

KARAKTERISASI NANOPARTIKEL KARBON AKTIF DARI DAUN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) BERDASARKAN VARIASI SUHU DAN WAKTU AKTIVASI

Cucun Alep Riyanto, Eliana Prabalaras, Yohanes Martono

Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana
Jalan Diponegoro 52 – 60, Salatiga, Jawa Tengah 50711

E-mail: cucun.riyanto@uksw.edu

Received : 9 Oktober 2019; revised : 1 November 2019; accepted : 2 Juli 2020

ABSTRAK

KARAKTERISASI NANOPARTIKEL KARBON AKTIF DARI DAUN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) BERDASARKAN VARIASI SUHU DAN WAKTU AKTIVASI. Daun eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) masih terbatas dalam hal pemanfaatannya, namun daun eceng gondok (DEG) berpotensi untuk dibuat menjadi nanokarbon karena memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan optimasi pembuatan nanopartikel karbon aktif DEG dengan variasi suhu dan waktu aktivasi serta melakukan karakterisasi nanopartikel karbon aktif DEG yang didapatkan. Proses pembuatan karbon dilakukan dengan metode karbonisasi pada suhu 400 °C selama 1 jam. Proses aktivasi dilakukan dengan dua cara, yaitu aktivasi fisika dengan variasi suhu (400 – 800 °C) dan waktu aktivasi (30 – 150 menit), dan aktivasi kimia dengan menggunakan H₃PO₄ (30%) pada rasio impregnasi 1:4 (b/b). Berdasarkan hasil spektra *Fourier Transform Infrared* (FTIR), suhu dan waktu aktivasi terbaik adalah pada proses aktivasi suhu 600 °C selama 60 menit dengan adanya gugus fungsi O–H, C–H, C≡C, C=C, dan C–O pada bilangan gelombang 3410,15 cm⁻¹, 2931,80 cm⁻¹, 2337,72 cm⁻¹, 1573,91 cm⁻¹, dan 1180,44 cm⁻¹, berturut-turut. Hasil analisa *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa nanopartikel karbon aktif DEG memiliki dua puncak difraksi yang luas pada rentang 2θ = 23,9° – 26,6° dan 42,0° – 44,8°. Hasil analisis *Transmission Electron Microscope* (TEM) menunjukkan nanopartikel karbon aktif DEG memiliki ukuran nanopartikel yang berbentuk bulat dengan ukuran 22 nm – 35 nm.

Kata kunci : Daun eceng gondok, H₃PO₄, Karbon aktif

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF ACTIVATED CARBON NANOPARTICLES FROM THE WATER HYACINTH LEAVES (*Eichhornia crassipes*) BASED ON VARIATION OF TEMPERATURE AND ACTIVATION TIME Water hyacinth leaves (WHL), *Eichhornia crassipes*, are still limited in terms of their utilization, but they are potential as carbon resource because they contain high lignocellulosic. The purpose of this study is to synthesize an activated carbon nanoparticles from the water hyacinth leaves (NACWHL) at different activation temperature (100 – 800 °C) and time (30 – 150 minutes), also to characterized NACWHL. The carbonization process was carried out at temperature of 400 °C for 60 minutes. The activation process was carried out in two ways, namely physical activation at different temperature activation (100 – 800 °C) and time (30 – 150 minutes) also chemical activation using H₃PO₄ (30%) at a impregnation ratio of 1:4 (w/w). *Fourier Transform Infrared* (FTIR) spectra showed that the best temperature and activation time is the 600 °C for 60 minutes indicated by the presence of O–H, C–H, C≡C, C=C, and C–O functional groups at wave number 3410.15 cm⁻¹, 2931.80 cm⁻¹, 2337.72 cm⁻¹, 1573.91 cm⁻¹, and 1180.44 cm⁻¹, respectively. *X-Ray Diffraction* (XRD) analysis showed that NACWHL has two broad diffraction peaks in the range 2θ = 23.9° – 26.6° and 42.0° – 44.8°. Secondary electron images from *Transmission Electron Microscope* (TEM) showed that the obtained activated carbon has spherical shape in the range of 22 nm – 35 nm.

Keywords: Activated carbon, H₃PO₄, Water Hyacinth Leaves

PENDAHULUAN

Eceng gondok (*E. crassipes*) merupakan tanaman gulma yang tumbuh pada permukaan air atau rawa dengan pertumbuhan yang cepat

(3% per hari) (Fachry et al., 2010). Khususnya di daerah Kabupaten Semarang, Rawa Pening merupakan daerah yang memiliki masalah

terhadap pertumbuhan eceng gondok dengan luas 2.670 hektar dengan tingkat sedimentasi mencapai 778,93 ton/tahun. Hal ini menyebabkan volume air menurun 29,34% selama 22 tahun terakhir (Kusumaputra, 2011). Eceng gondok mengandung lignoselulosa yang terdiri dari selulosa 25%, hemiselulosa 33% dan lignin 10% (Rachmawaty et al., 2013). Pemanfaatan eceng gondok masih terbatas dalam lingkup yang kecil, seperti sebagai sumber bahan baku pembuatan membran (Rachmawaty, et al., 2013), kertas seni (Winanto, 2013), bioetanol (Eshtiagi et al., 2012), dan pupuk cair (Rozaq and Novanto, 2010). Sehubungan dengan hal tersebut, maka perlu adanya pemanfaatan lebih lanjut tentang daun eceng gondok (DEG) sebagai sumber bahan baku karbon aktif dengan potensi berlimpah dan belum banyak dimanfaatkan. Berdasarkan penelitian Sangkota and Said (2017), DEG memiliki potensi untuk dijadikan karbon aktif, karena DEG memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi senyawa organik maupun anorganik.

