



Karakteristik Buah Nipah Karbon Aktif dari Serabut Nipah Teraktivasi Potassium Hydroxide (KOH)

Ade Wahyu Yusariarta Putra Parmita¹, Andromeda Dwi Laksono², Muhammad Iskandar Zulkarnain³, Ansita Fitri Budi Hartanti⁴, Rizky Vi'atul Mudhawammah⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Material dan Matalurgi, Jurusan Ilmu Kebumihan dan Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan. Email: adewahyu27@lecturer.itk.ac.id

Abstract

Nipa or mangrove palm waste can be source of activated carbon by chemical activation method using potassium hydroxide (KOH). Nipa palm fiber was carburized at 400°C and activated by 1.5 M KOH. The results of KOH activation are compared with the results from carbonization. The physical and microstructural properties of nipa activated carbon were characterized by X-ray diffractometer (XRD), scanning electron microscope (SEM), Fourier Transform Infrared (FTIR). There are still functional groups that indicate lignocellulose and graphite from both carbonization and activated by 1.5 M KOH but the hydroxyl group was decrease when activated by KOH. The nipa activated carbon that activated by 1.5 M KOH have the graphite amorphous while the carbonization results produce more crystalline graphite. There was no impurity on nipa activated carbon that activated by 1.5 KOH. Morphological results showed that the porous size of KOH activated carbon was 8.8% greater than without chemical activation. A larger pore size will indicate a higher surface area, so it will be good for adsorbent material.

Keywords: Activated Carbon, Carbonization, Chemical Activation, Nipa Palm Fiber, Potassium Hydroxide.

Abstrak

Karbon aktif yang bersumber dari serabut buah nipah yang merupakan limbah yang belum dimanfaatkan dengan maksimal dibuat menggunakan metode aktivasi secara kimia menggunakan potassium hydroxide (KOH). Proses pembuatan karbon aktif dimulai dengan proses karbonisasi dilakukan dengan temperatur 400°C kemudian diaktivasi dengan konsentrasi KOH 1,5M. Hasil aktivasi KOH dibandingkan dengan hasil dari karbonisasi. Diperoleh hasil secara FTIR yang menunjukkan masih terdapat gugus fungsi yang menunjukkan adanya lignoselulosa dan sudah terbentuk grafit. Hasil XRD juga menunjukkan terbentuknya graphite amorph pada hasil aktivasi dengan KOH sedangkan hasil karbonisasi menghasilkan grafit yang lebih kristalin. Hasil XRD juga menunjukkan pada aktivasi KOH sudah tidak ada pengotor yang mengindikasikan proses adsorpsi yang lebih baik dibandingkan tanpa aktivasi. Hasil morfologi menunjukkan ukuran poros pada karbon yang teraktivasi KOH lebih besar 8,8 % dari pada tanpa aktivasi secara kimia. Ukuran pori yang lebih besar akan mengindikasikan luas permukaan yang lebih luas, sehingga akan lebih baik digunakan sebagai adsorben.

Kata Kunci: Aktivasi secara Kimia, Karbonisasi, Karbon Aktif, Potassium Hydroxide, Serabut Buah Nipah.

1. Pendahuluan

Pohon nipah atau *Nypa fruticans* merupakan salah satu pohon yang memiliki famili yang sama dengan kelapa yaitu famili Arecaceae. *Nypa fruticans* atau dikenal sebagai nipah, adalah spesies asli pohon palem yang tumbuh di pesisir pantai dan muara di Samudera Hindia dan Pasifik. Adapun luasan nipah di Indonesia meliputi 700,000 hektar (Kelola Sendang, 2017). Berdasarkan laporan dari Heriyanto, 2011

yang meneliti tentang sebaran tanaman nipah di Desa Bengalon, Kecamatan Bengalon, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur pada bulan Oktober 2010, diperoleh hasil yaitu pohon nipah atau *Nypa fruticans* dapat berbuah dengan rata-rata 3,55 bonggol/pohon 2,83 bonggol buah nipah tua dan 0,76 bonggol buah nipah muda/pohon, setiap bonggol rata-rata berisi 65 buah nipah, jumlah buah nipah dalam 1 ha rata-rata 196.120 buah. Buah nipah pada umumnya dimanfaatkan untuk kolang kaling, bagian yang digunakan untuk kolang kaling yaitu daging buah nipah, sedangkan kulit buah nipah jarang yang memanfaatkan, sehingga sering dibuang dan menjadi limbah. Kulit buah nipah mengandung unsur lignoselulosa yang tinggi mencapai 87,1 % dan sangat baik digunakan sebagai sumber karbon untuk pembuatan karbon aktif (Tamunaidu, 2011).

