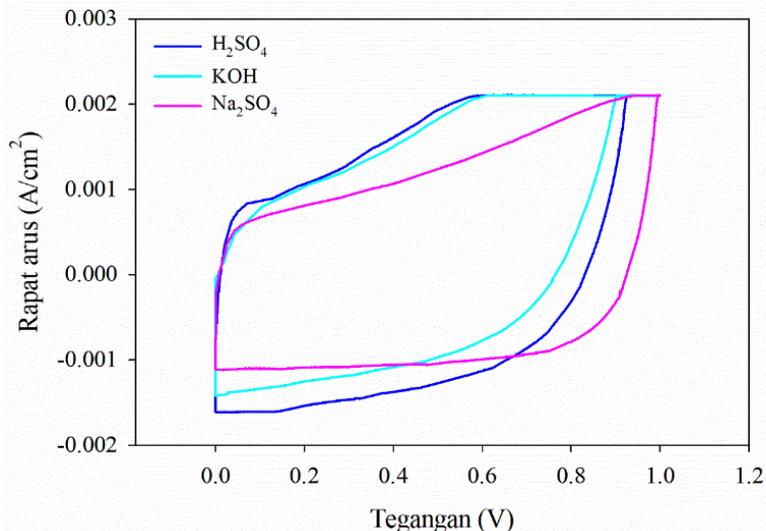
III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Pengukuran Cyclic Voltammetry (CV)

Sifat etektrokimia karbon aktif berbasis kulit kakao dikonfirmasi melalui pengukuran *cyclic voltammetry*. Pengukuran ini dilakukan menggunakan alat *Physics CV UR Rad-ER 5841* dengan laju pemindaian 1 mV/s pada tegangan 0-1 V. Pengujian CV dari elektroda karbon ini dipengaruhi oleh elektrolit yang berbeda yaitu elektrolit asam H₂SO₄, elektrolit basa KOH dan elektrolit netral Na₂SO₄ dengan konsentrasi 1M. Kurva voltamogram elektroda karbon berbasis kulit kakao dalam larutan elektrolit berbeda dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1 memperlihatkan kurva yang dihasilkan dari pengukuran CV dengan bentuk kurva seperti persegi panjang terdistorsi yang merupakan ciri khas dari *Electrical Double Layer Capacitor* (EDLC) untuk elektroda karbon berbasis biomassa. Nilai kapasitansi spesifik dapat diasumsikan berdasarkan luasnya kurva CV yang dihasilkan dari proses pengisian-pengosongan, yaitu semakin luas kurva CV mengindikasikan besarnya nilai kapasitansi spesifik (Yetri, Hoang, dkk., 2020). Terlihat jelas pada Gambar 1 elektroda karbon yang dipengaruhi oleh larutan elektrolit H₂SO₄ memberikan bentuk

kurva yang lebih luas daripada larutan elektrolit KOH dan Na₂SO₄. Selain itu, pada ketiga elektroda karbon yang dipengaruhi larutan elektrolit H₂SO₄, KOH dan Na₂SO₄ menunjukkan adanya puncak pseudokapasitansi kecil yang terbentuk. Puncak pseudokapasitansi yang terbentuk mencirikan adanya kapasitansi semu yang dihasilkan oleh unsur O yang berperan sebagai *self-doping*. Efek kapasitansi semu ini secara langsung dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik (Taer dkk., 2021).



Gambar 1 Kurva CV elektroda karbon aktif kulit kakao dalam 1 M elektrolit H₂SO₄, KOH, dan Na₂SO₄

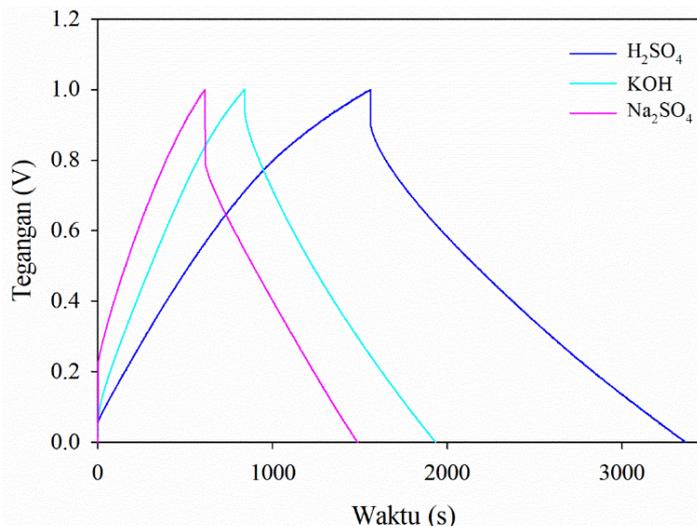
Secara umum, kinerja larutan elektrokimia yang baik dipengaruhi oleh jenis elektrolit dengan sifat yang berbeda-beda seperti jari-jari ionik, konduktivitas ionik, dan mobilitas ionik. Ion H⁺ yang terdapat dalam larutan elektrolit H₂SO₄ memiliki jari-jari ionik lebih kecil dari pada ion K⁺ dalam elektrolit KOH dan ion Na⁺ dalam elektrolit Na₂SO₄. Artinya, ion H⁺ memiliki jari-jari ionik kecil dan konduktivitas ionik tinggi yang dapat mendukung kinerja elektroda karbon sel superkapasitor (Armynah dkk., 2019). Hal ini bersesuaian dengan nilai kapasitansi spesifik yang lebih tinggi pada elektroda karbon yang dipengaruhi larutan elektrolit H₂SO₄. Secara detail nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon kulit kakao yang dipengaruhi elektrolit berbeda H₂SO₄, KOH dan Na₂SO₄ yaitu masing-masing sebesar 185,49 F/g, 159,60 F/g dan 120,11 F/g. Rapat energi dan rapat daya untuk semua sampel juga dievaluasi sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kapasitansi Spesifik, Rapat Energi, Rapat Daya dari Elektroda Superkapasitor Berbasis Karbon Aktif Kulit Kakao Berdasarkan Analisa CV