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang baik digunakan untuk pemurnian, katalis, penghilang warna, dan bau (Holle et al., 2013). Karbon aktif adalah produk karbonisasi yang berasal dari penguraian/pemecahan selulosa menjadi karbon (Turmuzi and Syaputra, 2015). Karbon aktif memiliki sifat *amorf* dengan luas permukaan sekitar 300 m²/g – 2000 m²/g, hal ini menyebabkan karbon aktif mempunyai kemampuan untuk menyerap dengan daya jerap mencapai 25% – 1000% (Esterlita and Herlina, 2015). Kemampuan menyerap ini disebabkan karena terbentuknya pori-pori pada karbon aktif akibat proses karbonisasi yang dilanjutkan dengan proses aktivasi (Wulandari et al., 2003).

Karbon aktif yang digunakan dalam penelitian nano karbon berasal dari lignoselulosa yang memiliki ukuran sekitar 1 nm – 1000 nm (Pari et al., 2016). Ukuran nano karbon yang semakin kecil akan memperluas ukuran kontak sehingga daya jerapnya semakin tinggi (Munandar et al., 2016). Teknologi nano yang dapat dikembangkan di antaranya adalah nano karbon, dengan bahan baku utamanya atom karbon dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, nitrogen dan abu yang berasal dari karbon hasil karbonisasi lignoselulosa (Pari et al., 2016). Dengan adanya teknologi nano secara fundamental objek dalam skala nano meter memiliki sifat dan fungsi baru yang sama sekali berbeda dengan sifat dan fungsinya dalam ukuran yang lebih besar (Melati and Hidayati, 2017). Mutu nano karbon aktif yang dihasilkan sangat bergantung pada bahan baku, bahan pengaktif, suhu, dan cara pengaktifannya (Yuliastuti and Cahyono, 2018). Nano karbon menjadi kajian yang sangat menarik karena pada perkembangannya, nano karbon memiliki

ukuran nano yang dikelilingi elektron bebas aktif dengan kemurnian tinggi dan atom karbonnya teraktifkan (Pari et al., 2016).

Pembuatan nano karbon aktif dipengaruhi oleh dua proses aktivasi yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Pada proses aktivasi fisika melibatkan karbonisasi primer bahan baku dengan melakukan proses pemanasan pada suhu < 700 °C, lalu diikuti dengan proses gasifikasi terkontrol pada suhu > 850 °C di dalam aliran gas pengoksidasi (El-hendawy et al., 2001). Pada proses aktivasi kimia yang biasa digunakan adalah suatu aktivator yang bersifat asam, seperti ZnCl₂ dan H₃PO₄ (Adinata, 2013). Berdasarkan penelitian Ghafarunnisa et al. (2017) yang menggunakan aktivator H₃PO₄ dalam pemanfaatan batu bara menjadi karbon aktif didapatkan suhu optimum pada suhu 600 °C selama 3 jam. Pada penelitian Wulandari et al. (2003) yang menggunakan aktivator HCl dan H₃PO₄ di dalam pemanfaatan tempurung kelapa menjadi karbon aktif didapatkan hasil terbaik adalah pada suhu 100 °C dan 105 °C selama 2 jam dengan menggunakan aktivator H₃PO₄. Sedangkan pada penelitian Sahara et al. (2017) dalam pembuatan karbon aktif menggunakan aktivator H₃PO₄ menghasilkan karbon aktif dengan karakter terbaik dan telah memenuhi SNI 06-3730-1995 tentang karbon aktif teknis. Penambahan aktivator H₃PO₄ sangat mempengaruhi sifat dari nano karbon aktif, sedangkan suhu karbonisasi di dalam pembuatan nano karbon aktif berpengaruh pada kadar air yang terkandung di dalam karbon aktif dan besar pori yang terbentuk. Semakin tinggi suhu karbonisasi, maka semakin sedikit kadar air yang terkandung di dalam karbon aktif, sehingga semakin besar pori-pori yang dihasilkan (Wulandari et al., 2003).

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, diketahui bahwa DEG belum dimanfaatkan secara optimal, disisi lain DEG memiliki potensi untuk dapat dijadikan karbon aktif. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan optimasi pembuatan karbon aktif dari DEG dengan variasi suhu dan waktu aktivasi. Selain itu, akan dilakukan karakterisasi terhadap karbon aktif dari DEG yang diperoleh.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Piranti

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel daun eceng gondok (DEG) yang diperoleh dari Rawa Pening, Kab. Semarang. Bahan kimia yang digunakan adalah H₃PO₄ 30% dan NaOH 1M (*E-Merck*, Germany). Semua bahan kimia yang digunakan berderajat pro-analisis.

