

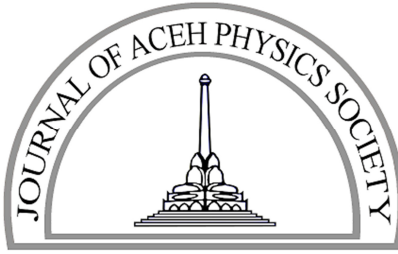
ISSN online : 2355-8229

JOURNAL OF ACEH PHYSICS SOCIETY

PHYSICS SOCIETY
JOURNAL OF ACEH

VOLUME 9 NUMBER 1
January, 2020

Journal Published by Aceh Physics Society
<http://jurnal.unsyiah.ac.id/JAcPS>



Journal of Aceh Physics Society

Chief Editor

Syahrur Nur

Managing Editor

Elin Yusibani

Associated Editors and Reviewers

Mitra Djamal	Nasrullah Idris
M. Danang Birowosuto	Rinda Hedwig
Nurhasan	Topan Setiadipura
Zulkarnain A Djalil	Abdul Halim
Edi Suharyadi	Adi Rahwanto

Index mainly by:



Volume 9, Number 1
January, 2020

List of Content

The Production and Characterization of Activated Carbon Electrodes from Pineapple Leaf Fibers for Supercapacitor Application <i>Agustino, Awitdrus, Rakhmawati Farma, Erman Taer</i>	1 - 8
Use of SiO₂ Rice Husk Ash and Ni in Materials Solid Hydrogen Storage Based on MgH₂ <i>Taufik, Zulkarnain, Mursal</i>	9 - 12
Effect of KOH Activator on the Performance of Activated Carbon from Oil Palm Kernel Shell as Supercapacitor Electrode Material <i>Yola Azli Perdana, Rahma Joni, Emriadi, Hermansyah Aziz</i>	13 -19
Study of Water Chemical Compounds at Geothermal Area: Case on Geothermal Weh Island, Jaboi <i>Evi Yufita, Muhammad Isa, Aztarina Ermy Vijaya</i>	20 - 25
Effect of Stripline Number on Resonant Frequency of Hexagonal Split Ring Resonator Metamaterial <i>Romi Fadli Syahputra, Yan Soerbakti, Riad Syech, Erman Taer, Saktioto</i>	26 - 30

Pengaruh Aktivator KOH Terhadap Kinerja Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor

Effect of KOH Activator on the Performance of Activated Carbon from Oil Palm Kernel Shell as Supercapacitor Electrode Material

Yola Azli Perdana, Rahma Joni, Emriadi dan Hermansyah Aziz*

Laboratorium Elektro/Fotokimia Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Received December, 2019, Accepted January, 2020

DOI: 10.24815/jacps.v9i1.15195

Karbon aktif dari cangkang kelapa sawit sebagai bahan elektroda superkapasitor telah diteliti. Superkapasitor dirangkai dengan metoda plat/sandwich yang dipisahkan oleh separator. Untuk mendapatkan nilai kapasitansi yang besar dilakukan variasi jumlah aktivator terhadap karbon menggunakan aktivator KOH. Sifat fisikokimia dari karbon aktif diteliti dengan melakukan karakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray*) dan SAA (*Surface Area Analyzer*) dan sifat elektrokimianya diteliti dengan pengukuran CV (*Cyclic Voltammetry*). Karbon aktif dengan perbandingan 1:5 memiliki luas permukaan yang paling besar yaitu 793,326 m²/g dan nilai kapasitansi spesifik tertinggi yaitu 99,151 F/g.

The activated carbon from oil palm kernel shell as an electrode material for supercapacitors has been investigated. The supercapacitor was assembled by plate/sandwich methods. Both electrodes were separated by using a separator. To increase the capacitancy value, variations in the number of activators on carbon were carried out using KOH activator. The physicochemical properties of activated carbon were investigated by characterizing using XRD (X-Ray Diffraction), SEM-EDX (Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray) and SAA (Surface Area Analyzer) and the electrochemical properties were investigated by measuring CV (Cyclic Voltammetry). Activated carbon with a ratio of 1:5 has the largest surface area of 793,326 m²/g and the highest specific capacitance value is 99,151 F/g.