Sampel	C _{sp} (F/g)	E _{sp} (Wh/kg)	P _{sp} (W/kg)
H ₂ SO ₄	185,49	333,87	1203,15
KOH	159,60	287,28	1035,24
Na ₂ SO ₄	120,11	216,19	779,06

3.2 Pengukuran Galvanostatic Charge Discharge (GCD)

Sifat elektrokimia elektroda karbon sel superkapasitor dikonfirmasi lebih lanjut melalui metode GCD. Pengukuran GCD ini menggunakan alat *CD UR Red-ER 2018* dengan tegangan 0-1 V dan rapat arus 1 A/g. Pada pengukuran GCD elektroda karbon dipengaruhi oleh jenis elektrolit berbeda yaitu elektrolit asam (1M H₂SO₄), elektrolit basa (1M KOH), dan elektrolit netral (1M Na₂SO₄). Hasil profil GCD elektroda karbon berbasis kulit kakao yang secara jelas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Kurva GCD elektroda karbon aktif kulit kakao dalam 1 M elektrolit H₂SO₄, KOH, dan Na₂SO₄

Berdasarkan Gambar 2, semua elektroda yang diperiksa menunjukkan kurva segitiga hampir simetris dengan sedikit distorsi. Hal ini menunjukkan sifat kapasitif lapis ganda (EDLC) yang baik dengan resistansi elektroda rendah (Khajonrit dkk., 2022). Selain itu, elektroda karbon yang dipengaruhi elektrolit berbeda ini juga menunjukkan adanya sedikit lengkungan pada saat pengisian. Bentuk lengkungan pada kurva ini mengkonfirmasi perilaku pseudokapasitansi pada elektroda karbon (Ying dkk., 2020). Hasil ini juga berkorelasi dengan analisis pengukuran CV yang menunjukkan adanya efek pseudokapasitansi pada elektroda karbon berbasis kulit kakao.

Berdasarkan pengukuran GCD elektroda karbon berbasis kulit kakao, pada arus 1 A/g mengkonfirmasi kinerja optimum dari elektroda yang dipengaruhi elektrolit H₂SO₄ dengan kapasitansi spesifik tertinggi. Kondisi optimum ini ditandai dari lamanya proses *charge-discharge*. Hal ini berkontribusi dalam memberikan kelancaran untuk ion-ion bermuatan berdifusi secara merata mengisi pori elektroda karbon sehingga meningkatkan kapasitas penyimpanan dari elektroda (Taer dkk., 2021). Nilai kapasitansi spesifik dari elektroda pada 1M elektrolit H₂SO₄, KOH, dan Na₂SO₄ berturut-turut adalah 412,94 F/g, 250,79 F/g dan 199,94 F/g pada kerapatan arus 1 A/g. Lebih detail, nilai kapasitansi spesifik, rapat energi, rapat daya dan resistansi internal untuk ketiga sampel elektroda yang dihasilkan dari pengujian GCD dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2 Kapasitansi Spesifik, Rapat Energi, Rapat Daya, Resistansi dari Elektroda Superkapasitor Berbasis Karbon Aktif Kulit Kakao Berdasarkan Analisa GCD

Sampel	C _{sp} (F/g)	E _{sp} (Wh/kg)	P _{sp} (W/kg)	R (Ω)
H ₂ SO ₄	412,94	743,29	2678,53	0,098
KOH	250,79	451,42	1626,73	0,001
Na ₂ SO ₄	199,94	359,90	1296,93	0,204