Piranti yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitis dengan ketelitian 0,01 g (Ohaus TAJ601), neraca analitis dengan

ketelitian 0,1 mg (Ohaus PA214), pH meter (Hanna HI 9812), *furnace* (Vulcan A-550), *grinder* (Philips), ayakan (CBN, 30 mesh) dan piranti gelas laboratorium.

Instrumen yang digunakan adalah spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR, Shimadzu Prestige 21), Difraktometer Sinar-X (XRD, Rigaku Multiflex 2 kW), dan *Transmission Electron Microscope* (TEM, JEM 1400 JEOL/EO).

Metode

Preparasi Sampel (Anisuzzaman et al., 2015)

Sampel DEG dicuci dengan air bersih dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Selanjutnya sampel dipotong kecil-kecil dan dioven selama 24 jam pada suhu 110 °C. Kemudian sampel dihaluskan dengan *grinder* dan diayak dengan ayakan 30 mesh.

Karbonisasi Sampel (Shamsuddin, Yusoff, and Sulaiman, 2016) (modifikasi)

Karbonisasi sampel dilakukan dengan memasukkan sampel ke dalam *furnace* (T = 400 °C) selama 1 jam. Karbon diimpregnasi dengan H₃PO₄ 30% pada rasio 1:4 (b/b) selama 24 jam. Setelah itu sampel disaring dan diambil residunya lalu dioven (T = 110°C) selama 24 jam. Kemudian diaktivasi pada suhu 400, 500,

600, 700, dan 800 °C selama 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Kemudian sampel dibilas beberapa saat dengan NaOH 1M lalu dibilas dengan akuades sampai pH 7. Hasil aktivasi dioven (T = 110 °C) selama 24 jam.

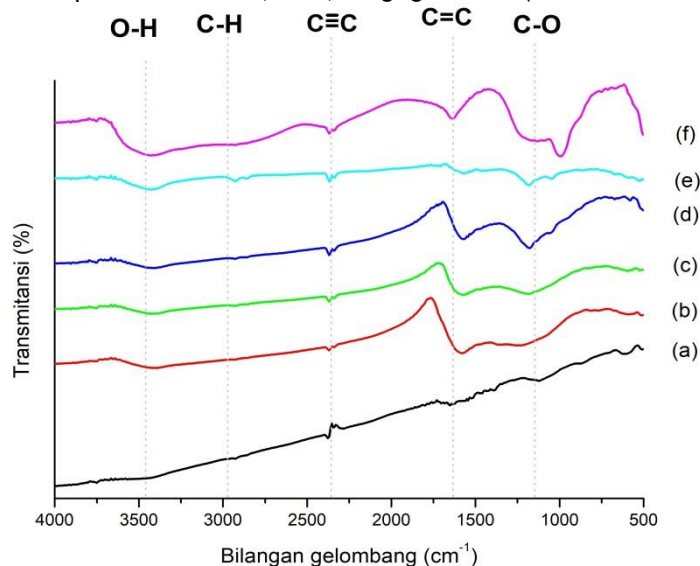
Karakterisasi Sampel

Analisis gugus fungsional karbon aktif DEG dapat diamati dengan spektrofotometer FTIR pada rentang bilangan gelombang 4000 – 400 cm⁻¹. Analisis sifat kristal karbon aktif DEG diuji dengan alat XRD dan untuk mengetahui ukuran partikel dari karbon aktif DEG dilakukan dengan menggunakan TEM pada hasil karbon aktif DEG terbaik dari variasi suhu dan waktu aktivasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Karbon Aktif DEG

Berdasarkan spektra pada Gambar 1 dan 2, puncak serapan gugus pada karbon aktif standard (komersial) terdeteksi pada bilangan gelombang 3510,45; 2931,80; 2291,43; 1635,64; dan 1126,43 cm⁻¹ yang berturut-turut merupakan vibrasi O–H (Sencan and Kilic, 2015); ikatan C–H; ikatan C≡C (Tran et al., 2017); peregangan ikatan C=C (Mistry 2009); dan peregangan gugus C–O (Pehlivan, 2017).