Keywords: *activated carbon, supercapasitor, activator, surface area, specific capacitance*

Pendahuluan

Superkapasitor merupakan alat penyimpanan energi secara fisika yang hanya terjadi transfer muatan tanpa adanya reaksi kimia, sedangkan baterai merupakan penyimpan energi secara kimia yang berupa reaksi redoks untuk menghasilkan energi listrik. Secara teknis, superkapasitor memiliki jumlah siklus yang relatif banyak (>100000 siklus), kerapatan energi yang tinggi, kemampuan menyimpan energi yang besar, prinsip sederhana dan konstruksi yang mudah (Kwon et al., 2014). Oleh karena itu, superkapasitor menjadi salah satu penyimpanan energi yang menarik perhatian saat ini. Superkapasitor tersusun dari dua buah elektroda yang dipisahkan oleh separator. Bahan elektroda

yang sering digunakan adalah bahan berbasis karbon. Sampai saat ini, beragam jenis bahan karbon yang digunakan sebagai bahan elektroda superkapasitor, termasuk karbon aktif, karbon *nanotube*, karbon *nanofiber* dan grafit. Pada penelitian sebelumnya, sumber biomassa karbon aktif diperoleh dari limbah cangkang biji kemiri (Kwiatkowski & Broniek, 2017), limbah bubuk kopi (Kamikuri et al., 2014), sekam padi (Chen & Dai, 2013) dan cangkang biji karet (Pagketanang, Artnaseaw, & Wongwicha, 2015) yang dijadikan sebagai bahan elektroda pada superkapasitor. Selain dari biomassa karbon aktif dilaporkan juga menggunakan prekursor resin via kopling *template* yang menghasilkan kapasitansi yang besar namun

bahan elektrodanya sangat mahal (Sun et al., 2016). Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan elektroda superkapasitor.

Karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dipilih karena bahannya lebih mudah didapat dan juga upaya pengelolaan terhadap limbah cangkang kelapa sawit yang saat ini pemanfaatannya belum optimal. Cangkang sawit merupakan bagian yang paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit (Gualous, Louahli-gualous, Gallay, & Miraoui, 2009). Semakin banyak kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin maka akan semakin baik karbon aktif yang dihasilkan (Reviews, 2018). Dasar pemilihan bahan baku dari karbon aktif cangkang kelapa sawit yang paling menentukan adalah besarnya kandungan karbon pada cangkang kelapa sawit, jika dibandingkan dengan tempurung kelapa biasa (Harahap et al., n.d.).

Karbon berpori dengan luas permukaan yang besar, didapatkan dengan aktivasi (Abioye & Nasir, 2015). Aktivator yang sering digunakan untuk bahan baku yang memiliki kandungan karbon yang tinggi adalah aktivator yang bersifat basa. Hal ini dikarenakan aktivator yang bersifat basa tersebut bereaksi dengan gugus fungsi yang mengandung karbon. KOH merupakan zat paling efektif untuk membentuk mikropori (Pagketanang et al., 2015). Pengaruh aktivator KOH terhadap karbon aktif yang dihasilkan dari ampas kopi dilaporkan mempengaruhi morfologi permukaan karbon dan memperluas permukaan karbon, sehingga meningkatkan sifat elektrokimia dari elektroda superkapasitor (Kamikuri et al., 2014). Aktivasi dengan menggunakan KOH terhadap beberapa karbon menjadikannya memiliki kapasitansi yang besar, stabilitas elektrokimia yang sangat baik dan memiliki kemampuan 98% terhadap kapasitansi awal hingga 1000 kali siklus pengulangan (Pagketanang et al., 2015).

Penelitian ini dilakukan aktivasi karbon dengan KOH dengan ukuran partikel yang lebih kecil namun dengan memvariasikan perbandingan antara jumlah karbon dan KOH. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan nilai kapasitansi dan konduktivitas pada karbon dari limbah cangkang kelapa sawit dalam proses penyimpanan muatan. Karbon aktif cangkang kelapa sawit dipelajari kinerjanya sebagai elektroda superkapasitor dengan mempelajari hasil karakterisasi bahan dasar

elektrodanya dan sifat-sifat elektrokimia yang dihasilkan.

