

PENGARUH KONSENTRASI AKTIVATOR (NaOH DAN HCl) TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DARI TONGKOL JAGUNG

Ahmad Saban
Universitas Negeri Makassar
ahmadsaban24@gmail.com

Jasruddin
Universitas Negeri Makassar
jasruddin@unm.ac.id

*** Husain**
Universitas Negeri Makassar
husainphysics@unm.ac.id

*Penulis Korespondensi

Naskah diajukan
27 Maret 2023
Naskah direvisi
14 Juli 2023
Naskah disetujui
12 Agustus 2023
Naskah dipublikasi
31 Agustus 2023

Abstrak - Sintesis karbon aktif dari limbah tongkol jagung dilakukan untuk memanfaatkan limbah biomassa. Penelitian ini bertujuan mensintesis dan mengkarakterisasi karbon aktif dari limbah tongkol jagung. Tahapan pembuatan karbon aktif dimulai dengan preparasi sampel yaitu pembersihan, pencucian, dan pengeringan. Tongkol jagung kemudian dikarbonasi pada suhu 400°C selama satu jam untuk menghasilkan karbon. Tahap selanjutnya aktivasi menggunakan NaOH dan HCl dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, dan 15%. Karakterisasi karbon aktif menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) dan X-Ray Diffraction (XRD). Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa karbon aktif yang diperoleh memiliki struktur permukaan yang tidak teratur dengan ukuran dan bentuk pori terbuka yang berbeda. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa karbon aktif yang diperoleh memiliki struktur amorf. Hasil penentuan kadar air dan kadar abu karbon aktif yang diperoleh adalah 2,97% dan 3,92%. Nilai kadar air dan kadar abu karbon aktif dari tongkol jagung ini telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995).

Kata Kunci: Karbon aktif, Kadar air, Kadar abu, Tongkol jagung, Scanning Electron Microscopy, X-Ray Diffraction

Abstract – Activated carbon synthesis from corncob waste is carried out to utilize biomass waste. This research aims to synthesize and characterize activated carbon from corncob waste. The stages of making activated carbon begin with sample preparation, namely cleaning, washing, and drying. The corn cobs were then carbonized at 400°C for one hour to produce carbon. The next step was activation using NaOH and HCl with various concentrations of 5%, 10% and 15%. Characterization of activated carbon using Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD). SEM characterization results show that the activated carbon obtained has an irregular surface structure with different sizes and shapes of open pores. XRD characterization results show that the activated carbon obtained has an amorphous structure. The results of determining the water content and ash content of activated carbon obtained were 2,97% and 3,92%. The value of moisture content and ash content of activated carbon from corncobs complies with the Indonesian National Standard (SNI 06-3730-1995).

Keywords: Activated carbon, Moisture content, Ash content, Croncob, Scanning Electron Microscopy, X-Ray Diffraction.

A. PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan sumber utama penghidupan masyarakat, manusia dan merupakan tulang punggung perekonomian di dunia termasuk Indonesia. Jagung merupakan komoditas sektor pertanian terbesar kedua setelah komoditas padi di Indonesia (Christica & Julia, 2018). Produksi jagung setiap tahunnya mengalami peningkatan. Data dari BPS melaporkan pada tahun 2019 total produksi jagung di Sulawesi Selatan mencapai 56,00 ton. Tingginya penggunaan jagung sebagai bahan pangan menuntut peningkatan produksi jagung. Di sisi lain peningkatan produksi jagung ini juga menyisakan limbah tongkol jagung yang belum dimanfaatkan secara optimal (Priyadi & Mangiring., 2019). Solusi yang dapat diterapkan untuk limbah tongkol jagung ini adalah menjadikannya sebagai karbon aktif (Agustina et al., 2018).

Karbon aktif merupakan material karbon yang diproses sedemikian rupa sehingga memiliki luas permukaan yang tinggi dan memiliki struktur pori yang beragam, dari ukuran mikro 0 – 2 nm hingga ukuran makro dengan ukuran > 50 nm (Nicholas et al., 2018). Karbon aktif memiliki sifat fisika, kimia dan mekanik yang baik yang dapat memberikan kapasitas adsorpsi tinggi (Abatan et al., 2019) sehingga dapat digunakan sebagai sensor gas, elektoda superkapasitor, pemulihan polutan organik dari air minum, zat terlarut dari larutan berair dan media filter air (Zhang et al., 2019).