Salah cara untuk menjadikan lignoselulosa menjadi karbon aktif yaitu karbonisasi (Gercia, 2017). Karbonisasi merupakan proses pembakaran benda organik dengan temperatur 400-600°C. Proses karbonisasi pada temperatur tersebut akan menghasilkan beberapa pengotor seperti tar. Untuk menghilangkan tar bisa dengan cara menaikkan temperatur diatas 600°C serta dalam kondisi vakum atau dengan larutan kimia seperti *potassium hydroxide* (KOH), *acid chloride* (HCl), dan *natrium hydroxide* (NaCl) (Hassler, 1951). Proses penambahan larutan kimia sering disebut dengan aktivasi secara kimia. Tujuan dari aktivasi secara kimia yaitu untuk memutus rantai karbon dari senyawa organik dengan menggunakan bahan-bahan kimia seperti H_3PO_4 , H_2SO_4 , HNO_3 , $ZnCl_2$, NaOH, atau KOH. Kelemahan menggunakan aktivasi secara kimia, yaitu pada proses penetralan pH karbon yang telah diaktivasi (Jankowska, 1991). Kelebihan dari proses aktivasi secara kimia yaitu waktu yang digunakan untuk aktivasi relatif lebih cepat. Luas permukaan karbon aktif yang diperoleh dari aktivasi secara kimia lebih luas sehingga akan meningkatkan daya adsorpsinya. Fungsi lain aktivasi secara kimia yaitu untuk mendegradasi senyawa organik selama proses aktivasi, membatasi pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik, dihidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses karbonisasi dan melindungi permukaan karbon sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi dapat berkurang (Manocha, 2003).

Pada penelitian yang dilakukan Teng (1999) Proses aktivasi menggunakan larutan aktivasi Kalium Hidroksida (KOH) menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan 3000 m^2/g dan hasilnya juga menunjukkan bahwa struktur berpori yang terbentuk dari aktivasi KOH lebih stabil secara termal dibandingkan dengan aktivasi H_3PO_4 atau $ZnCl_2$ (Teng, 1999). Menurut Wang (2012), aktivasi kimia dengan menggunakan KOH sangat menjanjikan dikarenakan aktivasi pada temperatur yang rendah namun mendapatkan hasil yang tinggi. Selain itu, ukuran mikropori terdistribusi dengan baik dan luas permukaan spesifik sangat tinggi hingga 3000 m^2/g . Dari hasil penelitian tersebut, maka KOH merupakan salah satu larutan aktivator yang baik untuk digunakan pada pembuatan karbon aktif (Hui, 2015).

Pada penelitian ini, akan dilakukan proses pembuatan karbon aktif dari serabut buah nipah dengan metoda aktivasi kimia menggunakan KOH. Tujuannya yaitu untuk mengetahui perbedaan karakteristik secara gugus fungsi, struktur yang dihasilkan dan secara morfologi antara karbon aktif yang diaktivasi secara kimia dan tidak. Pada penelitian lebih lanjut, karbon berbahan dasar nipah dapat dikembangkan sebagai *adsorbent* untuk menjernihkan limbah cair yang terkontaminasi polutan organik.