Metodologi

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah cangkang kelapa sawit, Kalium Hidroksida (KOH), Asam Sulfat (H_2SO_4) p.a, Larutan Asam Klorida (HCl), PVA (Polivinil Alkohol), membran cangkang telur, ampelas, dan akuades. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah hot plate, oven, furnace N_2 , stainless steel, kaca berbagai ukuran, kabel buaya, neraca analitis, dan peralatan gelas laboratorium lainnya. Peralatan instrumen yang digunakan adalah CV (Solartron 1280), XRD (PIXcel1D), SEM- EDX (S-3400N), dan SAA (Autosorb-1).

Persiapan Sampel dan Pre-Karbonisasi Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit dibersihkan dengan akuades dan dikeringkan. Sampel bersih kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu $110^\circ C$ hingga beratnya konstan. Kemudian dipre-karbonisasi pada suhu $400^\circ C$ selama 4 jam. Setelah proses pre-karbonisasi selesai, karbon cangkang kelapa sawit dihaluskan dan diayak dengan menggunakan ayakan berukuran $38\ \mu m$. Selanjutnya karbon disiapkan untuk proses aktivasi (Zheng et al., 2017).

Preparasi Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit

Proses aktivasi dilakukan dengan menambahkan KOH yang digunakan sebagai zat pengaktivasi, dengan perbandingan masa karbon dan KOH 1:3;1:4;1:5 %wt. Karbon direndam dengan KOH, diaduk sampai homogen selama ± 12 jam. Karbon disaring dan dikeringkan dengan oven pada suhu $110^\circ C$ selama 1 jam. Karbon yang sudah kering tadi ditempatkan di wadah dengan laju pemanasan $5^\circ C$ /menit dibawah atmosfer nitrogen dengan proses sebagai berikut: bubuk karbon dipanaskan hingga $400^\circ C$ dan ditahan selama 1 jam; selanjutnya suhu dinaikkan ke $600^\circ C$ dan ditahan lagi selama 1 jam; selanjutnya suhu dinaikkan lagi menjadi $800^\circ C$ dan ditahan selama 1,5 jam. Terakhir, karbon dicuci dengan 1 mol/L larutan HCl hingga pH 7 untuk menghilangkan pengotor anorganik. Karbon aktif yang dihasilkan dikeringkan pada suhu $\pm 105^\circ C$ (Zheng et al., 2017).

Karakterisasi Pada Karbon Cangkang Kelapa Sawit

Karbon aktif cangkang kelapa sawit dikarakterisasi dengan menggunakan XRD, SEM-EDX, Brunauer-Emmet-Teller (BET), Barrett-Joyner-Halenda (BJH).

Pengukuran Sifat Elektrokimia dari Rangkaian Superkapasitor

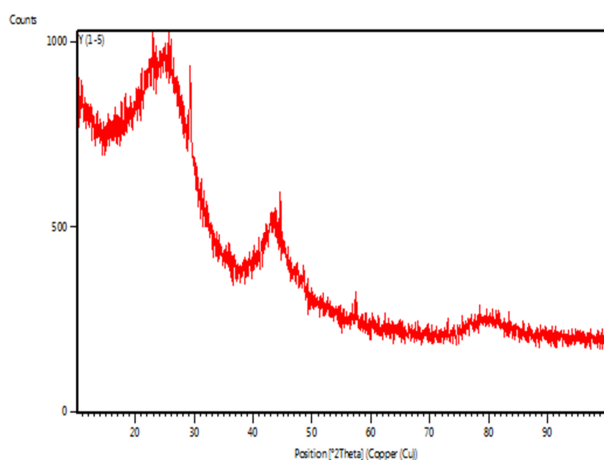
Pengukuran sifat elektrokimia dilakukan dengan menggunakan CV dengan potensial 0,1 – 0,5 V vs elektroda referensi dan kecepatan pemindaian 1 mVs⁻¹ dalam larutan elektrolit H₂SO₄ 1 M. Nilai arus, potensial dan waktu yang didapatkan pada sel superkapasitor digunakan untuk menghitung nilai kapasitansi spesifik dihitung dengan persamaan 1.