Karbon aktif dapat diproduksi dengan dua cara yaitu proses aktivasi fisika dan kimia (Liang et al., 2019). Proses aktivasi kimia dilakukan dengan melakukan reaksi kimia dengan larutan alkali (KOH, K_2CO_3 , NaOH dan Na_2CO_3), logam alkali tanah ($AlCl_3$ dan $ZnCl_2$), dan beberapa asam (H_3PO_4 dan H_2SO_4) (Mehmet et al., 2014). Pada produksi karbon aktif peningkatan kualitas sifat dan mutu karbon aktif didasarkan pada kadar karbon, kadar abu dan kemampuan adsorpsi (Idrus et al., 2013). Karbon aktif perlu dilakukan aktivasi untuk membuka pori-pori sehingga memaksimalkan kinerja dalam proses adsorpsi (Kurniawan et al., 2014).

Karbon aktif dapat dihasilkan dari limbah biomassa, salah satunya adalah tongkol jagung. Kelebihan karbon aktif dari tongkol jagung diantaranya mempunyai potensi yang baik sebagai adsorben karena kandungan karbonnya lebih besar dari pada kadar abunya, mudah dibuat, murah, bahan bakunya mudah didapat dan melimpah, mudah digunakan, aman, dan tahan lama. Menurut Alfiany et al., 2013 Tongkol jagung mengandung kadar unsur karbon sebesar 43.42%. Selain itu juga tongkol jagung memiliki kandungan kadar abu yang rendah yaitu 0,91% (Rizkyi et al., 2016). Sehingga, dalam penelitian ini, karbon aktif disintesis menggunakan bahan dasar tongkol jagung dan diaktivasi menggunakan aktivator HCl dan NaOH dengan berbagai variasi konsentrasi larutan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi terhadap kualitas dari karbon aktif yang dihasilkan.

B. METODE

Preparasi Karbon Tongkol Jagung

Limbah tongkol jagung yang telah diambil kemudian dibersihkan untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang melekat. Tongkol jagung kemudian dipotong menjadi ukuran kecil lalu dioven pada suhu 100 °C selama 1 jam untuk proses pengeringan. Setelah itu dikarbonasi dalam furnace

dengan suhu 400 °C selama 1 jam untuk memperoleh karbon. Karbon kemudian dihaluskan dengan cara digerus hingga berbentuk serbuk lalu diayak dengan ayakan 200 mesh.

Sintesis Karbon Aktif

Karbon tongkol jagung yang telah diayak kemudian direndam di dalam larutan aktivator yaitu HCl dan NaOH yang masing-masing variasi konsentrasi larutan sebesar 5%, 10% dan 15%. Karbon kemudian direndam selama 24 jam. Sampel lalu disaring dan dicuci dengan aquades hingga netral (pH 7), selanjutnya residu dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam.

Karakterisasi

Analisis sifat karbon meliputi pengamatan morfologi dan komposisi penyusun karbon aktif menggunakan SEM-EDS merek JEOL JCM 6000 Plus, mikrostruktur dan fase karbon menggunakan Rigaku Miniflex XRD, dan Uji kualitas karbon sebelum diaktivasi.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas karbon yang dihasilkan dalam suatu proses dapat dideteksi melalui analisis sifat-sifat dasar yang meliputi kadar air dan kadar abu. Hasil analisis kadar air dan kadar abu kemudian dibandingkan dengan standar SNI 06-3730-1995. Data dari analisis sifat dasar karbon tongkol jagung disajikan pada **Tabel 3.1** berikut.

Tabel 3.1 Hasil pengukuran kadar air dan kadar abu

No.	Sampel	Kadar air	Kadar abu
1	Karbon SNI 06-3730-1995	Maksimal 15%	Maksimal 10%
2	Karbon aktif tongkol jagung	2,97%	3,92%