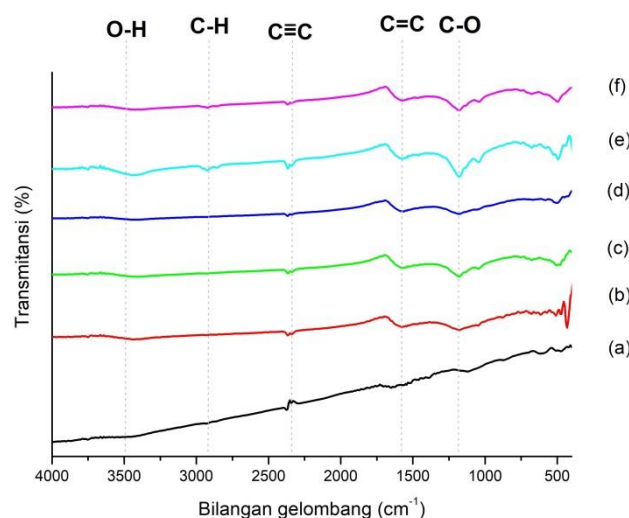
Gambar 1. Spektra FTIR: a) karbon aktif standard (komersial); karbon aktif DEG pada variasi suhu aktivasi b) 400; c) 500; d) 600; e) 700; dan f) 800 °C selama 60 menit.

Tabel 1. Gugus fungsional karbon aktif DEG variasi suhu pada waktu 60 menit

No.	Gugus fungsi	Karbon Aktif Standard (Komersial)	Suhu (°C)				
			400	500	600	700	800
1	O–H	3510,45	3410,15	3410,15	3410,15	3425,58	3425,58
2	C–H	2931,80	2931,80	2931,80	2931,80	2924,09	2924,09
3	C≡C	2291,43	2337,72	2337,72	2337,72	2337,72	2337,72
4	C=C	1635,64	1581,63	1573,91	1573,91	1566,20	1635,64
5	C–O	1126,43	1234,44	1180,44	1180,44	1180,44	1134,14

Pada Gambar 1, peningkatan suhu aktivasi dari 400 – 800 °C menunjukkan sejumlah pergeseran pita serapan pada karbon aktif. Pita serapan pada bilangan gelombang 1581 – 1566 cm^{-1} merupakan vibrasi peregangan tak jenuh dari ikatan C–C yang berasal dari vibrasi C=C aromatik (Kiliç, Apaydin-Varol, and Pütün, 2012). Pada bilangan gelombang 1249 – 1126 cm^{-1} menunjukkan adanya peregangan P=O yang berikatan dengan hidrogen karena adanya vibrasi O–C yang membentang pada P–O–C dan P=OOH. Pita serapan kuat pada bilangan gelombang 2931 – 2854 cm^{-1} menunjukkan vibrasi peregangan C–H

dalam gugus alkana (Demiral and Aydin Şamdan, 2016). Pada bilangan gelombang 3510 – 3410 cm^{-1} terjadi vibrasi perenggangan O–H dari gugus fungsi hidroksil yang terikat dengan hidrogen. Bilangan gelombang 2337,72 cm^{-1} merupakan gugus serapan dari asetilen (C≡C) (Shamsuddin, Yusoff, and Sulaiman, 2016). Berdasarkan perbandingan spektra FTIR pada Gambar 1 tersebut maka didapatkan spektra karbon aktif DEG pada suhu 600 °C (Gambar 1d) memiliki pola spektra yang menyerupai karbon aktif standard dan dianggap sebagai hasil terbaik pada perlakuan ini.



Gambar 2. Spektra FTIR: a) karbon aktif standard (komersial); karbon aktif DEG pada variasi waktu aktivasi b) 30; c) 60; d) 90; e) 120; dan f) 150 menit pada suhu 600 °C.

Tabel 2. Gugus fungsional karbon aktif DEG variasi waktu pada suhu 600 °C

No.	Gugus fungsi	Karbon Aktif Standard (Komersial)	Waktu (menit)				
			30	60	90	120	150
1	O–H	3510,45	3402,43	3410,15	3402,43	3425,58	3410,15
2	C–H	2931,80	2939,52	2931,80	2924,09	2924,09	2924,09
3	C≡C	2291,43	2337,72	2337,72	2337,72	2337,72	2337,72
4	C=C	1635,64	1581,63	1573,91	1566,20	1581,63	1573,91
5	C–O	1126,43	1180,44	1180,44	1180,44	1180,44	1180,44

Spektra FTIR karbon aktif pada suhu 600 °C dengan variasi waktu aktivasi dari 30 – 150 menit ditunjukkan pada Gambar 2. Secara umum, pola spektra FTIR karbon aktif DEG variasi waktu (Gambar 2b-f) menyerupai pola spektra FTIR karbon aktif standard dengan spektra yang paling mirip adalah pada karbon aktif DEG variasi 60 menit (Gambar 2c). Kemiripan tersebut ditentukan karena adanya 4 area serapan bilangan gelombang pada karbon aktif DEG variasi waktu 60 menit yang mendekati karbon aktif standard (Tabel 2).

Spektra FTIR hasil karbon aktif DEG menunjukkan pita serapan kuat pada bilangan gelombang 1581 – 1566 cm^{-1} karena adanya gabungan vibrasi dari gugus C=C dan cincin aromatik terkonjugasi (Anisuzzaman et al., 2015; Prahastika et al., 2008). Karbon aktif DEG yang dihasilkan dari penelitian ini sesuai dengan karbon aktif standard, dimana bilangan gelombang dari beberapa puncak yang dihasilkan berada dalam rentang bilangan gelombang secara teoritis yang disajikan pada Tabel 3.

