

Pengaruh Variasi Konsentrasi Aktivator Dan Waktu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbasis Serat Kelapa

Laelatin Ningsih^{1*}, Nur Khasanah¹, Muh. Wahyudi¹

¹Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Mataram, Indonesia

Article Info

Article history:

Received May 22, 2026

Revised May 25, 2026

Accepted May 26, 2026

Available Online May, 30 2026

Keywords:

Adsorption
Characterization
Activated Carbon
Coconut Husk
Activation time

Kata kunci:

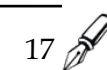
Adsorpsi
Karakterisasi
Karbon Aktif
Serat Kelapa
Waktu aktivasi

ABSTRACT

Coconut husks are a locally abundant agricultural waste product that has not yet been fully utilized, despite their high lignocellulose content, which makes them a potential raw material for activated carbon. The development of this activated carbon is highly relevant for addressing clean water supply issues, particularly in the treatment of peat water. This study aims to determine the effect of variations in activator concentration and activation time on the physical and chemical characteristics of coconut fiber-based activated carbon. This study employed a quantitative experimental method with variations in hydrochloric acid (HCl) activator concentrations of 1 M and 2 M, as well as activation times of 2 hours and 3 hours. The production stages included washing, drying, carbonization at 400°C, and chemical activation. Product quality characterization was performed through moisture content testing, ash content testing, functional group analysis using FTIR, and surface morphology analysis using SEM-EDX. The results showed that increasing the HCl concentration from 1 M to 2 M had a significant effect on the intensity of functional groups (-OH, aromatic C=O/C=C, and C-O) as well as pore development on the activated carbon surface. The surface structure appeared more open, the number of pores increased, and the particle size became finer and more homogeneous at higher concentrations. Activated carbon produced using 1 M HCl yields the highest quality product that meets the Indonesian National Standard (SNI 06-3730-1995) with an ash content of 10%. Local coconut fiber has great potential to be developed as a raw material for high-quality activated carbon, where the combination of activator concentration and activation time are key factors in optimizing its porosity and adsorption capacity for water treatment applications.

ABSTRAK

Sabut kelapa merupakan limbah pertanian lokal yang melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal, padahal memiliki kandungan lignoselulosa tinggi yang potensial sebagai bahan baku karbon aktif. Pengembangan karbon aktif ini sangat relevan untuk mengatasi permasalahan penyediaan air bersih, khususnya pengolahan air gambut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi zat aktivator serta lama waktu aktivasi terhadap karakteristik fisik dan kimia kualitas karbon aktif berbasis serat kelapa. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan variasi konsentrasi aktivator asam klorida (HCl) sebesar 1 M dan 2 M, serta variasi waktu aktivasi selama 2 jam dan 3 jam. Tahapan pembuatan meliputi pencucian, pengeringan, karbonisasi pada suhu 400°C, dan proses aktivasi kimia. Karakterisasi kualitas produk dilakukan melalui pengujian kadar air, kadar abu, analisis gugus fungsi dengan FTIR, serta analisis



morfologi permukaan menggunakan SEM-EDX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi HCl dari 1 M menjadi 2 M memberikan pengaruh nyata terhadap intensitas gugus fungsi (-OH, C=O/C=C aromatik, dan C-O) serta perkembangan pori pada permukaan karbon aktif. Struktur permukaan tampak lebih terbuka, jumlah pori lebih banyak, dan ukuran partikel menjadi lebih halus serta homogen pada konsentrasi yang lebih tinggi. Karbon aktif yang diaktivasi menggunakan HCl 1 M menghasilkan kualitas terbaik yang memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995) dengan kadar abu sebesar 10%. Serat kelapa lokal memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan baku karbon aktif berkualitas, di mana kombinasi parameter konsentrasi zat aktivator dan waktu aktivasi menjadi faktor kunci dalam mengoptimalkan porositas dan daya adsorpsinya untuk aplikasi pengolahan air.



How to cite: Ningsih, L., Khasanah, N., Wahyudi, M. (2026). Pengaruh Variasi Konsentrasi Aktivator Dan Waktu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbasis Serat Kelapa. *Indonesian Journal of Review and Research in Physics*, 1(1), 17-29

PENDAHULUAN

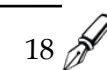
Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang dianugerahi sumber daya pertanian yang melimpah, salah satunya adalah tanaman kelapa (*Cocos nucifera*). Tanaman kelapa dikenal sebagai tanaman serbaguna karena hampir seluruh bagiannya dapat dimanfaatkan (Madani et al., 2023). Meskipun demikian, sabut kelapa hingga kini masih sering dipandang sebagai limbah atau bahan sisa yang belum dimanfaatkan secara optimal. Padahal, sabut kelapa memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi, yaitu sekitar 25-30% lignin, 40-45% selulosa, dan 20-30% hemiselulosa. Komposisi tersebut menunjukkan bahwa sabut kelapa memiliki potensi besar sebagai bahan baku karbon aktif (Pratama et al., 2023).