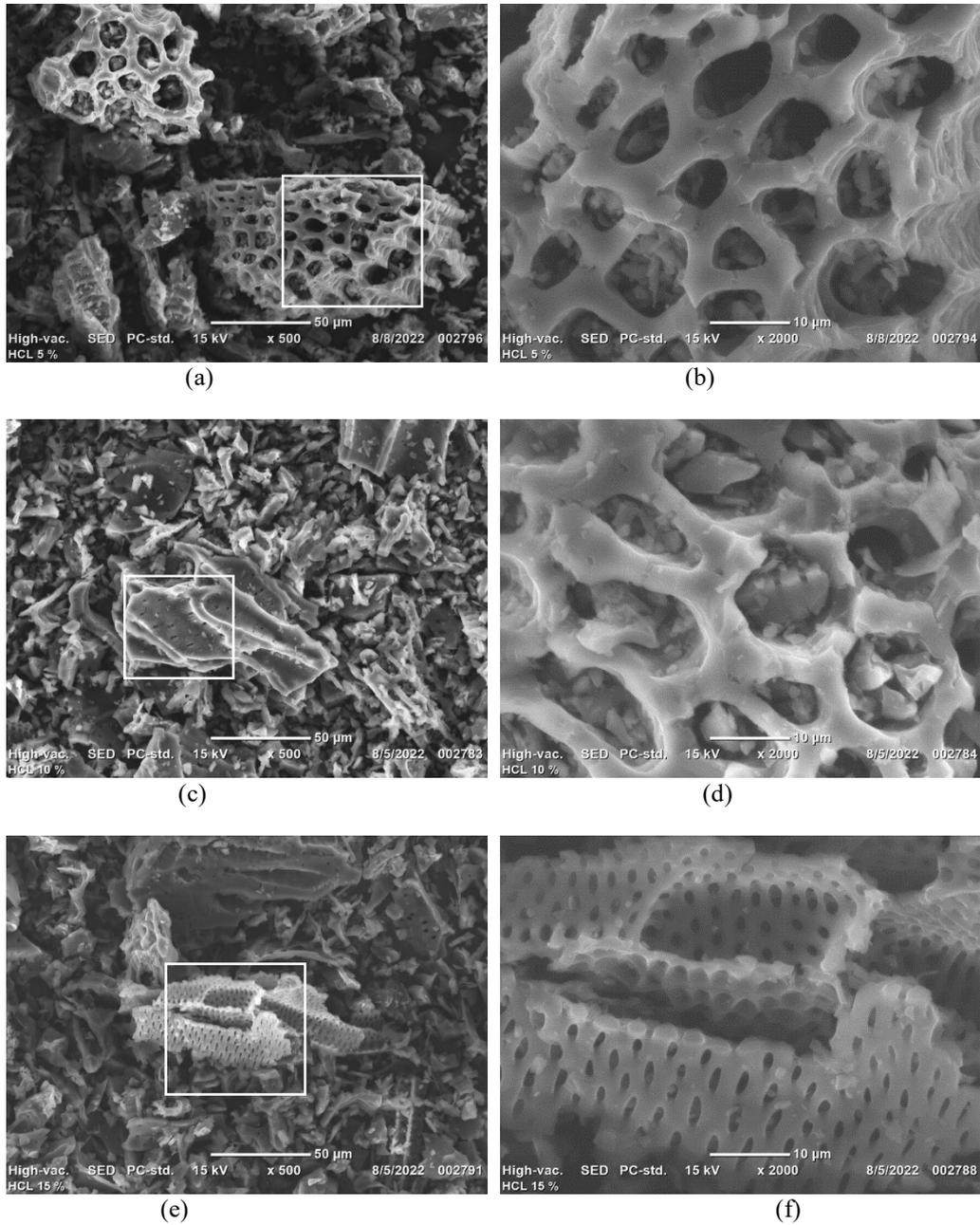
Penentuan kadar air dilakukan untuk mengetahui kandungan air yang ada pada karbon, agar sesuai dengan kualitas standar pembuatan karbon aktif yaitu kandungan air maksimal 15%. Karbon aktif yang baik harus memiliki nilai kadar air yang kecil karena kadar air yang signifikan dapat menurunkan kapasitas adsorpsi karbon aktif (Bijang et al., 2022). Berdasarkan hasil analisis kadar air pada **Tabel 3.1** diperoleh nilai kadar air sebesar 2,97%. Hasil analisis tersebut telah memenuhi persyaratan dari standar SNI 06-3730-1995. Kadar air yang terkandung dalam karbon dipengaruhi oleh banyaknya uap air diudara, saat pendinginan, penggilingan dan pengayakan (Haji et al., 2013).

Penentuan kadar abu bertujuan untuk mengetahui kandungan oksida logam dalam karbon, agar sesuai dengan kualitas standar pembuatan karbon aktif yaitu kandungan air maksimal 10%. Kadar abu yang berlebihan dapat menyebabkan tersumbatnya pori-pori pada karbon sehingga luas permukaan karbon berkurang (Ramayana et al., 2017). Berdasarkan hasil analisis kadar abu pada **Tabel 3.1** diperoleh nilai kadar abu sebesar 3,92%. Hasil analisis tersebut telah memenuhi persyaratan dari standar SNI 06-3730-1995.