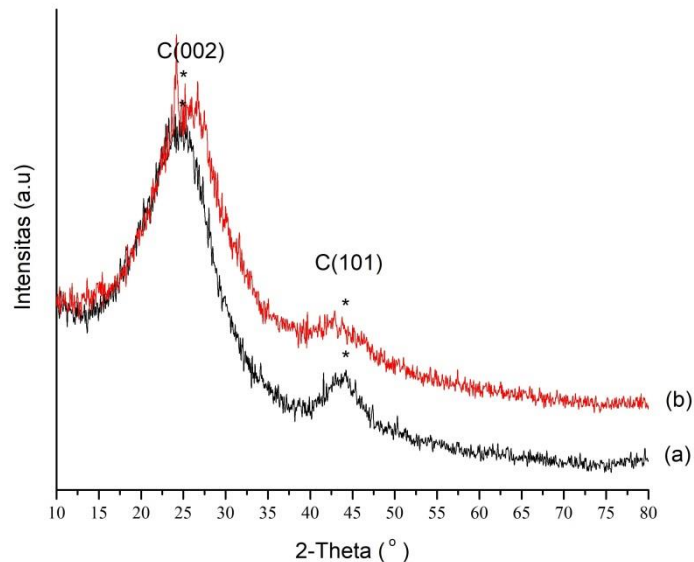
Tabel 3. Gugus fungsional karbon hasil aktivasi

No.	Gugus fungsi	Bilangan Gelombang Karbon Aktif (cm ⁻¹)		
		Teoritis (Mistry 2009)	Standard (Komersial)	DEG Suhu (600 °C) pada waktu (60 menit)
1	O-H	3570 – 3450	3510,45	3410,15
2	C-H	2975 – 2915	2931,80	2931,80
3	C≡C	2260 – 2190	2291,43	2337,72
4	C=C	1660 – 1580	1635,64	1573,91
5	C-O	1200 – 1050	1126,43	1180,44

Analisis XRD

Analisa menggunakan XRD bertujuan untuk mengidentifikasi fase kristal, struktur kristal, maupun derajat kristalinitas dari suatu sampel (Hartini, Hidayat, and Mudjijono, 2015). Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa ada pola difraktogram untuk kedua sampel karbon aktif (standard dan DEG) yang dianalisis adalah relatif sama, namun standard memiliki derajat kristalinitas yg relatif lebih tinggi dibandingkan dengan karbon aktif DEG. Hal ini ditunjukkan dengan rentang nilai 2θ untuk standard lebih sempit dibandingkan nilai 2θ karbon aktif DEG. Luas puncak difraksi C (002) menunjukkan sifat karbon *amorf* dan puncak difraksi lemah C (101) menunjukkan adanya sumbu struktur grafit (Liu et al., 2010). Hasil penelitian lain pada puncak difraksi $2\theta = 23,9^\circ$, menunjukkan masih adanya kandungan silika di dalam sampel (Surianty,

Akhiruddin, and Ambarsari, 2013; Rahman et al., 2015). Dari pola difraktogram yang dihasilkan, karbon aktif DEG memiliki sifat *amorf* dengan terbentuknya puncak pada $2\theta = 23,9^\circ$. Puncak hasil XRD karbon aktif DEG ini memiliki kemiripan dengan hasil XRD pada penelitian sintesis abu ampas tebu yang dilakukan oleh Yusuf, Suhendar, and Hadisantoso (2014) yaitu sekitar $2\theta = 21^\circ - 23^\circ$ dan aktivasi arang sekam padi yang dilakukan oleh Solihudin, Noviyanti, and Rukiah (2015) yaitu pada $2\theta = 23^\circ$. Berdasarkan penelitian Tse and Klug (1995) serta Hanafi and Nandang (2010) dimana pada kisaran sudut $2\theta = 23^\circ$ menunjukkan pola difraksi silika dengan fasa *amorf* terhidrat. Dalam silika *amorf* penyusun atom terjadi secara acak dengan derajat keteraturan yang rendah (Handayani, 2009).



Gambar 3. Difraktogram Sinar-X: (a) karbon aktif standard (komersial) dan (b) karbon aktif DEG (suhu aktivasi 600 °C selama 60 menit)

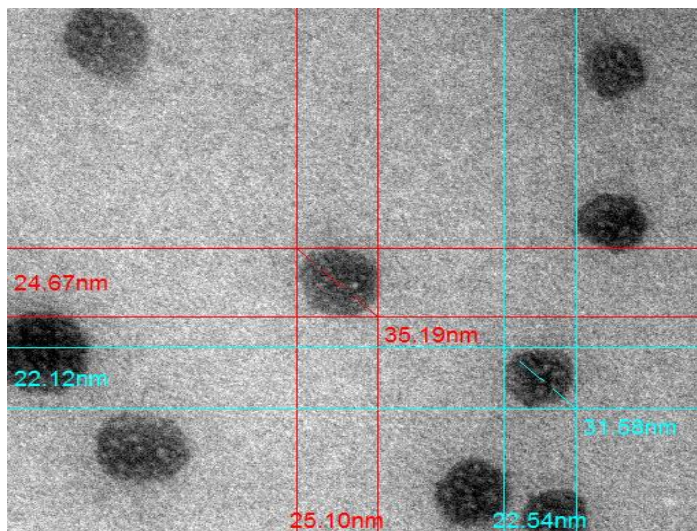
Analisis TEM

Citra TEM memberikan informasi visual dari ukuran, dispersitas, bentuk dan struktur (Surianty, Akhiruddin, and Ambarsari, 2013). Hasil analisa TEM karbon aktif DEG ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif DEG memiliki struktur berbentuk bulat, hasil ini serupa dengan penelitian Falco et al. (2013) dan Rahman et al.