2. Metode

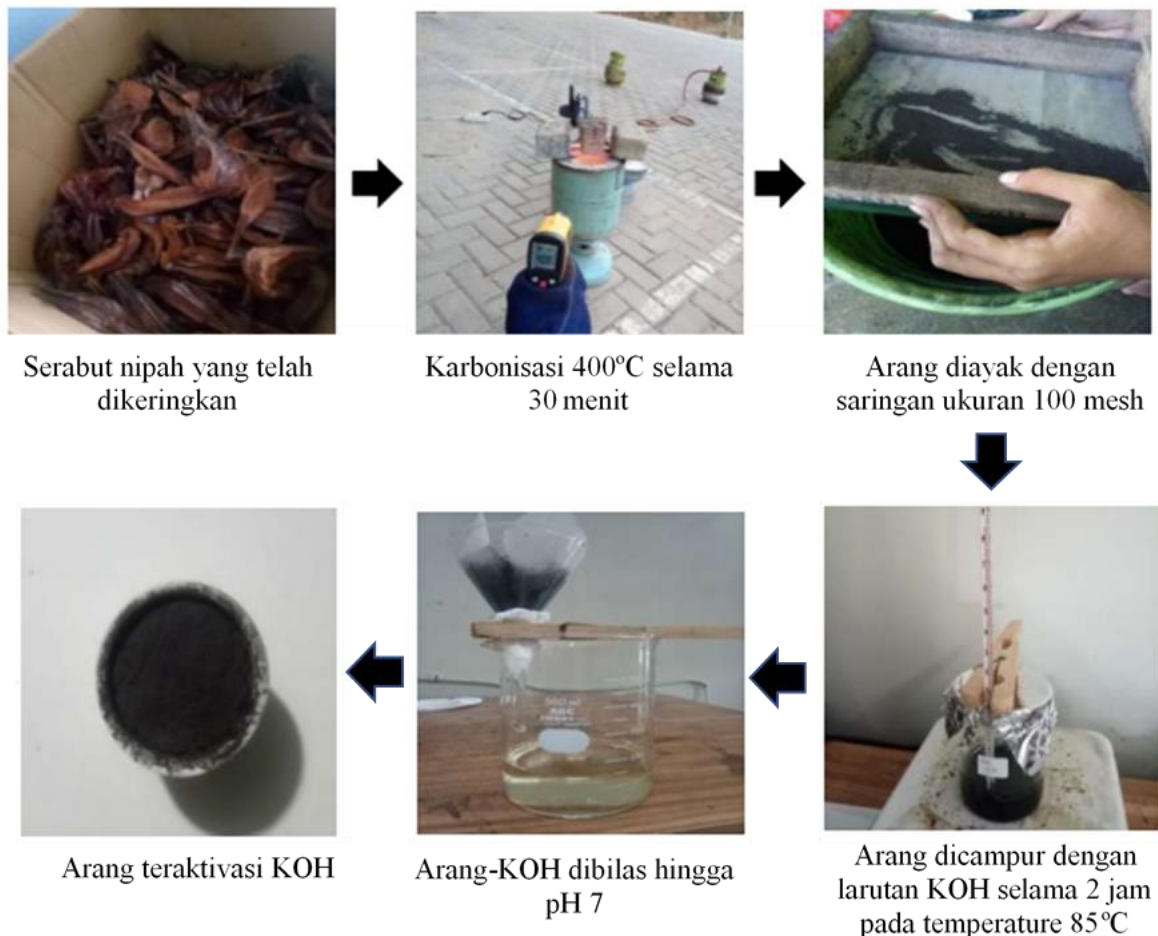
2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: *Fourier Transform Infrared* (FTIR, Frontier Optica 96772 Perkin Elmer), *X-Ray Diffraction* (XRD, Bruker D8 Advance, Jerman) dengan $CuK\alpha$, $\lambda=1,54$ dan pada sudut 2θ 10-90°, UV/vis spectrometer (Rayleigh UV-9200) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM, Hitachi S3000N Series) dengan voltase 10 kV.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: serabut nipah yang bersumber dari muara badak Kalimantan timur, *methylene blue* (MB) merek smart Lab, KOH 85% (*Potassium Hydroxide*) merek SAP dan air distilasi.

2.2. Prosedur Pembuatan Karbon Aktif

Gambar 1 merupakan ilustrasi pembuatan karbon aktif. Pembuatan karbon aktif dimulai dengan tahap preparasi sampel arang dan KOH yang ditimbang sesuai perhitungan stoikiometri. Variabel yang ditetapkan adalah menggunakan perbandingan molaritas KOH (1,5 M) dan (0 M). Serabut nipah yang telah kering dikarbonisasi dengan temperatur 400°C selama 30 menit. Kemudian, arang yang telah jadi dihaluskan dan diayak dengan mortar dan ayakan 100 mesh. Setelah itu, arang dicampurkan dalam larutan KOH 1,5 M dengan menggunakan *hotplate stirrer* pada temperatur 85°C selama 2 jam. Selanjutnya, larutan disaring menggunakan kertas saring dan dibilas menggunakan air distilasi hingga pH sebesar 7. Kemudian, padatan dikeringkan dengan menggunakan oven pada temperatur 120°C selama 12 jam.



