



Characterization of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Peel Activated Carbon based on Impregnation Ratio and Activation Temperature

Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Berdasarkan Rasio Impregnasi dan Suhu Aktivasi

Blessy Yemima Andiani, Cucun Alep Riyanto*, dan Yohanes Martono

Department of Chemistry, Faculty of Science and Mathematics, Universitas Kristen Satya Wacana
Jalan Diponegoro No. 52-60 Salatiga 50711 Jawa Tengah-Indonesia

* Corresponding author: cucun.riyanto@uksw.edu

Received: August 19, 2021 Accepted: April 11, 2022 Published: May 26, 2022

ABSTRACT

Cassava peel is a natural material that is still underutilized even though has the potential as an alternative to activated carbon precursors. In the synthesis of activated carbon, the impregnation ratio and activation temperature are important factors that affect the characteristics of the activated carbon produced. This study aims to determine the effect of variations in the impregnation ratio (carbon: H_3PO_4) and activation temperature on the characteristics of activated carbon from cassava peel (CPAC) and to determine the optimal conditions in the manufacture of CPAC. In this study, CPAC was produced by treatment with various impregnation ratios of 1:5, 1:6, 1:8, 1:10, and 1:12 (w/w, carbon: H_3PO_4 30%) and a range activation temperature variation of 400 - 800 °C in the furnace for 60 minutes. The CPAC results were analyzed using FTIR, XRD, and SEM-EDX instruments. Based on the results of the FTIR test, it is showed that the characteristics of CPAC contain functional groups O-H, C-H, $C\equiv C$, $C=C$, C-O/P=O with an impregnation ratio of 1:6 (w/w, carbon: H_3PO_4 30%) and an activation temperature of 500 °C for 60 minutes to be the optimal conditions in the production of CPAC. The CPAC has an amorphous crystalline character based on XRD analysis and a hollow (porous) surface based on SEM analysis. The results of the EDX test showed that CPAC consisted of the elements carbon (C), oxygen (O), nitrogen (N), phosphate (P), sodium (Na) with the respective percentages being 72.60%, 15.52%, 10.32%, 1.09%, and 0.47% respectively.

Keywords: activation temperature, activated carbon, cassava peel, hollow surface, impregnation ratio

PENDAHULUAN

Singkong dikenal sebagai salah satu komoditas pertanian terpenting di banyak negara termasuk di Indonesia (Bhatnagar et al., 2015). Umumnya pemanfaatan singkong hanya terbatas pada dagingnya sebagai bahan pangan sedangkan bagian kulitnya sebagian dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan selebihnya dibuang (Santoso et al., 2014). Pemanfaatan kulit singkong sebagai pakan ternak cukup terbatas karena mengandung

cyanogenic glucosides yang dapat meracuni hewan ternak (Suprabawati et al., 2018) sehingga selebihnya menjadi limbah karena dibuang begitu saja. Hal ini menjadi ancaman pembuangan di sebagian besar negara yang menjadikan singkong sebagai makanan pokok (Oghenejoboh, 2015).

Kulit singkong merupakan biomassa lignoselulosa dengan kandungan utama hemiselulosa yaitu 23,9% dan lignin 7,5% (Widiarto et al., 2019) yang memiliki potensi

besar untuk digunakan sebagai prekursor karbon aktif. Seperti pada penelitian (Suprabawati et al., 2018) karbon aktif kulit singkong menunjukkan kemampuan signifikan untuk pengikatan logam dari larutan berair yaitu pada penjerapan ion Pb^{2+} yang mencapai 98%. Selain itu dengan adanya kandungan unsur karbon yang cukup banyak yaitu sekitar 59,31% (Setyoningsih & Indarti, 2018) serta kaya akan gugus karboksil, hidroksil dan amino menjadikan kulit singkong sangat berpotensi sebagai prekursor karbon aktif. Kulit singkong dianggap aman apabila digunakan sebagai karbon aktif karena mengandung enzim detoksifikasi sianida (*β -cyanoalanine synthase*) yang dapat mempertahankan sianida pada konsentrasi aman (Mohd-asharuddin et al., 2017).