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

Dimana C_{sp} adalah kapasitansi spesifik, I adalah arus charge (c) dan discharge (d), S adalah scan rate dan m adalah massa elektroda (Taer et al., 2018).

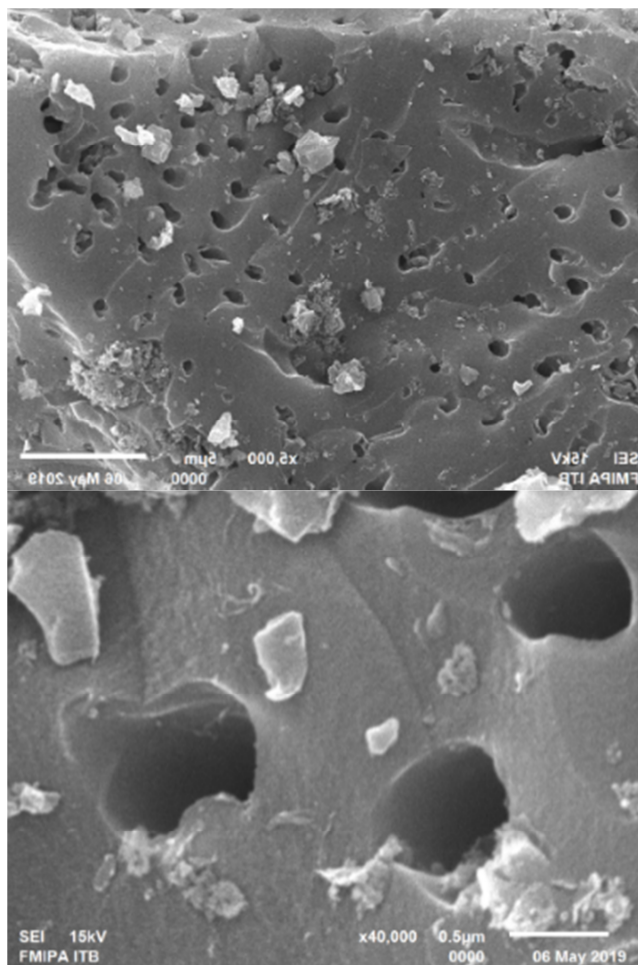
Hasil Penelitian

Sifat fisiokimia karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dikarakterisasi menggunakan XRD untuk melihat Struktur kristalit suatu material. Struktur kristalit karbon aktif dari cangkang kelapa sawit ditunjukan dengan pola difraksi pada Gambar 1. Gambar tersebut menunjukkan puncak yang lebar pada sudut 2 theta di 24 dan 44 derajat yang memperlihatkan struktur karbon aktif dari cangkang kelapa sawit adalah amorf.



Gambar 1 Pola difraksi karbon aktif cangkang kelapa sawit

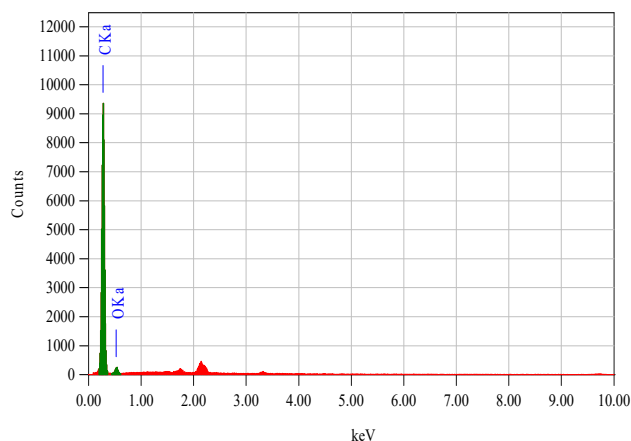
Kehadiran puncak yang lebar pada sudut 24° dan 44° terkait dengan bidang 002 dan 100 untuk material karbon (JCPDS No. 75-1621) (Hou, Cao, Idrees, & Ma, 2015). Hermansyah *et al* (2016) melaporkan pola yang sama untuk karbon cangkang kelapa sawit yaitu puncak difraksi terletak pada 2θ yang berkisar pada 25° dan 47°. Berdasarkan hasil ini maka karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan elektroda pada superkapasitor.