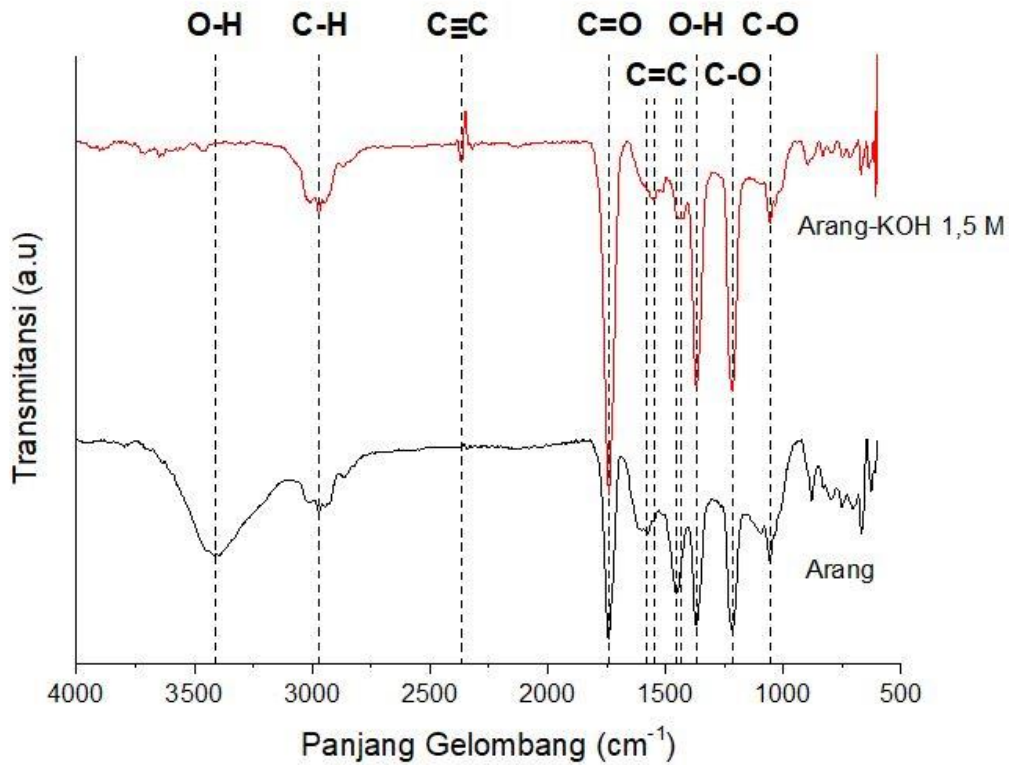
Gambar 1: Diagram Alir Pembuatan Karbon Aktif

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy) FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui ikatan kimia dan gugus fungsi dari masing-masing sampel. Pada Gambar 2 menunjukkan gugus fungsi serabut nipah dan serabut nipah yang teraktivasi dengan KOH. Panjang gelombang 3100-3488 cm^{-1} merupakan vibrasi *stretching* O-H *hydroxyl* (Sun, 2010). Panjang gelombang 2920-2990 cm^{-1} merupakan vibrasi *asymmetric* C-H *alkane*. Panjang gelombang 2361 cm^{-1} merupakan vibrasi C≡C *alkynes* (Foo, 2011). Panjang gelombang 1739 cm^{-1} menunjukkan vibrasi C=O *Carbonyl*. Panjang gelombang 1430-1625 cm^{-1} terdapat vibrasi C=C *aromatic*. Panjang gelombang 1310-1410 terdapat vibrasi O-H *Tertiary Alcohol* (George, 2001). Panjang gelombang 1220-1260 cm^{-1} merupakan vibrasi C-O *aliphatic* dan *aromatic* (Sreenivasan, 1996). Panjang gelombang 1054 cm^{-1} merupakan vibrasi *stretching* C-O (Kartick, 2013). Pada Gambar 2 terdapat ikatan *stretching* O-H

gugus *hydroxyl* menurun pada karbon yang teraktivasi KOH. Karbon yang teraktivasi dengan KOH akan mampu menghidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon, ditandai dengan menurunnya gugus *hydroxyl*, sehingga endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses karbonisasi akan menghilang. Hilangnya hidrokarbon akan menyebabkan permukaan permukaan karbon terlindungi sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi dapat berkurang dan akan menghasilkan luas permukaan yang lebih besar (Manocha, 2003).