Karbon aktif merupakan padatan *amorf* berbentuk heksagonal datar dengan sebuah atom C pada setiap sudutnya, memiliki struktur berpori mikro dengan tingkat reaktivitas permukaan yang tinggi (Menya et al., 2018). Karbon aktif dapat diproduksi baik secara alami maupun sintetis dari prekursor padat karbon. Secara umum, ada dua sumber utama produksi karbon aktif yaitu dari batubara dan produk samping pertanian atau bahan lignoselulosa (Yahya et al., 2015). Penggunaan limbah pertanian sebagai prekursor karbon aktif juga telah terbukti terbarukan dan relatif lebih murah dan pada akhirnya dapat memanfaatkan limbah secara efektif menjadi kekayaan (Hirunpraditkoon et al., 2011).

Seperti pada penelitian Riyanto et al. (2020) yang melakukan sintesis karbon aktif dari *Anatto peel (Bixa orellana L)*. menggunakan H_3PO_4 50% dengan variasi suhu aktivasi (400–800 °C) dan rasio impregnasi (1:3–1:7) menunjukkan pengaruh terhadap karakteristik gugus fungsi karbon aktif yang dihasilkan. Dimana pada suhu aktivasi 500 °C dan rasio 1:5 mampu menurunkan gugus C–O atau P=O yang ada dalam karbon aktif dibandingkan perlakuan lainnya, sehingga karakteristik karbon aktif yang dihasilkan lebih mendekati karbon aktif standard. Selain itu, penelitian Riyanto et al. (2020) yang melakukan sintesis karbon aktif dari daun enceng gondok dengan variasi suhu aktivasi (400–800 °C) dan waktu aktivasi (30–150 menit) juga menunjukkan pengaruh terhadap karakteristik gugus fungsi yang dihasilkan. Dimana suhu aktivasi 600 °C dan waktu aktivasi selama 60 menit menjadi kondisi optimal dalam penelitian tersebut. Hal

ini dilihat dari gugus fungsi yang dihasilkan paling mendekati karbon aktif standard.

Dari kedua penelitian di atas dapat diketahui bahwa proses aktivasi baik fisika (pemanasan) maupun kimia (impregnasi) menjadi hal yang diperhatikan karena berpengaruh terhadap karakteristik karbon aktif yang dihasilkan. Seperti pada penelitian (Omosho & Sangodoyin, 2013) yang memperoleh karbon aktif kulit singkong yang diaktivasi secara kimia memiliki rata-rata pori dua kali lebih besar dibandingkan yang hanya diaktivasi secara fisika. Aktivasi kimia biasanya menggunakan berbagai aktivator baik asam maupun basa (Kayiwa et al., 2019; Moreno-Piraján & Giraldo, 2010). Rasio impregnasi menjadi faktor penting dalam proses aktivasi kimia. Wang et al. (2010) melakukan sintesis karbon aktif dari hasil pemangkasan tunas mulberry dan menemukan bahwa rasio impregnasi berpengaruh nyata terhadap rendemen dan kapasitas adsorpsi iodium karbon aktif. Rendemen meningkat dari 35,59% menjadi 37,80% dan bilangan iod meningkat dari 886,14 mg/g menjadi 1067,77 mg/g. Omosho & Sangodoyin (2013) melakukan sintesis karbon aktif dari kulit singkong dan menemukan bahwa rasio impregnasi berpengaruh terhadap kemampuan karbon aktif dalam menurunkan kadar BOD. Efisiensi penurunan BOD₅ yaitu 78,8; 85,9; 87,9; dan 92,9% masing-masing dari karbon tanpa aktivasi sampai karbon aktif dengan tingkat aktivasi $ZnCl_2$ yaitu 1:3; 2:3; dan 1:1.

Parameter lain yang berpengaruh terhadap karakteristik karbon aktif adalah suhu ketika proses aktivasi (Menya et al., 2018). Foo & Lee (2010) mempelajari sifat karbon aktif yang dibuat dari "petai" dengan memvariasikan suhu aktivasi dari 450–600 °C menggunakan aktivator H_3PO_4 . Mereka menemukan bahwa luas permukaan secara bertahap meningkat dari suhu 450–600 °C serta mulai menurun pada suhu 650 °C dan seterusnya. Porositas karbon aktif juga meningkat seiring dengan peningkatan suhu. Pada sintesis karbon aktif dari limbah bambu dengan variasi suhu aktivasi 150–450 °C menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap rata-rata luas pori karbon aktif yang terbentuk yaitu dari 50,45 μm hingga 104,83 μm .