Gambar 2 Hasil Karakterisasi SEM dengan perbesaran (a) 5000 kali dan (b) 40000 kali pada karbon cangkang kelapa sawit.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa morfologi permukaan karbon cangkang kelapa sawit setelah diaktivasi dengan KOH menunjukkan peningkatan luas permukaan. Hal ini disebabkan oleh partikel karbon terpecah menjadi bagian yang lebih kecil (Sun et al., 2016). Struktur pori yang bagus dapat memudahkan ion-ion elektrolit untuk berdifusi pada permukaan karbon (Rawal et al. 2018). Karbon cangkang kelapa sawit yang diaktivasi KOH menyebabkan

ukuran volume pori menjadi lebih besar dan distribusi ukuran pori lebih merata. Hasil EDX menunjukkan bahwa komposisi paling banyak yang terkandung dalam karbon dari cangkang kelapa sawit baik tanpa aktivasi maupun dengan aktivasi KOH adalah unsur karbon. Proses aktivasi meningkat unsur karbon dari 59,38% hingga 97,47% dan menurunkan persentase karbon dari 30,94% hingga 2,53%.



Gambar 3 Grafik Energy Dispersive X-Ray (EDX) karbon aktif dari cangkang kelapa sawit

Setelah proses aktivasi komposisi yang tersisa hanya unsur karbon dan sedikit persentase oksigen sisa pembakaran yang tidak sempurna seperti yang terlihat pada Gambar 3. Unsur oksigen berasal dari bahan baku yang tertinggal karena proses karbonisasi yang tidak sempurna. Tabel 1 menunjukkan komposisi karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dimana pengaruh aktivasi memberikan persen berat dari karbon meningkat. Hal ini disebabkan karena karbon aktif sebelum aktivasi memperlihatkan masih adanya unsur-unsur pengotor yang menutupi pori dari karbon yang dihasilkan seperti K, Si, Na dan O. Namun setelah dilakukan aktivasi dengan KOH unsur-unsur pengotor seperti K, Si, Na hilang.

Tabel 1. Komposisi unsur karbon dari cangkang kelapa sawit dengan menggunakan EDX.

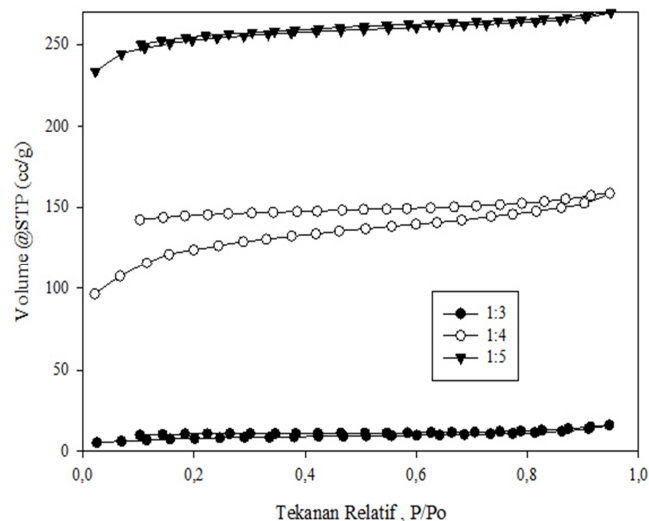
Unsur	% Berat	
	Tanpa Aktivasi	Aktivasi
C	59,38	97,47
O	30,94	2,53
Si	6,02	-
Ca	3,14	-

Pengotor yang hilang tersebut mengindikasikan bahwa pori karbon yang dihasilkan setelah proses aktivasi tidak lagi tertutupi, sehingga akan menghasilkan pori yang besar dengan diameter pori yang besar pula (Aziz et al., 2017). Hal ini berhubungan dengan luas permukaan dari data BET (Tabel 2) yang diberikan ternyata luas permukaan dari proses aktivasi dengan variasi karbon 1:5 memberikan nilai yang paling besar dibandingkan yang lainnya.