(2015) dengan hasil sintesa karbon aktif dari hemiselulosa yang memiliki struktur berbentuk bulat. Karakteristik kuantitatif karbon aktif DEG terlihat membentuk sebuah kelompok atau agregasi dengan distribusi ukuran yang relatif seragam. Pada penelitian Surianty, Akhiruddin, and Ambarsari (2013), dan Li, Huang, and Kaner (2009) tentang studi elektrokimia karbon

didapatkan hasil citra TEM yang membentuk agregasi dengan diameter sekitar 30 – 80 nm yang merupakan golongan nanopartikel. Penelitian serupa tentang pembuatan nano karbon dari tempurung kelapa menghasilkan karbon berbentuk bulat dengan ukuran berkisar antara 20 – 40 nm (Sarswat and Mohan 2016).

Pada karbon DEG terlihat ukuran agregasi terkecil 22,12 nm dengan diameter rata-rata pada rentang ukuran 31,58 – 35,19 nm. Berdasarkan hasil ini, karbon aktif DEG dapat digolongkan sebagai nanopartikel karbon aktif dengan ukuran partikel 22 – 35 nm (Najma, 2012).



Gambar 4. Citra TEM karbon aktif DEG

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR diperoleh karbon aktif DEG dengan proses impregnasi H_3PO_4 30% pada rasio 1:4 (b/b) pada kondisi terbaik yaitu suhu aktivasi 600 °C selama 60 menit. Hasil karakterisasi FTIR tersebut menunjukkan bahwa karbon aktif DEG mengandung gugus fungsi O–H, C–H, $C\equiv C$, C=C, dan C–O pada bilangan gelombang 3410,15; 2931,80; 2337,72; 1573,91; dan 1180,44 cm^{-1} , berturut-turut. Hasil analisa XRD menunjukkan karakter *amorf* dari karbon aktif DEG dengan puncak difraksi karbon aktif pada rentang C(002) ($2\theta = 23,9 - 26,6^\circ$) dan C(101) ($2\theta = 41,8 - 44,8^\circ$). Hasil analisa TEM menunjukkan bahwa partikel karbon aktif DEG berbentuk bulat dan berukuran 22 – 35 nm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga atas dukungan dana untuk analisis XRD dan TEM melalui Skema Hibah Penelitian Internal Skim Penelitian Perseorangan/Kelompok Wajib Tahun Anggaran 2018-2019.

DAFTAR PUSTAKA

Adinata, M. R. 2013. "Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Sebagai Karbon Aktif." *Skripsi*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Jawa Timur.

- Anisuzzaman, S. M., C. G. Joseph, W. M. A. Bin Wan Daud, D. Krishnaiah, and H. S. Yee. 2015. "Preparation and Characterization of Activated Carbon from Typha Orientalis Leaves." *International Journal of Industrial Chemistry* 6 (1): 9–21. doi:10.1007/s40090-014-0027-3.
- Demiral, I., and S. C. Aydin. 2016. "Preparation and Characterisation of Activated Carbon From Pumpkin Seed Shell Using H_3PO_4 ." *Anadolu University Journal of Science and Technology-A Applied Sciences and Engineering* 17 (1): 125–38. doi:10.18038/btda.64281.
- El-Hendawy, A. N. A., S. E. Samra, and B. S. Girgis. 2001. "Adsorption Characteristics of Activated Carbons Obtained from Corncobs." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 180 (3): 209–21. doi:10.1016/S0927-7757(00)00682-8.
- Eshtiagi, M. N., N. Yoswathana, J. Kuldiloke, and A. G. Ebada. 2012. "Preliminary Study for Bioconversion of Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes) to Bioethanol." *African Journal of Biotechnology* 11 (21): 4921–28. doi:10.5897/ajb11.4045.
- Esterlita, M. O., and N. Herlina. 2015. "Pengaruh Penambahan Aktivator $ZnCl_2$, KOH, Dan H_3PO_4 Dalam Pembuatan Karbon Aktif Dari Pelepah Aren (Arenga Pinnata)." *Jurnal Teknik Kimia USU* 4 (1): 47–52.