Karakterisasi SEM-EDS

Struktur morfologi dan komposisi unsur pada karbon aktif dari tongkol jagung dianalisis menggunakan SEM-EDS. Citra SEM dari karbon aktif memberikan gambaran yang jelas tentang

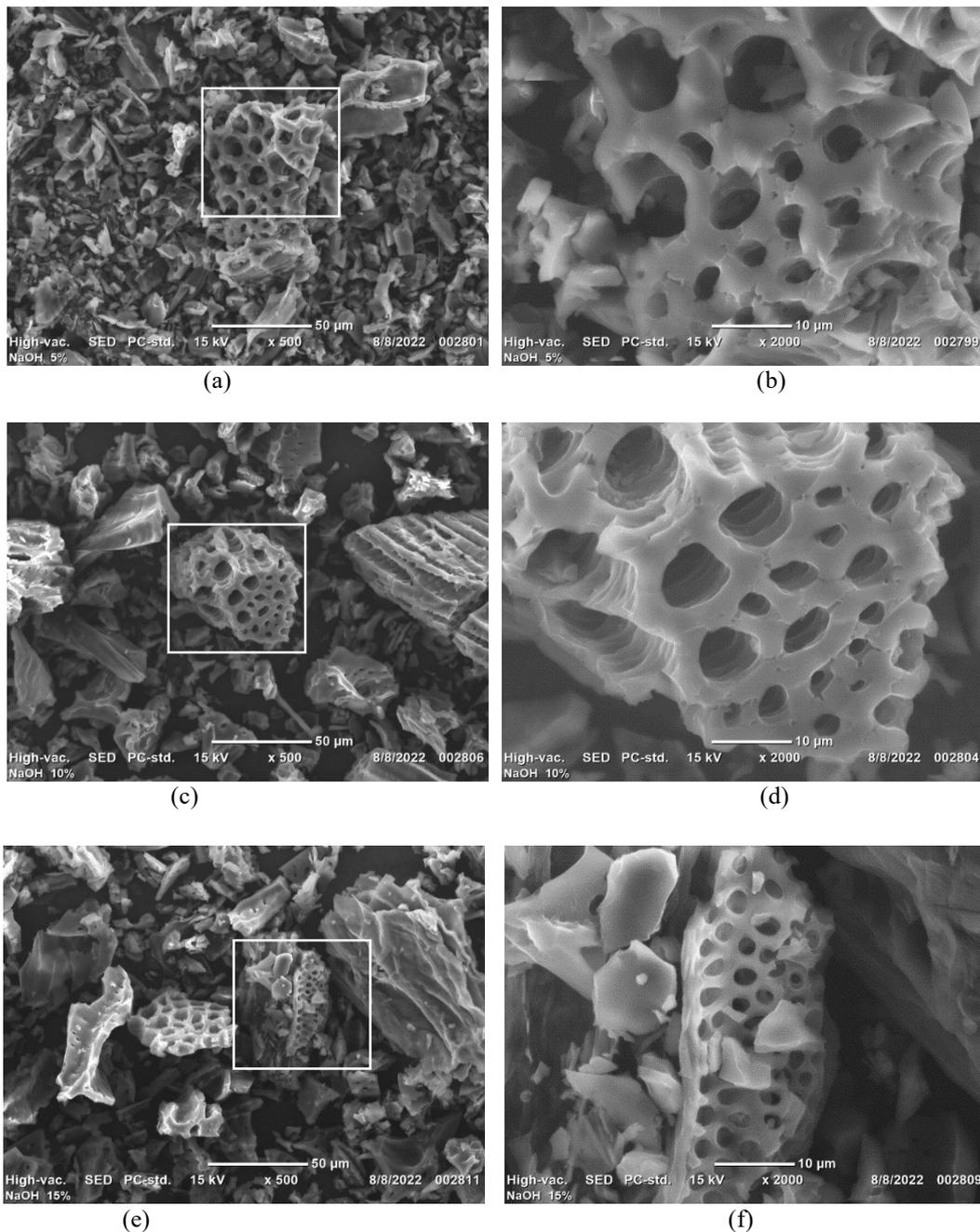
porositas adsorben dan juga menunjukkan struktur permukaan yang tidak teratur dengan ukuran dan bentuk pori terbuka yang berbeda. Karbon aktif tongkol jagung memiliki banyak pori-pori bentuk seperti sarang lebah yang terlihat jelas di permukaan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.1** dan **3.2**.