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya belum dilakukan kajian tentang pengaruh rasio impregnasi dan suhu aktivasi terhadap karakteristik karbon aktif kulit singkong yang diaktivasi menggunakan H_3PO_4 .

Oleh karena itu, peneliti merasa perlu melakukan penelitian untuk menentukan pengaruh rasio impregnasi dan suhu aktivasi terhadap karakteristik gugus fungsi karbon aktif kulit singkong, menentukan kondisi optimal dalam sintesis karbon aktif kulit singkong yang diaktivasi menggunakan H_3PO_4 , serta menentukan karakter kristal dan permukaan karbon aktif kulit singkong.

METODOLOGI

Bahan

Kulit singkong (*Manihot esculenta* Crantz) yang diperoleh dari sentra industri singkong Ledok, Salatiga. H_3PO_4 (E-Merck Germany), NaOH (Merck, in Nort America) yang berderajat PA (*Pro-Analysis*), akuades, kertas saring (Whatman No.91) diperoleh dari Laboratorium Kimia FSM UKSW.

Alat

Grinder, oven, neraca analitis dengan ketelitian 0,1 mg (Ohaus PA214), ayakan 30 dan 60 *mesh*, *furnace* (Vulcan A-550), cawan krus, cawan petri, pH meter (Hanna HI 9812), erlenmeyer, gelas *beaker*, dan corong kaca.

Instrumen

Spektrofotometer Inframerah (FT-IR, Shimadzu Prestige 21 - Universitas Gadjah Mada; FT-IR Nicolet Avatar 360 IR - Universitas Islam Indonesia), Difraktometer Sinar-X (XRD Bruker D2 Phaser - Universitas Islam Indonesia) dan Mikroskop Pemindai Elektron (SEM Phenom Desktop ProXL - Universitas Islam Indonesia).

Prosedur

Preparasi Sampel dengan modifikasi (Ki et al., 2013)

Kulit singkong dipisahkan antara bagian putih dengan kulit luarnya lalu dicuci bersih. Kulit singkong yang sudah bersih dipotong kecil-kecil lalu dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2 hari dilanjutkan dengan dioven pada suhu 110 °C selama 24 jam. Kulit singkong yang sudah kering dihaluskan dengan *digrinder* lalu diayak menggunakan ayakan ukuran 30 *mesh*.

Karbonisasi Sampel dengan modifikasi (Suprabawati et al., 2018)

Sampel hasil ayakan dikarbonisasi dengan *furnace* pada suhu 500 °C selama 60 menit lalu diayak menggunakan ayakan ukuran 30 *mesh*.

Aktivasi Sampel dengan modifikasi (Riyanto & Prabalaras, 2019)

Karbon kulit singkong diimpregnasi menggunakan larutan H_3PO_4 30% dengan rasio impregnasi 1:5; 1:6; 1:8; 1:10; 1:12 (b/b, karbon: H_3PO_4 30%) selama 24 jam. Karbon hasil impregnasi lalu disaring, dikeringkan dengan oven pada suhu 110 °C selama 24 jam lalu di-*furnace* kembali pada suhu 600 °C selama 60 menit. Kemudian variasi selanjutnya yaitu dengan karbon kulit singkong yang diimpregnasi dengan rasio 1:6 diaktivasi pada suhu 400, 500, 600, 700 dan 800 °C selama 60 menit. Karbon aktif kulit singkong (KAKS) dinetralkan menggunakan larutan NaOH 1 M dan dibilas dengan akuades hingga pH=7. KAKS dikeringkan dengan oven pada suhu 110 °C selama 24 jam lalu diayak menggunakan ayakan ukuran 60 *mesh*.