IV. KESIMPULAN

Pembuatan elektroda karbon aktif untuk aplikasi superkapasitor berbasis kulit kakao telah berhasil dibuat dengan menggunakan variasi elektrolit yaitu H₂SO₄, KOH, dan Na₂SO₄. dengan hasil optimal pada sampel dengan elektrolit H₂SO₄. Karakterisasi sifat elektrokimia menunjukan bahwa elektrolit H₂SO₄ memiliki kapasitansi spesifik tertinggi yaitu sebesar 412,94 F/g, dengan rapat energi 743,29 Wh/kg dan rapat daya yaitu 2678,53 W/kg. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa elektroda karbon kulit kakao dengan elektrolit H₂SO₄ menunjukkan kinerja elektrokimia yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

Afza, V. Y. Y., Muldarisnur, M., & Yetri, Y. (2021). Analisis Pengaruh Konsentrasi Elektrolit NaCl terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Buah Kakao. *Jurnal Fisika Unand*, 10(4), 486–492. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.4.486-492.2021>

- Armynah, B., Taer, E., Djafar, Z., Piarah, W. H., & Tahir, D. (2019). Effect of Temperature on Physical and Electrochemical Properties of the Monolithic Carbon-Based Bamboo Leaf to Enhanced Surface Area and Specific Capacitance of the Supercapacitor. *International Journal of Electrochemical Science*, 14(8), 7076–7087. <https://doi.org/10.20964/2019.08.59>
- Azevedo, D. C. S., Araújo, J. C. S., Bastos-Neto, M., Torres, A. E. B., Jaguaribe, E. F., & Cavalcante, C. L. (2007). Microporous activated carbon prepared from coconut shells using chemical activation with zinc chloride. *Microporous and Mesoporous Materials*, 100(1–3), 361–364. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2006.11.024>
- Khajonrit, J., Sichumsaeng, T., Kalawa, O., Chaisit, S., Chinnakorn, A., Chanlek, N., & Maensiri, S. (2022). Mangosteen peel-derived activated carbon for supercapacitors. *Progress in Natural Science: Materials International*, 32(5), 570–578. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2022.09.004>
- Loppies, J. E. (2016). Karakteristik Arang Kulit Buah Kakao yang Dihasilkan dari Berbagai Kondisi Pirolisis The Characteristics of Cocoa Pod Husk Charcoal Produced in Various Pyrolysis Conditions. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan V*, 11(2), 105–111.
- Miller, J. R., & Burke, A. F. (2008). Electrochemical capacitors: Challenges and opportunities for real-world applications. *Electrochemical Society Interface*, 17(1), 53–57. <https://doi.org/10.1149/2.f08081if>
- Nuradi, R. F., Muldarisnur, M., & Yetri, Y. (2022). Synthesis of Supercapacitor from Cocoa Fruit Peel Activated Carbon for Energy Storage. *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, 14(2), 86–94. <https://doi.org/10.25077/jif.14.2.86-94.2022>
- Pari, G., Darmawan, S., & Prihandoko, B. (2014). Porous Carbon Spheres from Hydrothermal Carbonization and KOH Activation on Cassava and Tapioca Flour Raw Material. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 342–351. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.043>
- Rahmi, F., Muldarisnur, M., & Yetri, Y. (2021). Variasi Konsentrasi Elektrolit H₂SO₄ untuk Pembuatan Karbon Aktif Kulit Buah Kakao sebagai Elektroda Superkapasitor dengan Aktivator ZnCl₂. *Jurnal Fisika Unand*, 10(4), 467–472. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.4.467-472.2021>
- Simon, P., & Gogotsi, Y. (2010). Charge storage mechanism in nanoporous carbons and its consequence for electrical double layer capacitors. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1923), 3457–3467. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0109>
- Taer, E., Febriyanti, F., Mustika, W. S., Taslim, R., Agustino, A., & Apriwandi, A. (2021). Enhancing the performance of supercapacitor electrode from chemical activation of carbon nanofibers derived Areca catechu husk via one-stage integrated pyrolysis. *Carbon Letters*, 31(4), 601–612. <https://doi.org/10.1007/s42823-020-00191-5>
- Yetri, Y., Hoang, A. T. M., Dahlan, D., Muldarisnur, Taer, E., & Chau, M. Q. (2020). Synthesis of activated carbon monolith derived from cocoa pods for supercapacitor electrodes application. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 00(00), 1–15. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1811433>
- Yetri, Y., Mursida, Dahlan, D., Taer, E., Agustino, & Muldarisnur. (2020). Identification of cacao peels potential as a basic of electrodes environmental friendly supercapacitors. *Key Engineering Materials*, 846 KEM, 274–281. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.846.274>
- Ying, Z., Zhang, Y., Lin, X., Hui, S., Wang, Y., Yang, Y., & Li, Y. (2020). A biomass-derived super-flexible hierarchically porous carbon film electrode prepared: Via environment-friendly ice-microcrystal pore-forming for supercapacitors. *Chemical Communications*, 56(73), 10730–10733. <https://doi.org/10.1039/d0cc04436a>