Gambar 3.1 Mikrograf SEM karbon aktif tongkol jagung (a,b) aktivasi HCl 5% (c,d) aktivasi HCl 10% (e,f) aktivasi HCl 15% pada perbesaran 500x dan 2000x.

Hasil yang sama juga dilaporkan oleh Yuliusman et al., 2020 dengan bahan dasar yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi HCl dan NaOH efektif untuk menciptakan distribusi pori-pori yang berkembang dengan baik pada permukaan prekursor, sehingga menyebabkan luas permukaan

yang besar dan struktur berpori dari karbon aktif (Yuliusman et al., 2020), namun terlihat pada aktivasi HCl 10% (**Gambar 3.1. d**) masih terdapat pengotor antara pori-pori.



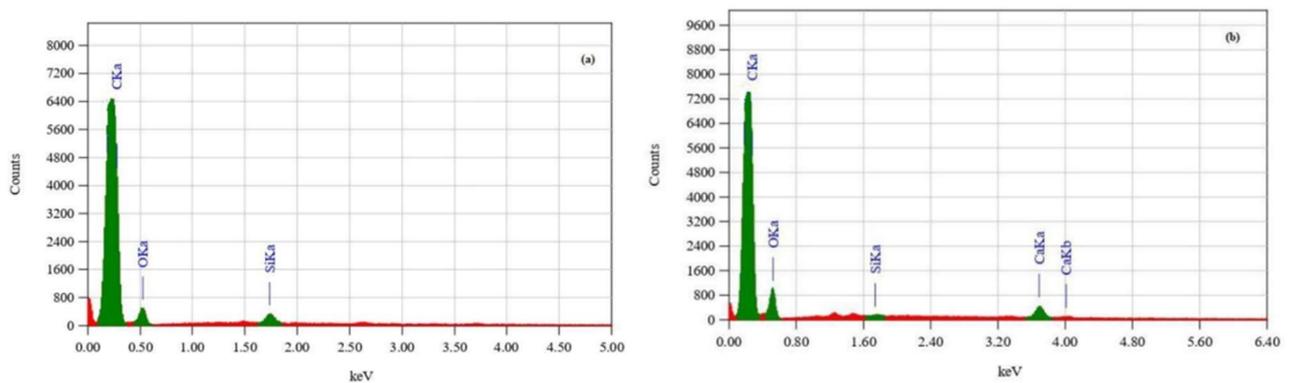
Gambar 3.2 Mikrograf SEM karbon aktif tongkol jagung (a,b) aktivasi NaOH 5% (c,d) aktivasi NaOH 10% (e,f) aktivasi NaOH 15% pada perbesaran 500x dan 2000x.

Ukuran pori-pori yang dihasilkan dari aktivasi HCl dan NaOH memiliki variasi ukuran yang berbeda-beda. Pori-pori yang dihasilkan dari aktivasi HCl dan NaOH pada aktivasi 5% dan 10% memiliki ukuran yang beragam. Sedangkan pori-pori yang dihasilkan dari aktivasi dengan HCl dan NaOH pada aktivasi 15% cenderung memiliki ukuran yang relatif sama. Data analisis rata-rata ukuran pori disajikan pada **Tabel 3.2** berikut.

Tabel 3.2 Rata-rata ukuran pori setiap sampel.

No.	Ativator	Variasi (%)	Rata-rata ukuran pori (μm)
1	HCl	5	6,47
		10	6,47
		15	1,41
2	NaOH	5	4,52
		10	4,06
		15	2,37

Tabel 3.2 menunjukkan rata-rata ukuran pori karbon aktif tongkol jagung. Analisis menunjukkan bahwa semakin bertambahnya konsentrasi larutan aktivator HCl dan NaOH maka semakin kecil nilai rata-rata ukuran pori yang dihasilkan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Aldila et al., 2018 terkait sintesis karbon aktif dari tempurung ketapang diperoleh bahwa seiring dengan peningkatan konsentrasi aktivator asam sulfat (3%; 7%; dan 11%) maka estimasi rata-rata ukuran pori semakin kecil (5,59 μm ; 4,90 μm ; dan 4,88 μm) sehingga luas permukaan pori juga akan semakin meningkat. Luas permukaan karbon aktif ditentukan oleh ukuran pori-porinya. Ukuran pori-pori karbon aktif yang lebih kecil akan menghasilkan luas permukaan yang semakin besar, sehingga kecepatan dan kapasitas dalam proses adsorpsi akan bertambah (Nurfritria et al., 2019). Pengaruh konsentrasi terhadap luas permukaan pori bergantung pada temperatur karbonisasi, rasio perbandingan antara aktivator terhadap karbon yang akan diaktivasi dan lama waktu perendaman karbon dengan aktivator (Kwaghger & Ibrahim, 2013). Pembentukan pori terjadi karena adanya pengikisan akibat reaksi permukaan karbon dengan zat pengaktif (HCl dan NaOH) (Pongener et al., 2015). Dengan demikian adanya perbedaan ukuran pori pada karbon aktif tongkol jagung dapat sangat mempengaruhi proses adsorpsi.