- doi:10.32734/jtk.v4i1.1460.
- Fachry, A. R., T. I. Sari, A. Y. Dipura, and J. Najamudin. 2010. "Mencari Suhu Optimal Proses Karbonisasi Dan Pengaruh Campuran Batubara Terhadap Kualitas Briket Eceng Gondok." *Teknik Kimia* 17 (2): 55–67.
- Falco, C., J. M. Sieben, N. Brun, Ma. Sevilla, T. Van Der Maulen, E. Morallón, D. Cazorla-Amorós, and M. M. Titirici. 2013. "Hydrothermal Carbons from Hemicellulose-Derived Aqueous Hydrolysis Products as Electrode Materials for Supercapacitors." *ChemSusChem* 6 (2): 374–82. doi:10.1002/cssc.201200817.
- Ghafarunnisa, D., A. Rauf, and B. T. S. Rukmana. 2017. "Pemanfaatan Batubara Menjadi Karbon Aktif Dengan Proses Karbonisasi Dan Aktivasi Menggunakan Reagen Asam Fosfat (H₃PO₄) Dan Ammonium Bikarbonat (NH₄HCO₃)." *Prosiding Seminar Nasional XII* 1 (1): 36–41.
- Hanafi, A., and R. A. Nandang. 2010. "Studi Pengaruh Bentuk Silika Dari Abu Ampas Tebu Terhadap Kekuatan Produk Keramik." *Jurnal Kimia Indonesia* 5 (1): 35–38.
- Handayani, E. 2009. "Sintesa Membran Nanokomposit Berbasis Nanopartikel Biosilika Dari Sekam Padi Dan Kitosan Sebagai Matriks Biopolimer."
- Hartini, Y. Hidayat, and Mudjijono. 2015. "Study Karakter Pori Terhadap Komposit Alumina - Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Singkong." *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia* 11 (1): 47–57.
- Holle, R. B., A. D. Wuntu, and M. S. Sangi. 2013. "Kinetika Adsorpsi Gas Benzene Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa." *Jurnal MIPA* 2 (2): 100. doi:10.35799/jm.2.2.2013.2997.
- Kiliç, M., E. Apaydin-Varol, and A. E. Pütün. 2012. "Preparation and Surface Characterization of Activated Carbons from Euphorbia Rigida by Chemical Activation with ZnCl₂, K₂CO₃, NaOH, and H₃PO₄." *Applied Surface Science* 261: 247–54. doi:10.1016/j.apsusc.2012.07.155.
- Kusumaputra, Robert Adhi. 2011. "2030, Rawa Pening Bebas Eceng Gondok - Kompas.com."
- Li, D, J. Huang, and R. B. Kaner. 2009. "Polyaniline Nanofibers : A Unique Polymer Nanostructure for Versatile Applications." *Accounts of Chemical Research* 42 (1): 135–45. doi:10.1021/ar800080n.
- Liu, X. Y., M. Huang, H. L. Ma, Z. Q. Zhang, J. M. Gao, Y. L. Zhu, X. J. Han, and X. Y. Guo. 2010. "Preparation of A Carbon-Based Solid Acid Catalyst by Sulfonating Activated Carbon in A Chemical Reduction Process." *Molecules* 15 (10): 7188–96. doi:10.3390/molecules15107188.
- Melati, A., and E. Hidayati. 2017. "Aplikasi Carbon Nano Fiber Terintegrasi Dengan Karbon Aktif Serabut Kelapa Untuk Pengolahan Limbah Laundry." *Panangkar: Jurnal Penelitian Agama Dan Masyarakat* 1 (2): 277. doi:10.14421/panangkar.2017.0102-05.
- Mistry, B. D. 2009. *A Handbook of Spectroscopic Data: UV, IR, PMR, CNMR, and Mass Spectroscopy*. Edited by Valsad-(Gujarat) B.K.M. Science College. 2009th ed. Jaipur, India: Oxford Book Company.
- Munandar, A., S. Muhammad, and S. Mulyati. 2016. "Penyisihan COD Dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Nano Karbon Aktif." *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan* 11 (1): 24. doi:10.23955/rkl.v11i1.4231.
- Najma. 2012. "Pertumbuhan Nanokarbon Menggunakan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Pisang Dengan Metode Pirolisis Sederhana Dan Dekomposisi Metana." Universitas Indonesia, Depok.
- Pari, G., A. Santoso, D. Hendra, B. Buchari, A. Maddu, M. Rachmat, M. Harsini, T. Heriyanto, and S. Darmawan. 2016. "Potensi Struktur Nano Karbon Dari Lignoselulosa." *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 34 (4): 309–22. doi:10.20886/jphh.2016.34.4.309-322.
- Pari, G., A. Santoso, D. Hendra, B. Buchari, A. Maddu, M. Rachmat, Muji Harsini, Bunga Ayu Safitri, Teddi Heriyanto, and Saptadi Darmawan. 2016. "Kemungkinan Penggunaan Nano Karbon Dari Lignoselulosa Sebagai Biosensor." *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 34 (2): 111–26. doi:10.20886/jphh.2016.34.2.111-126.
- Pehlivan, E. 2018. "Production and Characterization of Activated Carbon from Pomegranate Pulp by Phosphoric Acid." *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry* 5 (Special Issue 1): 1–8. doi:10.18596/jotcsa.370738.
- Prahas, D., Y. Kartika, N. Indraswati, and S. Ismadji. 2008. "Activated Carbon from Jackfruit Peel Waste by H₃PO₄ Chemical Activation : Pore Structure and Surface Chemistry Characterization." *Chemical Engineering Journal* 140 (1-3): 32–42. doi:10.1016/j.cej.2007.08.032.
- Rachmawaty, R., M. Meriyani, and Ir. S. Priyanto. 2013. "Sintesis Selulosa Diasetat Dari Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Dan Potensinya Untuk Pembuatan Membran." *Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*, 2 (3): 8–16.
- Rahman, T., M. A. Fadhlulloh, A. Bayu, D. Nandiyanto, A. Mudzakir, K. Kunci, :