Gambar 2: Hasil Pengujian FTIR

Tabel 1: Komposisi *inorganik* nipah

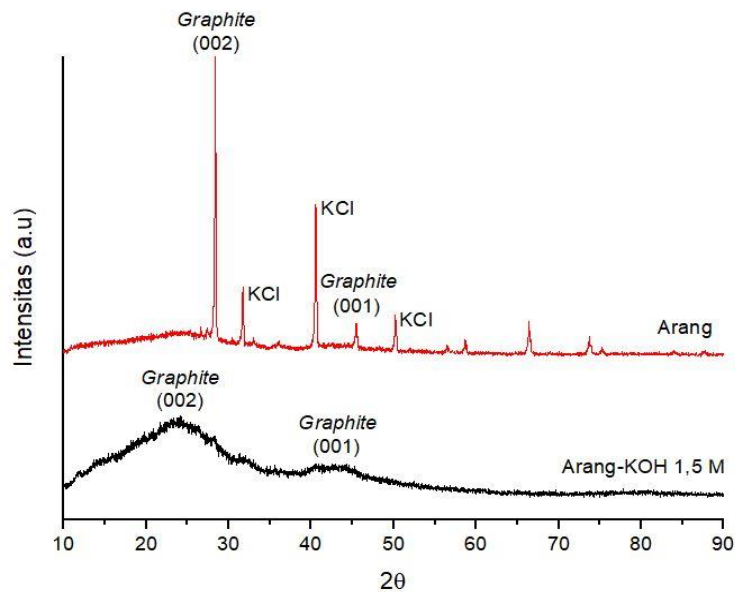
No	Arang (cm^{-1})	Arang-KOH 0,5 M (cm^{-1})	Arang-KOH 1,5 M (cm^{-1})	Gugus Fungsi
1	1369	1369	1369	<i>In-plane O-H Tertiary Alcohol</i>
2	1215,	1215,	1215,	<i>C-O aliphatic dan aromatic</i>
	1054	1054	1054	
3	1556,	1556,	1556,	<i>C=C Aromatic</i>
	1452	1433	1433	
4	1739	1739	1739	<i>C=O Carbonyl</i>
5	2970	2970	2970	<i>Asymmetric C-H Alkane</i>
6	3414	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	<i>Stretching O-H Hydroxyl</i>
7	Tidak Terdeteksi	2361	2361	<i>C≡C alkynes</i>

Sumber: Tamunaidu, 2011

Hasil FTIR pada Gambar 2 dan Tabel 1 menunjukkan adanya ikatan C-O, C=O, C-H, dan O-H menunjukkan bahwa ikatan tersebut berasal dari senyawa selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Sreekala, 1997). Selain itu, terdapat ikatan aromatik yang menunjukkan terbentuknya graphite (Rodriguez, 1998).