Gambar 3.3 Spektrum EDS tongkol jagung dengan aktivator HCl 10% dan NaOH 10%.

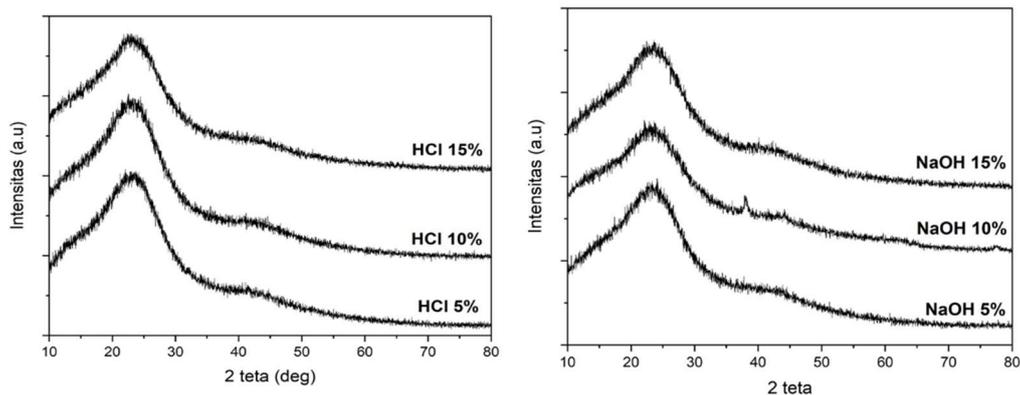
Analisis EDS menunjukkan senyawa yang terkandung dalam karbon yang terbentuk akibat dekomposisi senyawa organik dan oksidasi logam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 diatas. Data analisis komposisi unsur yang lebih lengkap disajikan pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Hasil analisis spektrum EDS dengan aktivasi HCl.

No.	Aktivator	Element	Massa %	Atom %
1	HCl	B K	84.82	86.72
		C K	13.14	12.09
		O K	1.28	0.88
		Si K	0.77	0.30
2	NaOH	B K	82.52	85.61
		C K	13.10	12.23
		O K	2.21	1.55
		Si K	0.03	0.01
		Ca K	2.14	0.60

Karakterisasi XRD

Karakterisasi sampel dengan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk mengetahui struktur kristal atau informasi adanya fase kristal dan amorf dari bahan dasar yang telah disintesis, baik berupa kandungan unsur maupun dalam bentuk senyawa. Fase kristal ditandai dengan adanya puncak yang tajam sedangkan fase amorf ditandai dengan terbentuknya puncak lebar atau (*gundukan/hump*) dengan intensitas yang rendah.



Gambar 3.4 Pola XRD karbon aktif tongkol jagung dengan aktivator HCl dan NaOH.

Karakterisasi XRD pada **Gambar 3.4** menunjukkan profil difraksi sinar-X dari karbon aktif tongkol jagung yang diaktivasi dengan HCl dan NaOH. Hasil difraksi sinar-X menunjukkan karbon dengan struktur amorf, sehingga tidak mungkin untuk menentukan fasa kristal dari karbon yang terbentuk (Bijang et al., 2022). Hasil yang serupa juga dilaporkan oleh Sun & Webley, 2010 dengan bahan dasar yang sama. Menurut (Tongpoothorn et al., 2011) sampel karbon aktif dengan puncak yang lebar dan tidak adanya puncak yang tajam yang menunjukkan struktur amorf yang dominan merupakan sifat menguntungkan untuk adsorben yang terdefinisi dengan baik. Hasil XRD diperoleh dua puncak lebar di antara sudut 20-30 derajat dan sudut 40-45 derajat untuk aktivasi HCl dan pada aktivasi NaOH puncak lebar ditemukan pada sudut 20-30 derajat dan sudut 40-45 derajat. Namun terdeteksi di sudut 35-40 derajat dari aktivasi NaOH yang menunjukkan puncak tajam tertentu, keberadaan puncak tajam itu mungkin dikaitkan dengan keberadaan abu sisa seperti seng dalam karbon (Sun & Webley, 2010). Puncak lebar ditemukan pada semua sampel yang mengkonfirmasi

bahwa sampel memiliki struktur mikro yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi aktivator HCl dan NaOH tidak mempengaruhi struktur kristal karbon aktif. Pola-pola ini diketahui sebagai karakteristik dari struktur karbon amorf seperti grafit yang tidak teratur (Ramesh et al., 2017). Menurut (Prabu & Raghu, 2017) karbon dengan struktur senyawa amorf memiliki struktur turbostratik yang berasal dari lapisan grafit dengan jaringan mikrokristalin.