Tabel 2. Luas permukaan spesifik dan ukuran pori rata-rata karbon cangkang kelapa sawit

Sampel	Luas permukaan spesifik (m ² /g)	Ukuran pori rata-rata (nm)
1:3	26,4945	1,8512
1:4	405,514	1,2131
1:5	793,326	1,0545

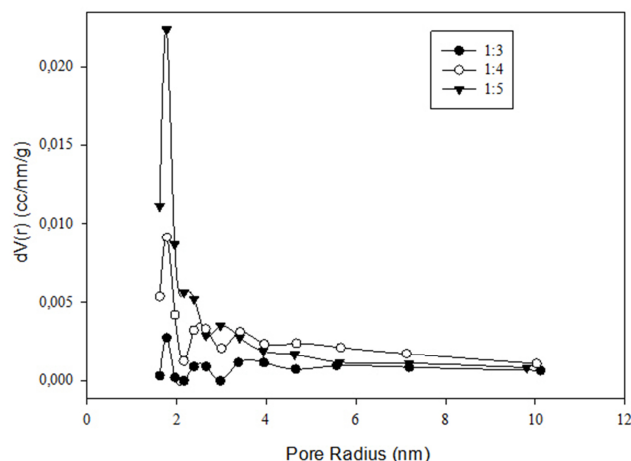
Isoterm adsorpsi-desorpsi menggunakan nitrogen pada 77 K untuk sampel cangkang kelapa sawit dipelajari dalam penelitian ini, yang ditunjukkan pada Gambar 4. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui luas permukaan dari karbon cangkang kelapa sawit.



Gambar 4 Isoterm adsorpsi-desorpsi N₂ dari karbon aktif cangkang kelapa sawit

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa dari siklus adsorpsi-desorpsi menghasilkan data tekanan relatif sebagai fungsi jumlah nitrogen yang diserap sampel. Pada gambar terlihat volume gas yang terukur sebanding dengan tekanan gas yang diberikan. Isoterm adsorpsi-desorpsi karbon aktif menunjukkan karakteristik tipe I menurut klasifikasi

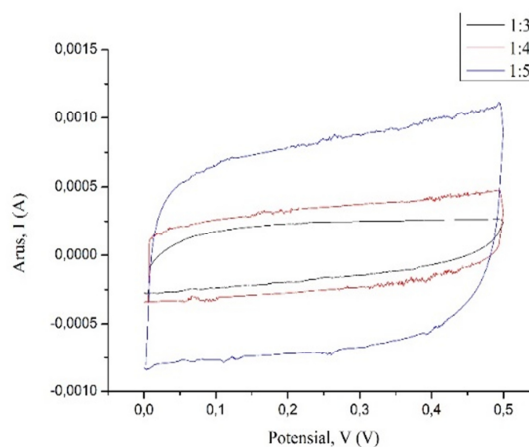
IUPAC. Hal ini dibuktikan dari ketajaman dan kemiringan kurva mulai terjadi pada nilai P/P_0 lebih besar dari 0,1. Hal ini berarti bahwa proses adsorpsi terjadi sangat cepat setelah nilai tersebut, yang menunjukkan bahwa ukuran pori karbon terdiri dari mikropori dan mesopori (Marsh & Reinoso, 2006). Perbandingan luas permukaan yang semakin besar akibat pengaruh dari aktivasi KOH dapat dilihat pada Tabel 2. Aktivasi dengan menggunakan KOH pada material karbon dipelajari untuk meningkatkan luas permukaan dan memperbaiki *performance* elektrokimianya (Peng et al., 2013). Hasil pengukuran SAA dengan metode BET didapatkan bahwa luas permukaan terbesar diberikan oleh karbon dari cangkang kelapa sawit dengan rasio karbon dan KOH 1:5 yaitu sebesar 793,326 F/g. karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dengan rasio karbon dan KOH 1:3 memberikan luas permukaan terkecil yaitu sebesar 26,4945 F/g dan luas permukaan meningkat seiring penambahan jumlah KOH. Hal ini disebabkan karena jumlah KOH dapat mempengaruhi pengembangan pori (Sun et al., 2016). Penelitian yang sama juga dilaporkan oleh Chao P et al (2013) yang menggunakan KOH sebagai aktivator pada karbon dari limbah daun teh dimana adanya aktivator KOH akan memperkecil diameter pori dan memperluas volume pori serta luas permukaan.