- Karbon, and Aplikasi Metode. 2015. "Review: Sintesis Karbon Nanopartikel." *Jurnal Integrasi Proses* 5 (3): 120–31.
- Rozaq, A., and G. Novanto. 2010. "Pemanfaatan Tanaman Enceng Gondok Sebagai Pupuk Cair." Universitas Pembangunan Nasional "Veteran."
- Sahara, E., W. D. Sulihingtyas, and I P. A. S. Mahardika. 2017. "Pembuatan Dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes Erecta*) Yang Diaktivasi Dengan H₃PO₄." *Jurnal Kimia* 11 (1): 1–9.
- Sangkota, V. D. A., and I. Said. 2017. "Chemical Activation Effect of Water Hyacinth Plant (*Eichhornia Crassipes*) Charcoal on Adsorption of Lead (Pb) Metal" 6 (1): 48–54.
- Sarswat, A., and D. Mohan. 2016. "Sustainable Development of Coconut Shell Activated Carbon (CSAC) and Magnetic Coconut Shell Activated Carbon (MCSAC) for Phenol (2-Nitrophenol) Removal." *Royal Society Of Chemistry*, no. 88: 1–59. doi:10.1039/C6RA19756F.
- Sencan, A., and M. Kilic. 2015. "Investigation of the Changes in Surface Area and FT-IR Spectra of Activated Carbons Obtained from Hazelnut Shells by Physicochemical Treatment Methods." *Journal of Chemistry*, 1–8. doi:http://dx.doi.org/10.1155/2015/651651.
- Shamsuddin, M.S., N.R.N. Yusoff, and M.A. Sulaiman. 2016. "Synthesis and Characterization of Activated Carbon Produced from Kenaf Core Fiber Using H₃PO₄ Activation." *Procedia Chemistry* 19. Elsevier Ltd.: 558–65. doi:10.1016/j.proche.2016.03.053.
- Solihudin, A. R. Noviyanti, and Rukiah. 2015. "Aktivasi Arang Sekam Padi Dengan Larutan Natrium Karbonat Dan Karakterisasinya." *Chemica et Natura Acta* 3 (1): 11–16.
- Surianty, Akhiruddin, and L. Ambarsari. 2013. "Studi Elektrokimia Polianilin Komposit Elektroda Pasta Karbon." *Jurnal Biofisika* 9 (2): 45–53.
- Tran, H. N., F. C. Huang, C. K. Lee, and H. P. Chao. 2017. "Activated Carbon Derived from Spherical Hydrochar Functionalized with Triethylenetetramine : Synthesis , Characterizations , and Adsorption Application." *Green Process Synth*, 1–12. doi:10.1515/gps-2016-0178.
- Tse, J. S., and D. D. Klug. 1995. "Structure and Stability of Several High-Pressure Crystalline Polymorphs of Silica." *Physical Review B* 51 (22). doi:10.1103/PhysRevB.51.16392.
- Turmuzi, M., and A. Syaputra. 2015. "Pengaruh Suhu Dalam Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Salak (*Salacca Edulis*) Dengan Impregnasi Asam Fosfat (H₃PO₄)." *Jurnal Teknik Kimia USU* 4 (1): 42–46. doi:10.1093/geront/gnv004.
- Winanto. 2013. "Teknologi Kayu Bambu Dan Serat ' Pengolahan Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Kertas Seni .'"
- Wulandari, F., Erlina, R. A. Bintoro, E. Budi, Umiatin, and H. Nasbey. 2003. "Pengaruh Temperatur Pengeringan Pada Aktivasi Arang Tempurung Kelapa Dengan Asam Klorida Dan Asam Fosfat Untuk Penyaringan Air Keruh," 289–93.
- Yuliasuti, R., and H. B. Cahyono. 2018. "Penggunaan Karbon Aktif Yang Teraktivasi Asam Phosphat Pada Limbah Cair Industri Krisotil." *Teknologi Proses Dan Inovasi Industri* 3 (1): 23–26.
- Yusuf, M., D. Suhendar, and E. P. Hadisantoso. 2014. "Studi Karakterisasi Silika Gel Hasil Sintesis Dari Abu Ampas Tebu Dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida." *UIN SGD Bandung VIII* (1): 159–81.