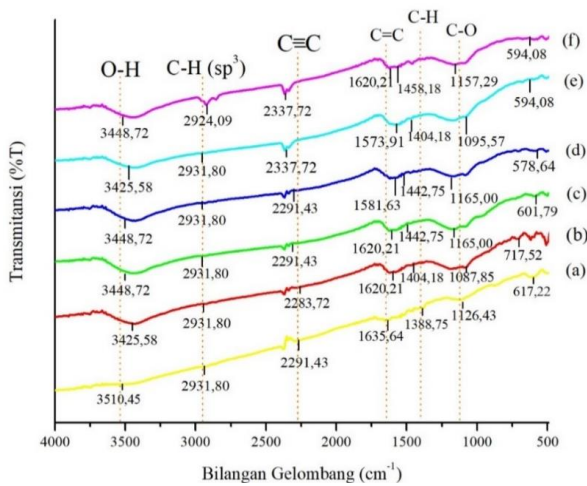
Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong

Karbon aktif kulit singkong dikarakterisasi dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsionalnya pada bilangan gelombang 4000–400 cm^{-1} . Analisa sifat kristal menggunakan XRD dan analisa permukaan KAKS menggunakan SEM, berturut-turut pada rasio impregnasi dan suhu aktivasi optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Gugus Fungsi Karbon Aktif (FTIR)

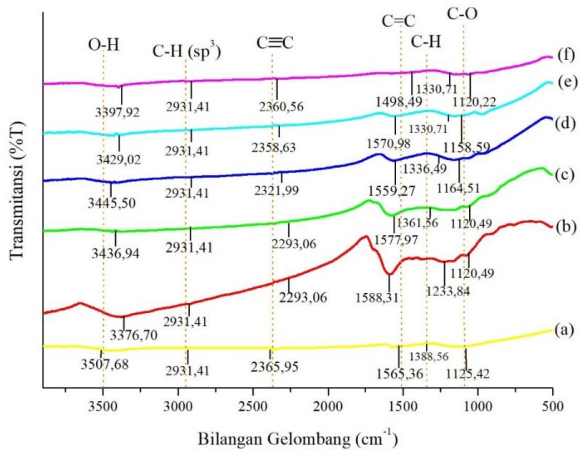
Spektra FTIR KAKS dengan variasi rasio impregnasi yang diaktivasi pada suhu 600 °C selama 60 menit disajikan pada **Gambar 1**. Berdasarkan hasil yang diperoleh terlihat pada rasio impregnasi karbon: H_3PO_4 (b/b) yaitu 1:5 dan 1:6, intensitas serapan pada bilangan gelombang 1000–1300 cm^{-1} mengalami penurunan, sedangkan pada rasio 1:8; 1:10; dan 1:12 terjadi kenaikan intensitas ditandai dengan pita serapan yang melebar. Kenaikan intensitas serapan pada rasio 1:8 sampai 1:12 ini dikarenakan volume asam fosfat yang berlebih mengakibatkan kuatnya ikatan terionisasi $P^+ - O^-$ dan $P-O-C$ sedangkan penurunan intensitas serapan pada rasio 1:5 dan 1:6 ini disebabkan volume asam fosfat yang sedikit tidak mencukupi untuk menguraikan atau membersihkan gugus-gugus pengotor dalam karbon (Li et al., 2015).



Gambar 1. Spektra FTIR: a) karbon aktif standard (komersial); karbon aktif kulit singkong (KAKS) dengan variasi rasio impregnasi (karbon : H₃PO₄ 30%, b/b): b) 1:5; c) 1:6; d) 1:8; e) 1:10; dan f) 1:12 pada suhu aktivasi 600 °C selama 60 menit.

Berdasarkan **Gambar 1a-f** didapatkan hasil KAKS optimal yaitu pada rasio impregnasi 1:6 (b/b) dengan H₃PO₄ yang menunjukkan intensitas P=O paling rendah sehingga memiliki spektra paling mendekati karbon aktif standard.

Setelah mengetahui rasio impregnasi optimal, selanjutnya adalah menyelidiki pengaruh suhu aktivasi terhadap gugus fungsi KAKS yang disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Spektra FTIR: a) karbon aktif standard; karbon aktif kulit singkong (KAKS) dengan variasi suhu aktivasi: b) 400 °C; c) 500 °C; d) 600 °C; e) 700 °C; dan f) 800 °C pada rasio impregnasi 1:6 (karbon : H₃PO₄ 30%, b/b) selama 60 menit.