Gambar 5 Distribusi ukuran pori dari karbon aktif cangkang kelapa sawit

Gambar 5 menunjukkan distribusi ukuran pori yang dihitung dengan data desorpsi menggunakan metode Barret-Joyner-Halenda (BJH) (Marsh & Reinoso, 2006). Pada Tabel 2 dan Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa pori dari karbon aktif cangkang kelapa sawit adalah mikropori karena ukuran pori

rata-ratanya kecil dari 2 nm. Gambar 6 menunjukkan grafik siklik voltamogram pada laju *scan* 1 mV dengan rentang potensial 0 sampai dengan 0,5 V. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara arus (A) terhadap potensial (V). Bentuk kurva dari setiap variasi elektroda pada Gambar 6 adalah *quasi rectangular* yang menunjukkan proses penyimpanan muatan pada sel superkapasitor. Variasi 1:5 menunjukkan bentuk *rectangular* yang paling bagus dengan bentuk yang simetris dan mempunyai jarak yang lebar sehingga menghasilkan nilai kapasitansi spesifik yang paling tinggi yaitu sebesar 99,151 F/g.



Gambar 6 Kurva voltamogram siklik sel superkapasitor

Perhitungan nilai kapasitansi spesifik dengan metode siklis voltametri diperoleh dengan menggunakan Persamaan 1 (Farma et al, 2013). Besar arus yang dihasilkan pada voltammogram siklik dapat ditentukan dengan cara menentukan nilai tengah dari besarnya tegangan yang diberikan yaitu pada tegangan 0,25 V, didapatkan arus *charge* $917 \cdot 10^{-6}$ A dan *discharge* sebesar $719 \cdot 10^{-6}$ A untuk karbon aktif dengan rasio 1:5.

Tabel 3. Nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor

Sampel	Kapasitansi Spesifik (F/g)
1:3	21,891
1:4	24,542
1:5	99,151

Dengan massa 2 buah elektroda superkapasitor yang dibentuk sebesar 0,0165 g maka didapatkan nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dengan rasio aktivator 1:5

adalah sebesar 99,151 F/g menurut persamaan 1. Hasil perhitungan nilai kapasitansi spesifik elektroda superkapasitor menurut persamaan 1 ditampilkan pada Tabel 3. Elektroda yang mempunyai luas permukaan tinggi akan mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik dari sel superkapasitor. Elektroda karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi akan meningkatkan nilai kapasitansi spesifik dari sel superkapasitornya (Rawal et al., 2018).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa karbon dari cangkang kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan elektroda superkapasitor. Karbon aktif dari limbah cangkang kelapa sawit memiliki kemampuan yang baik sebagai bahan elektroda superkapasitor. Hal ini dibuktikan dari hasil karakterisasi XRD yang menyatakan bahwa karbon cangkang kelapa sawit adalah amorf berada pada 2θ berkisar 22° dan 44° . Berdasarkan hasil EDX didapatkan bahwa persentase karbon aktif dari cangkang kelapa sawit adalah 97,47 %. Peningkatan nilai kapasitansi dilakukan dengan pengaktifan terhadap karbon menggunakan aktivator KOH. Karbon aktif yang diaktivasi dengan perbandingan 1:5 memiliki luas permukaan spesifik yang paling besar yaitu $793,326 \text{ m}^2/\text{g}$ dibandingkan dengan karbon aktif yang lain. Nilai kapasitansi spesifik yang paling maksimum didapatkan pada karbon aktif dengan perbandingan 1:5 yaitu 99,151 F/g.