D. SIMPULAN

1. Karbon aktif berhasil disintesis menggunakan tongkol jagung sebagai bahan dasar dengan aktivasi HCl dan NaOH memberikan hasil kadar air sebesar 2,97% dan kadar abu sebesar 3,92%.
2. Hasil Citra SEM dari karbon aktif memberikan gambaran yang jelas tentang porositas adsorben dan juga menunjukkan struktur permukaan seperti sarang lebah dengan ukuran dan bentuk pori terbuka yang berbeda. Hasil analisis grafik menunjukkan bahwa semakin bertambahnya konsentrasi larutan aktivator HCl dan NaOH maka semakin kecil nilai rata-rata ukuran pori yang dihasilkan. HCl 5%, 10% dan 15% memiliki rata-rata ukuran pori masing-masing sebesar 6,47 μm , 6,47 μm , dan 1,41 μm sedangkan NaOH 5%, 10% dan 15% memiliki rata-rata ukuran pori masing-masing sebesar 4,52 μm , 4,06 μm , dan 2,37 μm .
3. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa karbon aktif bersifat amorf ditandai dengan adanya gundukan atau puncak lebar pada setiap sampelnya dan variasi konsentrasi aktivator HCl dan NaOH tidak mempengaruhi struktur kristal karbon aktif.

DAFTAR RUJUKAN

- Abatan, O. G., Oni, B. A., Agboola, O., Efevbokhan, V., & Abiodun, O. O. (2019). Production of activated carbon from African star apple seed husks, oil seed and whole seed for wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 232, 441–450. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.378>
- Agustina, S., Fitriana, A., Besar, B., Perindustrian, K., Ji, R. I., Kimia, B., & Rebo, P. (2018). Proses Peningkatan Luas Permukaan Karbon Aktif Tongkol Jagung. *Prosiding Seminar Rekayasa Teknologi*, 440–446.
- Aldila, H., Megiyo, M., Afriani, F., & Tiandho, Y. (2018). ANALYSIS OF INFLUENCE OF ACTIVATOR CONCENTRATION ON CHARACTERISTICS OF ACTIVATED CARBON FROM KETAPANG SHELL (*Terminalia Catappa*) BASED ON IMAGE PROCESSING METHOD. *Jurnal Geliga Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.31258/jgs.6.1.1-8>
- Alfiany, H., Bahri, S., & Nurakhirawati. (2013). Kajian penggunaan arang aktif tongkol jagung sebagai Adsorben logam Pb dengan beberapa aktivator asam. *Jurnal Natural Science*, 2(3), 75–86.
- Bijang, C., Tanasale, M. F. J. D. P., Sri, D., Tahril, T., & Azis, T. (2022). Synthesis and Characterization of Activated Carbon from Waste Compedak Fruit (*Artocarpus Champeden*)