Pada rentang bilangan gelombang 1498,49–1588,32 cm⁻¹ terlihat intensitas yang kuat pada suhu aktivasi 400 °C dan menurun seiring

kenaikan suhu aktivasi. Hal ini dikarenakan gugus C=C yang berasal dari cincin aromatis ini dihasilkan dari penguraian ikatan C–H dan membentuk ikatan C=C yang lebih stabil ketika suhu aktivasi lebih tinggi (Mopoung et al., 2015). Selain itu muncul pita serapan yang cukup lebar pada bilangan gelombang 1000–1300 cm⁻¹ dimana KAKS yang diaktivasi pada suhu 500 °C menunjukkan penurunan intensitas pita serapan gugus C–O atau P=O yang paling baik dibandingkan perlakuan suhu lainnya. Hal ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Intensitas Puncak Serapan KAKS pada bilangan gelombang 1000–1300 cm⁻¹

Suhu (°C)	Intensitas Puncak Serapan	
	C-H	C-O
400	46,641	48,069
500	10,056	10,099
600	26,975	25,364
700	24,553	23,171
800	22,632	21,668

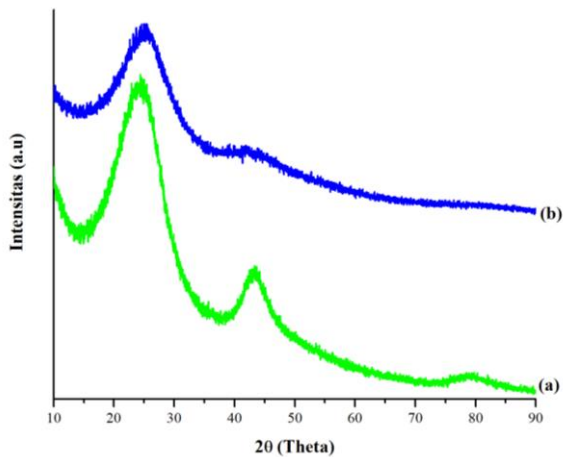
Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan suhu aktivasi 500 °C lebih bagus dalam menurunkan gugus C–O atau P=O sehingga spektra yang dihasilkan lebih mendekati karbon aktif standard. Hal ini menunjukkan bahwa suhu 500 °C merupakan suhu optimal dalam sintesis KAKS pada rasio impregnasi 1:6 (karbon : H₃PO₄ 30%, b/b).

Analisis Kristalinitas Karbon Aktif (XRD)

Difraktogram XRD karbon aktif standard dan KAKS dengan perlakuan rasio impregnasi 1:6 (b/b) serta suhu aktivasi 500 °C selama 60 menit disajikan pada **Gambar 3**. Dari **Gambar 3** diketahui bahwa difraktogram KAKS dan karbon aktif standard memiliki tampilan berupa rentang sudut lebar dan tidak adanya puncak tajam yang menunjukkan struktur dominan *amorf* (Latifan & Susanti, 2012; Shrestha et al., 2016). Pada difraktogram XRD karbon aktif standard (**Gambar 3a**) menunjukkan dua puncak pada sudut difraksi 25,03° dan 43,34° sedangkan pada KAKS difraktogram XRD muncul pada sudut difraksi 23,73° dan 41,86°.

Puncak difraksi ~41° (**Gambar 3b**) tidak terlihat jelas dimungkinkan karena masih adanya pengotor pada sampel sehingga diperlukan proses pemurnian lebih lanjut. Selain itu, proses aktivasi menyebabkan terjadinya pergeseran pelat heksagonal yang semula keteraturannya tinggi (kristalin) menjadi tidak teratur (*amorf*) sehingga

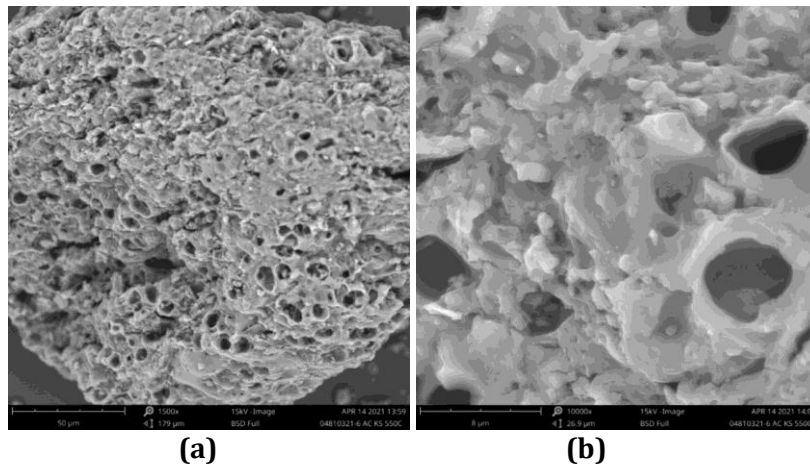
berpengaruh terhadap tinggi rendahnya puncak XRD yang dihasilkan (Shibuta & Elliott, 2011).