Referensi

- Abioye, A. M., dan Nasir, F. 2015. Recent development in the production of activated carbon electrodes from agricultural waste biomass for supercapacitors: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **52** 1282–1293. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.129>
- Aziz, H., Tetra, O., N., Syukri, Alif, A., Ramadhan, W. 2017. Utilization of porous carbon from waste palm kernel shells on carbon paper as a supercapacitors electrode material. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* **65** 012053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/65/1/012053>
- Chen, T., and Dai, L. 2013. Carbon nanomaterials for high- performance supercapacitors. *Biochemical Pharmacology*, **16**(7–8) 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.07.002>
- Gualous, H., Louahlia-gualous, H., Gallay, R., & Miraoui, A. 2009. Supercapacitor Thermal Modeling and Characterization in Transient State for Industrial Applications. *IEEE Transactions on Industry Applications* **45**(3), 1035–1044.
- Harahap, H. H., Malik, U., Dewi, R., Matematika, F., Alam, P., Riau, U., & Bina, K. (n.d.). Pembuatan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dengan menggunakan H_2O sebagai aktivator untuk menganalisis proksimat, bilangan iodine dan rendemen. *Jom Fmipa* **1**(2), 48–54.
- Hou, J., Cao, C., Idrees, F., & Ma, X. 2015. Hierarchical Porous Nitrogen-Doped Carbon Nanosheets Derived from Silk for Ultrahigh-Capacity Battery Anodes. *ACS Nano* **9** 3 2556–2564
- Kamikuri, N., Hamasuna, Y., Tashima, D., Fukuma, M., Kumagai, S., John, D., & Madden, W. (2014). Low-cost Activated Carbon Materials Produced from Used Coffee Grounds for Electric Double-layer Capacitors. *Intern. J. Eng. Sci. Innovative Tech.* **3**(4), 492–501.
- Kwiatkowski, M., & Broniek, E. (2017). An analysis of the porous structure of activated carbons obtained from hazelnut shells by various physical. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* **529** <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.06.028>
- Kwon, S. H., Lee, E., Kim, B. S., Kim, S. G., Lee, B. J., Kim, M. S., & Jung, J. C. (2014). Activated carbon aerogel as electrode material for coin-type EDLC cell in organic electrolyte. *Current Applied Physics* **14**(4), 603–607. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2014.02.010>
- Marsh, H., & Reinoso, F. R. (2006). *Activated Carbon*. Retrieved from http://www.123library.org/book_details/?id=37743
- Pagketanang, T., Artnaseaw, A., & Wongwicha, P. (2015). Microporous Activated Carbon from KOH-Activation of Rubber Seed-Shells for Application in Capacitor Electrode. *Energy Procedia* **79**. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.550>
- Peng, C., Yan, X., Wang, R., Lang, J., Ou, Y., & Xue, Q. (2013). Electrochimica Acta Promising activated carbons derived from waste tea-leaves and their application in high performance

- supercapacitors electrodes. *Electrochimica Acta* **87**, 401–408.
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.09.082>
- Rawal, S., Joshi, B., & Kumar, Y. (2018). Synthesis and characterization of activated carbon from the biomass of *Saccharum bengalense* for electrochemical supercapacitors. *Journal of Energy Storage* **20** 418–426.
<https://doi.org/10.1016/j.est.2018.10.009>
- Reviews, S. E. (2018). Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods , characterization techniques and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **82** 1393–1414.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.117>
- Sun, F., Gao, J., Liu, X., Pi, X., Yang, Y., & Wu, S. (2016). Applied Surface Science Porous carbon with a large surface area and an ultrahigh carbon purity via templating carbonization coupling with KOH activation as excellent supercapacitor electrode materials. *Applied Surface Science* **387**, 857–863.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.06.176>
- Taer, E., Afrianda, A., Taslim, R., Krisman, Minarni, 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. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* **1120**, 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1120/1/012094>.
- Zheng, K., Li, Y., Zhu, M., Yu, X., Zhang, M., & Shi, L. (2017). The porous carbon derived from water hyacinth with well-designed hierarchical structure for supercapacitors. *J. Power Sources* **366**, 270–277.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.09.034>