3.2. Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

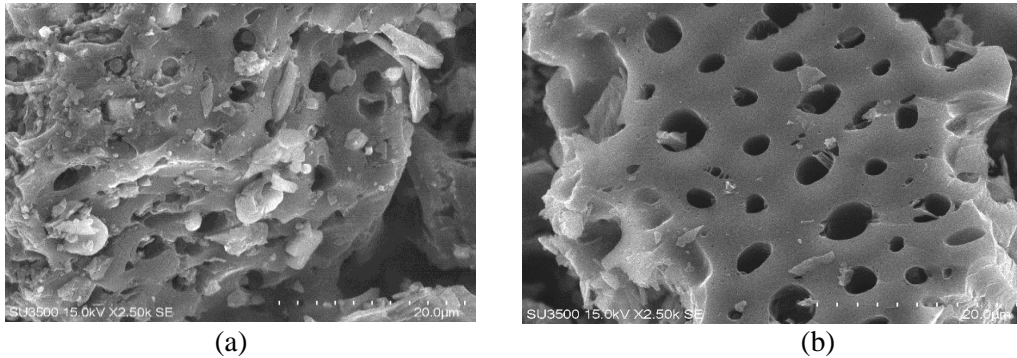
Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada masing-masing sampel. Pengukuran uji XRD dimulai dari 10° hingga 90° pada sudut 2θ . Pola diffractogram XRD pada arang nipah tanpa aktivasi *potassium hydroxide* (KOH) menunjukkan *peak* sudut 2θ sebesar 31° , $38,3^\circ$, dan 50° . Pada *peak* sudut 2θ tersebut menunjukkan adanya *potassium chloride* (KCl). Sedangkan, *peak* sudut 2θ sebesar 26° dan $45,3^\circ$ menunjukkan adanya graphite (Yola, 2019). Kemunculan fasa *graphite* pada pengujian XRD didukung oleh adanya gugus fungsi *aromatic* pada hasil pengujian FTIR. Arang nipah yang tidak diaktivasi menunjukkan adanya senyawa impuritas berupa *potassium chloride* (KCl). Hal ini disebabkan oleh proses karbonisasi yang hanya mencapai pada temperatur 400°C . Sedangkan, senyawa *potassium chloride* (KCl) memiliki melting point sebesar 770°C sehingga senyawa *potassium chloride* (KCl) masih terdapat didalam arang. Setelah dilakukan aktivasi dengan *potassium hydroxide* (KOH), senyawa impuritas berupa *potassium chloride* (KCl) menghilang (Yola, 2019) yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pada *peak* sudut 2θ sebesar 20° hingga 30° dan 40° hingga 50° menunjukkan adanya karbon aktif amorf (Jani, 2019). Menurut Riyanto (2019), pola difractogram XRD yang tidak menampilkan puncak-puncak yang tajam dan sudutnya lebar menunjukkan karbon aktif memiliki struktur amorf. Karbon aktif serabut nipah memiliki struktur semikristalin atau amorf ditandai dengan adanya puncak-puncak bidang (002) pada *peak* sudut 2θ sebesar 24° dan (001) pada *peak* sudut 2θ sebesar 42° . Bidang tersebut menunjukkan karakteristik karbon aktif amorf dengan cincin karbon yang menumpuk secara tidak teratur (Tang, 2012).



Gambar 3: Hasil Pengujian XRD

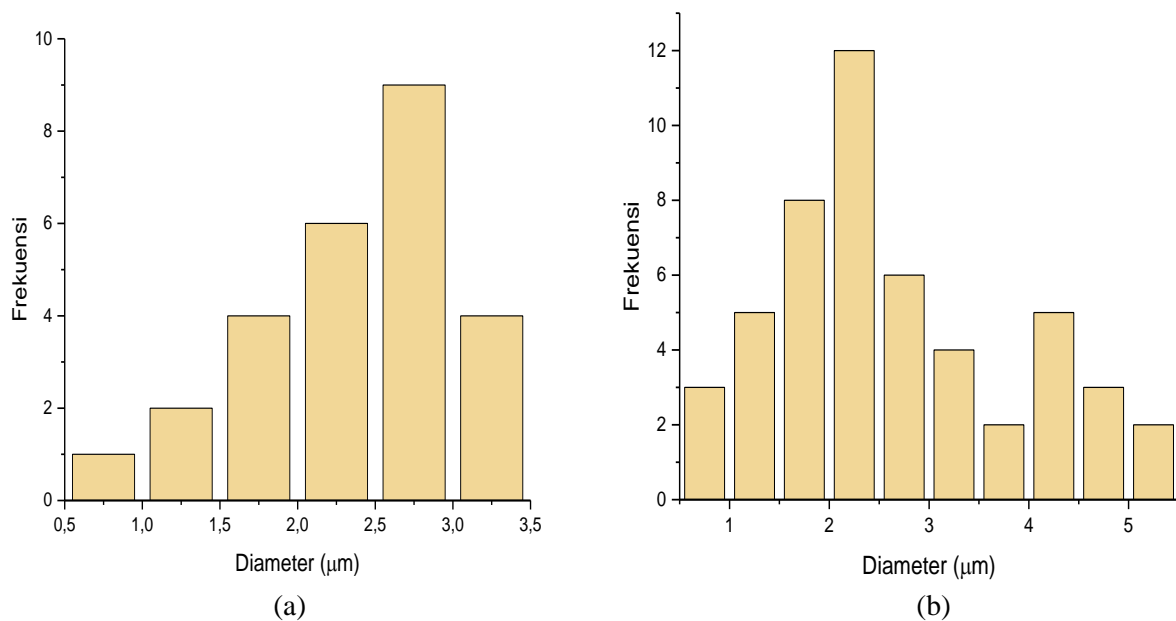
3.3. Analisis Morfologi menggunakan SEM

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi arang yang tidak teraktivasi dan arang yang teraktivasi *potassium hydroxide* (KOH). Selain itu, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui adanya pori-pori yang terbentuk pada sampel. Menurut Tan (2007), melaporkan bahwa morfologi dari aktivasi arang terdapat pori-pori atau porous yang ada pada permukaan arang. Hal tersebut sesuai dengan hasil aktivasi arang yang dilakukan pada Gambar 4.