Gambar 3. Difraktogram XRD: a) karbon aktif standard; b) KACS dengan rasio impregnasi 1:6 (karbon : H_3PO_4 30%, b/b) dan suhu aktivasi $500\text{ }^\circ\text{C}$ selama 60 menit.

Analisis Permukaan dan Distribusi Unsur Karbon Aktif (SEM-EDX)

Morfologi permukaan KACS dengan mikroskop SEM karbon aktif kulit singkong disajikan pada **Gambar 4**. Berdasarkan citra SEM KACS perbesaran 1500x (**Gambar 4a**) terlihat bahwa permukaan KACS memiliki karakteristik berongga seperti sarang lebah dengan struktur yang tidak beraturan dan heterogen (Schwantes et al., 2015; Yakout & Sharaf El-Deen, 2016). Kenampakan rongga pada permukaan KACS dihasilkan dari penguapan zat pengaktif yang dalam hal ini adalah asam fosfat selama karbonisasi, meninggalkan ruang yang sebelumnya ditempati oleh zat pengaktif (Ibrahim et al., 2015; Yakout & Sharaf El-Deen, 2016) sehingga menunjukkan bahwa proses aktivasi telah menciptakan pori-pori pada permukaan KACS (Ndongo et al., 2020; Omotosho & Sangodoyin, 2013).



Gambar 4. Citra SEM KACS dengan perlakuan rasio impregnasi 1:6 (b/b) serta suhu aktivasi $500\text{ }^\circ\text{C}$ selama 60 menit: a) perbesaran 1500x; b) perbesaran 10000x

Karakteristik permukaan KACS yang berongga diperkuat pada perbesaran 10000x (**Gambar 4b**) dimana juga terlihat permukaan KACS yang berwarna putih dan halus karena diduga memiliki pori atau rongga yang kecil, hal ini dapat diindikasikan sebagai residu zat-zat tertinggal yang terbentuk selama proses karbonisasi (Shamsuddin et al., 2016). Hasil SEM dilanjutkan analisa EDX untuk distribusi unsur pada KACS (**Tabel 2**).

Berdasarkan **Tabel 2** terlihat bahwa karbon (C) dan oksigen (O) merupakan unsur dominan di dalam KACS dengan persentase masing-masing adalah 72,60% dan 15,52%.

Tabel 2. Komposisi unsur kimia KACS

Unsur	Persentase Unsur (%)
C	72,60
O	15,52
N	10,32
P	1,09
Na	0,47

Dapat dikatakan KACS memiliki karakteristik yang baik untuk digunakan sebagai adsorben (Menya et al., 2018; Ndongo et al., 2020). Adanya kandungan oksigen dimungkinkan karena adanya air yang teradsorpsi serta menunjukkan KACS kaya

akan gugus fungsi seperti karboksil, karbonil, atau fenol pada permukaannya (Yahya et al., 2015). Kemudian adanya atom N dalam KAKS dimungkinkan berasal dari senyawa sianida (HCN) yang merupakan kandungan alami dalam kulit singkong yang belum terdekomposisi sempurna pada saat proses karbonisasi sehingga masih terdapat di dalam KAKS. Selain itu, adanya kandungan fosfat (P) dan Na dalam KAKS dapat diindikasikan sebagai hasil proses impregnasi menggunakan H_3PO_4 serta penetralan menggunakan larutan NaOH (Van et al., 2019).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa FTIR, karakteristik karbon aktif kulit singkong mengandung gugus fungsional O-H, C-H, $C\equiv C$, C=C, C-O/P=O dengan kondisi optimal produksi karbon aktif kulit singkong yaitu pada rasio impregnasi 1:6 (karbon : H_3PO_4 30%, b/b) dan suhu aktivasi 500 °C selama 60 menit. Dari hasil analisa XRD dan SEM, struktur kristal yang dihasilkan bersifat *amorf* serta memiliki struktur pori berongga sehingga baik apabila digunakan sebagai adsorben. Hasil analisa EDX, menunjukkan bahwa pada KAKS mengandung unsur Karbon (72,60%), Oksigen (15,52%), Nitrogen (10,32%), Fosfat (1,09%), dan Natrium (0,47%).