- Activated H₃PO₄ as Adsorbent of Methylene Blue. *Jurnal Akademika Kimia*, 11(1), 56–63.
<https://doi.org/10.22487/j24775185.2022.v11.i1.pp56-63>
- Christica, I., & Julia, R. (2018). ACTIVATED CARBON UTILIZATION FROM CORN COB (Zea mays) AS A HEAVY METAL ADSORBENT IN INDUSTRIAL WASTE. *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 6(5), 1–4.
<https://doi.org/10.22270/ajprd.v6i5.411>
- Haji, A. G., Pari, G., Nazar, M., & Habibati, H. (2013). Characterization of activated carbon produced from urban organic waste. *International Journal of Science and Engineering*, 5(2), 89–94.
<https://doi.org/10.12777/ijse.5.2.89-94>
- Idrus, R., Lapanporo, B. P., & Putra, Y. S. (2013). Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Prisma Fisika*, 1(1), 50–55.
- Kurniawan, R., Luthfi, M., & Wahyunanto, A. (2014). Karakterisasi Luas Permukaan Bet (Braunear, Emmelt dan Teller) Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Aktivasi Asam Fosfat. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 2(1), 15–20.
- Kwaghger, A. & Ibrahim, J. S., 2013. Optimization of Condition for the Preparation of Activated Carbon from Mango Nuts using HCl. *American Journal of Engineering Research*, 2(7), pp. 74–85.
- Liang, Qingling, Yucheng Liu, Mingyan Chen, Lili Ma, Bing Yang, Lingli Li, and Qian Liu. 2019. “Optimized Preparation of Activated Carbon from Coconut Shell and Municipal Sludge.” *Materials Chemistry and Physics* 122327.
- Mehmet Ş. Ramazan Orhan and Mehmet Erdem. 2014. “Preparation and Characterization of Activated Carbon from Grape Stalk by Zinc Chloride Activation.” 125:200–206.
- Nicholas, Ahmad Fariz, Mohd Zobir Hussein, and Zulkarnain Zainal. 2019. *Activated Carbon for Shape-Stabilized Phase Change Material*. Elsevier Inc.
- Nurfitriani, N., Febriyantiningrum, K., Utomo, W. P., Nugraheni, Z. V., Pangastuti, D. D., Maulida, H., & Ariyanti, F. N. (2019). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) pada Karbon Aktif dan Waktu Kontak Terhadap Daya Adsorpsi Logam Pb dalam Sampel Air Kawasan Mangrove Wonorejo, Surabaya. *Akta Kimia Indonesia*, 4(1), 75.
<https://doi.org/10.12962/j25493736.v4i1.5071>
- Pongener, C., Kibami, D., & Rao, K. S. (2015). Synthesis and Characterization of Activated Carbon from the Biowaste of the Plant Manihot Esculenta. *Chemical Science Transactions*, 4(1), 59–68. <https://doi.org/10.7598/cst2015.958>
- Ponnuchamy, M., Kapoor, A., Senthil Kumar, P., Vo, D. V. N., Balakrishnan, A., Mariam Jacob, M., & Sivaraman, P. (2021). Sustainable adsorbents for the removal of pesticides from water: a review. In *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 19, Issue 3).
<https://doi.org/10.1007/s10311-021-01183-1>
- Prabu, P., & Raghu, K. (2017). Synthesis and characterization of cotton stalk activated carbon by chemical activation using H₃PO₄. *Journal of Advanced Science and Research*, 2(5), 93–97.

- Priyadi, P., & Mangiring, W. (2019). Characteristics of Corn Cobs Waste Activated Carbon for Slow Release Micro Fertilizer Carrier. *SAINS TANAH - Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 16(2), 147. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v16i2.25480>
- Ramayana, D., Royani, I., & Arsyad, F. S. (2017). Pembuatan carbon black berbasis nanoserbuk tempurung biji karet menggunakan high energy milling. *Jurnal MIPA (Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences)*, 40(1), 28-32.
- Ramesh, T., Rajalakshmi, N., & Dhathathreyan, K. S. (2017). Synthesis and characterization of activated carbon from jute fibers for hydrogen storage. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 2, 4. <https://doi.org/10.1051/rees/2017001>
- Rizkyi, I. P., Budi, E., & Susilaningsih, E. (2016). AKTIVASI ARANG TONGKOL JAGUNG MENGGUNAKAN HCl SEBAGAI ADSORBEN ION Cd (II). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(2).
- Sun, Y., & Webley, P. A. (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*, 162(3), 883–892. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.06.031>
- Tongpoothorn, W., Sriuttha, M., Homchan, P., Chanthai, S., & Ruangviriyachai, C. (2011). Preparation of activated carbon derived from *Jatropha curcas* fruit shell by simple thermochemical activation and characterization of their physico-chemical properties. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(3), 335–340. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.06.012>
- Yuliusman, Farouq, F. Al, Sipangkar, S. P., Fatkhurrahman, M., & Putri, S. A. (2020). Preparation and characterization of activated carbon from corn stalks by chemical activation with KOH and NaOH. *AIP Conference Proceedings*, 2255(September). <https://doi.org/10.1063/5.0014403>
- Zhang, Ting, Haonan Jin, Yini Fang, Jibiao Guan, Shijie Ma, Yi Pan, Ming Zhang, and Han Zhu. 2019. “Detection of Trace Cd²⁺, Pb²⁺ and Cu²⁺ Ions via Porous Activated Carbon Supported Palladium Nanoparticles Modified Electrodes Using SWASV.” *Materials Chemistry and Physics* 225(January):433–42.