Gambar 4: Hasil Pengujian SEM (a) Arang tanpa Aktivasi (b) Arang Teraktivasi 1,5 M KOH

Pada Gambar 4 (a) menunjukkan bahwa pori-pori pada permukaan arang tanpa aktivasi *potassium hydroxide* (KOH) tertutupi oleh tar. Akan tetapi, tar tidak terbentuk pada arang yang telah diaktivasi. Menurut Ahmadpour (1996), melaporkan bahwa penambahan *potassium hydroxide* (KOH) dapat menghilangkan tar yang terbentuk. Berdasarkan hasil persebaran porositas pada Gambar 5 dan Tabel 2 menunjukkan arang tanpa aktivasi memiliki distribusi porositas lebih rendah dibandingkan dengan arang yang teraktivasi. Dari ukuran porositas, bisa menggambarkan luas permukaan pada arang yang teraktivasi kemungkinan memiliki luas permukaan yang lebih tinggi. Distribusi porositas dapat dipengaruhi oleh adanya sisa-sisa impuritas berupa senyawa potassium chloride (KCl) dan tar. Gambar 3 membuktikan bahwa terdapat senyawa KCl pada arang tanpa aktivasi. Sedangkan, tar dibuktikan dengan pernyataan dari Ahmadpour (1996).



Gambar 5: Distribusi Ukuran Porositas (a) Arang tanpa Aktivasi (b) Arang Teraktivasi 1,5 M KOH

Tabel 2: Rata-rata ukuran porositas

No	Sampel	Rata-rata Ukuran Porositas (μm)
1	Arang	2,412
2	Arang-KOH 1,5 M	2,647

4. Kesimpulan

Aktivasi karbon serabut nipah berhasil menunjukkan struktur grafit dengan aktivasi secara kimia dengan KOH. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan struktur grafit bersifat amorf dengan ukuran rata-rata

porositas sebesar 2,647 μm KOH 1,5 M dan 2,412 μm tanpa KOH sehingga luas permukaan karbon dengan aktivasi KOH lebih besar dari luas permukaan karbon tanpa KOH.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi ITB, Lab kimia ITK, Lab material dan metalurgi ITK dan Lab Fisika ITK atas bantuannya meminjamkan beberapa alat karakterisasi.

Daftar Pustaka

- Ahmadpour, A. dan Do, D. D. (1996) 'The preparation of active carbons from coal by chemical and physical activation', *Pergamon*, Vol. 34, No. 4: 471-479.
- Ali, M. Y., Rahman, M. W., Moniruzzaman, M., Alam, M. J., Saha, I., Halim, M. A., Deb, A., Sumi, M. S. A., Parvin, S., Haque, M. A., Khan, M. M. R., dan Khan, M. (2016) 'Nypa fruticans as a potential low cost adsorbent to uptake heavy metals from industrial wastewater', *International Journal of Applied Business and Economic Research*, Vol. 14, No. 2: 1359-1371.
- Cao, Q., Xie, K. C., Lv, Y. K., dan Bao, W. R. (2006) 'Process effect on activated carbon with large specific surface area from corn cob', *Bioresource Technology*, Vol. 97, No. 1: 110-115.
- Cecen, F. dan Aktas, O. (2011) *Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment*, Weinheim: Wiley-vch
- Cheng, S., Huang, A., Wang, S., dan Zhang, Q. (2016) 'Effect of different heat treatment temperatures on the chemical composition and structure of chinese fir wood', *Bioresources*, Vol. 11, No. 2: 4006-4016.
- El-Hendawy, A. A. (2003) 'Influence of HNO_3 oxidation on the structure and adsorptive properties of concob-based activated carbon', *Carbon*, Vol. 41, No. 4: 713-722.
- Foo, K.Y. dan Hameed, B. H. (2011) 'Preparation of activated carbon from date stones by microwave Induced chemical activation: Application for methylene blue adsorption', *Chemical Engineering Journal*, Vol. 170, No. 1: 338-341.
- Gonzales-Garcia, P. (2018) 'Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 82, No. 1: 1393-1414.
- Hassen, J. (2017) 'Effect of KOH ratio on the formation of activated carbon from pressed wood residues', *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, Vol. 8, No. 11: 4875-4880.
- Islam, M. S., Ang, B. C., Gharehkhani, S., dan Afifi, A. B. M. (2016) 'Adsorption capability of activated carbon synthesized from coconut shell', *Carbon Letters*, Vol. 20: 1-9.
- Lee, M. (2016) *X-Ray Diffraction for Materials Research from Fundamentals to Applications*, AAP (Apple Academic Press).
- Lu, X., Jiang, J., Sun, K., Xie, X., dan Hu, Y. (2012) 'Surface modification, characterization and adsorptive properties of a coconut activated carbon', *Applied Surface Science*, Vol. 258, No. 20: 8247-8252.
- Marsh, H. dan Rodriguez-Reinoso, F. (2006) *Activated Carbon*, Elsevier.
- Muniandy, L., Adam, F., Mohamed, A. R., dan Ng, E. (2014) 'The synthesis and characterization of high purity mixed microporous/mesoporous activated carbon from rice husk using chemical activation with NaOH and KOH', *Microporous and Mesoporous Materials*, Vol. 197: 316-323.
- Nazaruddin, N., Zein, R., Munaf, E., dan Jin, J. (2014) 'Biosorption of copper (II), lead (II), cadmium (II) and zinc (II) ions from aqueous solution by Nypa fruticans Merr shell on batch method', *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, Vol. 6, No. 12: 370-376.