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga atas dukungan dana untuk analisis/karakterisasi material karbon aktif dan pembelian beberapa bahan kimia (*grade pro-analysis*) melalui Skema Hibah Penelitian Internal Skim Penelitian Fundamental Tahun Anggaran 2020 Periode Juli - Desember 2020.

REFERENSI

- Bhatnagar, A., Sillanpää, M., & Witek-Krowiak, A. (2015). Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification - A review. *Chemical Engineering Journal*, 270, 244-271. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.01.135>
- Foo, P., & Lee, L. (2010). Preparation of activated carbon from *Parkia Speciosa* Pod by chemical activation. *Proceedings of the World Congress on Engineering ...*, II, 1-17.
- Hirunpraditkoon, S., Tunthong, N., Ruangchai, A., & Nuithitikul, K. (2011). *4.Hiru*. 5(6), 477-481.
- Ibrahim, T. H., Babar, Z. Bin, & Khamis, M. I. (2015). Removal of Lead (II) Ions from Aqueous Solution Using Eggplant Peels Activated Charcoal. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 50(1), 91-98. <https://doi.org/10.1080/01496395.2014.948558>
- Kayiwa, R., Olupot, P. W., & Lubwama, M. (2019). Production and Potential of Activated Carbon from Cassava Peels for Remediation of Active Pharmaceutical Ingredients from Wastewater : A Review. *Journal of Materials Science Research and Reviews*, 4(4), 1-24.
- Ki, O. L., Kurniawan, A., Lin, C. X., Ju, Y. H., & Ismadji, S. (2013). Bio-oil from Cassava Peel: A Potential Renewable Energy Source. *Bioresource Technology*, 145, 157-161. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.01.122>
- Latifan, R., & Susanti, D. (2012). Aplikasi Karbon Aktif Dari Tempurung Kluwak (Pangium Edule) Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi Dan Aktifasi Fisika Sebagai Electric Double Layer Capacitor (Edlc). *JURNAL TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI*, 1(1), 1-6.
- Li, Y., Zhang, X., Yang, R., Li, G., & Hu, C. (2015). The Role of H_3PO_4 in The Preparation of Activated Carbon from NaOH-treated Rice Husk Residues. *AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1039/x0xx00000x>
- Menya, E., Olupot, P. W., Storz, H., Lubwama, M., & Kiros, Y. (2018). Production and performance of activated carbon from rice husks for removal of natural organic matter from water: A review. *Chemical Engineering Research and Design*, 129, 271-296. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.11.008>
- Mohd-asharuddin, S., Othman, N., Shaylinda, N., & Zin, M. (2017). A Chemical and Morphological Study of Cassava Peel: A Potential Waste as Coagulant Aid. *06012*, 1-8.
- Mopoung, S., Moonsri, P., Palas, W., & Khumpai, S. (2015). Characterization and Properties of Activated Carbon Prepared from Tamarind Seeds by KOH Activation for Fe (III) Adsorption from Aqueous Solution. *The Scientific World Journal*,