- Noh, J. S. dan Schwarz, J. (1990) 'Effect of HNO₃ treatment on surface acidity of activated carbons', *Carbon*, Vol. 28: 675-682.
- Perkampus, H. (1992) *UV-VIS Spectroscopy and Its Applications*, Berlin: Springer-Verlag.
- Perrich, J. R. (1981) *Activated Carbon Adsorption for Wastewater Treatment*, CRC Press.
- Socrates, G. (2001) *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies Tables and Charts Third Edition*, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Sreekala, M. S., Kumaran, M. G., dan Thomas, S. (1997) 'Oil palm fibers: Morphology, chemical composition, surface modification, and mechanical properties', *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 66: 821-835.
- Sreenivasan, S., Iyer, P. B., dan Iyer, K. R. K. (1996) 'Influence of delignification and alkali treatment on the fine structure of coir fibres (*Cocos Nucifera*)', *Journal of Materials Science*, Vol. 31: 721-726.
- Tamunaidu, P. dan Saka, S. (2011) 'Chemical characterization of various parts of nipa palm (*Nypa fruticans*)', *Industrial Crops and Products*, Vol. 34, No. 3: 1423-1428.
- Tan, I. A. W., Ahmad, A. L., dan Hameed, B. H. (2008) 'Optimization of preparation conditions for activated carbons from coconut husk using response surface methodology', *Chemical Engineering Journal*, Vol. 137, No. 3: 462-470.
- Ternero-Hidalgo, J. J., Rosas, J. M., Palomo, J., Valero-Romero, M. J., Rodriguez-Mirasol, J., dan Cordero, T. (2016) 'Functionalization of activated carbons by HNO₃ treatment: Influence of phosphorus surface groups', *Carbon*, Vol. 101: 409-419.
- Waseda, Y., Matsubara, E., dan Shinoda, K. (2011) *X-Ray Diffraction Crystallography Introduction, Examples and Solved Problems*, Berlin: Springer.
- Webley, P. A. dan Sun, Y. (2010) 'Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage', *Chemical Engineering Journal*, Vol. 162, No. 1: 883-892.
- Williams, N. E. dan Aydinlik, N. P. (2020) 'KOH ratio effect, characterization, and kinetic modeling of methylene blue from aqueous medium using activated carbon from *Thevetia peruviana* shell', *Chemical Engineering Communications*, Vol. 207: 1563-5201.
- Xiao, X., Bian, J., Li, M., Xu, H., Xiao, B., dan Sun, R. (2014) 'Enhanced enzymatic hydrolysis of bamboo (*Dendrocalamus giganteus* Munro) culm by hydrothermal pretreatment', *Bioresource Technology*, Vol. 159: 41-47.
- Yang, T. dan Lua, A. C. (2003) 'Characteristics of activated carbons prepared from pistachio-nut shells by potassium hydroxide activation', *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 63, No. 1-3: 113-124.