- 2015, 1–9. <https://doi.org/10.24817/jkk.v42i2.5633>
- Moreno-Piraján, J. C., & Giraldo, L. (2010). Adsorption of copper from aqueous solution by activated carbons obtained by pyrolysis of cassava peel. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 87(2), 188–193. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2009.12.004>
- Ndongo, G. K., Nsami, N. J., & Mbadcam, K. J. (2020). Ferromagnetic Activated Carbon from Cassava (*Manihot dulcis*) Peels Activated by Iron(III) Chloride: Synthesis and Characterization. *BioResources*, 15(2), 2133–2146. <https://doi.org/10.15376/biores.15.2.2133-2146>
- Oghenejoboh, K. M. (2015). *Effects of Cassava Wastewater on the Quality of Receiving Water Body Intended for Fish Farming*. *Effects of Cassava Wastewater on the Quality of Receiving Water Body Intended for Fish Farming*. October. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14356>
- Omotosho, O. A., & Sangodoyin, A. Y. (2013). Production and utilization of cassava peel activated carbon in treatment of effluent from cassava processing industry. *Water Practice and Technology*, 8(2), 215–224. <https://doi.org/10.2166/wpt.2013.023>
- Riyanto, C. A., Ampri, M. S., & Martono, Y. (2020). Synthesis and Characterization of Nano Activated Carbon from Annatto Peels (*Bixa orellana* L.) Viewed from Temperature Activation and Impregnation Ratio of H₃PO₄. *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*, 1(1), 44–50. <https://doi.org/10.20885/eksakta.vol1.iss1.art7>
- Riyanto, C. A., & Prabalaras, E. (2019). The Adsorption Kinetics and Isotherm of Activated Carbon from Water Hyacinth Leaves (*Eichhornia crassipes*) on Co(II). *Journal of Physics: Conference Series*, 1307(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1307/1/012002>
- Riyanto, C. A., Prabalaras, E., & Martono, Y. (2020). Karakterisasi Nanopartikel Karbon Aktif dari Daun Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Berdasarkan Variasi Suhu dan Waktu Aktivasi. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 42(2), 85. <https://doi.org/10.24817/jkk.v42i2.5633>
- Santoso, R. H., Susilo, B., & Nugroho, W. A. (2014). Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Menggunakan Activating Agent KOH. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 2(3), 279–286.
- Schwantes, D., Celso, A., Jr, G., Casarin, J., Pinheiro, A., Pinheiro, I. G., & Coelho, G. F. (2015). Removal of Cr (III) from Contaminated Water Using Industrial Waste of The Cassava as Natural Adsorbents. November. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015>
- Setyoningsih, L. A., & Indarti, D. (2018). Making and Characterization of Active Cigarette Skin Character Using ZnCl₂ Activator. *Jurnal Kimia Riset*, 3(1), 13–19.
- Shamsuddin, M. S., Yusoff, N. R. N., & Sulaiman, M. A. (2016). Synthesis and Characterization of Activated Carbon Produced from Kenaf Core Fiber Using H₃PO₄ Activation. *Procedia Chemistry*, 19, 558–565. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.053>
- Shibuta, Y., & Elliott, J. A. (2011). Interaction between Two Graphene Sheets with A Turbostratic Orientational Relationship. *Chemical Physics Letters*, 512(4–6), 146–150. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2011.07.013>
- Shrestha, L. K., Andhikari, L., Shrestha, R. G., Andhikari, M. P., Andhikari, R., Hill, J. P., Pradhananga, R. R., & Ariga, K. (2016). No Title. *Nanoporous Carbon Materials with Enhanced Supercapacitance Performance and Non-Aromatic Chemical Sensing with C1/C2 Alcohol Discrimination*, 17(1), 483–492.
- Suprabawati, A., Holiyah, N., & Jasmansyah, J. (2018). Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Sebagai Karbon Aktif dengan Berbagai Langkah Pembuatan untuk Adsorpsi Ion Logam Timbal Pb²⁺) dalam Air. *Jurnal Kartika Kimia*, 1(1), 21–28.
- Van, K. Le, Luong, T., & Thu, T. (2019). Preparation of Pore-Size Controllable Activated Carbon from Rice Husk Using Dual Activating Agent and Its Application

in *Supercapacitor*. 2019.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2019/4329609>

- Wang, J., Wu, F. A., Wang, M., Qiu, N., Liang, Y., Fang, S. Q., & Jiang, X. (2010). Preparation of activated carbon from a renewable agricultural residue of pruning mulberry shoot. *African Journal of Biotechnology*, 9(19), 2762–2767.
<https://doi.org/10.5897/AJB2010.000-3101>
- Widiarto, S., Pramono, E., Rochliadi, A., & Arcana, I. M. (2019). *Cellulose Nanofibers Preparation from Cassava Peels via Mechanical Disruption*. 2–11.
- Yahya, M. A., Al-Qodah, Z., & Ngah, C. W. Z. (2015). Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 218–235.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.051>
- Yakout, S. M., & Sharaf El-Deen, G. (2016). Characterization of Activated Carbon Prepared by Phosphoric Acid Activation of Olive Stones. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1155–S1162.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.12.002>