Karbon aktif merupakan material berpori yang memiliki luas permukaan besar dan daya adsorpsi tinggi terhadap berbagai zat, baik dalam fase cair maupun gas (Diharyo et al., 2023). Material ini banyak digunakan dalam industri farmasi, makanan dan minuman, pengolahan limbah, hingga pemurnian air. Kemampuannya dalam menyerap logam berat, zat organik terlarut, serta senyawa penyebab warna menjadikan karbon aktif sebagai salah satu solusi efektif dan ramah lingkungan dalam pengolahan air (Fatimah, 2021).

Permasalahan ketersediaan air bersih masih menjadi tantangan di berbagai wilayah Indonesia, khususnya daerah yang didominasi lahan gambut (Artika et al., 2024). Air gambut umumnya berwarna cokelat pekat dan memiliki tingkat keasaman yang tinggi akibat kandungan bahan organik terlarut (Kurniawan et al., 2024). Kondisi ini menyebabkan air gambut tidak memenuhi standar kualitas air bersih apabila digunakan secara langsung. Salah satu metode yang terbukti efektif dalam pengolahan air gambut adalah proses adsorpsi menggunakan karbon aktif (Destanti et al., 2025). Oleh karena itu, pengembangan karbon aktif berbahan baku lokal seperti sabut kelapa menjadi sangat relevan dalam mendukung penyediaan air bersih yang ekonomis dan berkelanjutan (Artika et al., 2024).

Dalam proses pembuatan karbon aktif, tahap aktivasi merupakan faktor kunci yang menentukan kualitas produk akhir (Rudiyanto et al., 2024). Aktivasi kimia banyak dipilih karena mampu menghasilkan struktur pori yang lebih berkembang serta luas permukaan yang lebih besar dibandingkan aktivasi fisika (Suastika et al., 2023). Dua parameter utama dalam proses aktivasi kimia adalah konsentrasi aktivator dan lama waktu aktivasi (Sahania et al., 2024). Variasi kedua parameter tersebut dapat memengaruhi pembentukan struktur pori, kadar air, kadar abu, zat terbang, serta kapasitas adsorpsi karbon aktif terhadap zat pencemar (Sahania et al., 2024).

Penelitian mengenai karbon aktif dari berbagai bahan baku telah banyak dilakukan namun, sebagian besar penelitian terdahulu hanya memfokuskan pada satu parameter aktivasi saja atau menggunakan bahan baku lain seperti tempurung kelapa (Tista et al., 2024), jerami padi, dan tongkol jagung (Safitri et al., 2024). Karakteristik bahan baku sangat dipengaruhi oleh komposisi



kimia dan kondisi geografis daerah asalnya. Sabut kelapa yang berasal dari wilayah Lombok, misalnya, berpotensi memiliki karakteristik berbeda akibat pengaruh kondisi tanah dan iklim (Sumardona et al., 2023). Oleh karena itu, penelitian yang secara khusus mengkaji kombinasi variasi konsentrasi aktivator dan waktu aktivasi terhadap karbon aktif berbahan dasar sabut kelapa lokal masih relatif terbatas dan perlu dilakukan secara lebih komprehensif (Fajri & Takwanto, 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan kajian eksperimental untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi aktivator dan waktu aktivasi terhadap karakteristik fisik dan kimia karbon aktif dari serat kelapa (Fajri & Takwanto, 2024). Kajian ini penting untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal sehingga karbon aktif yang dihasilkan memiliki kualitas yang memenuhi standar nasional, seperti SNI 06-3730-1995. Dengan demikian, karbon aktif yang dihasilkan dapat diaplikasikan secara luas dalam pengolahan air, khususnya air gambut (Rahmawati et al., 2024).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi aktivator terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif dari serat kelapa? (2) Bagaimana pengaruh waktu aktivasi terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan dari serat kelapa? (3) Bagaimana hubungan antara konsentrasi aktivator dan waktu aktivasi dalam menentukan karakteristik karbon aktif dari serat kelapa?

Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengetahui pengaruh variasi konsentrasi aktivator terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif dari serat kelapa; (2) mengetahui pengaruh waktu aktivasi terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan dari serat kelapa; serta (3) menganalisis hubungan antara konsentrasi aktivator dan waktu aktivasi dalam menentukan karakteristik karbon aktif dari serat kelapa sehingga diperoleh kombinasi parameter yang optimal.

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat secara teoritis maupun praktis. Secara teoritis, penelitian ini dapat memperkaya kajian ilmiah mengenai pengembangan karbon aktif berbasis limbah pertanian lokal serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya (Eceng et al., 2017). Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi proses aktivasi yang paling efektif dalam menghasilkan karbon aktif berkualitas tinggi untuk aplikasi pengolahan air (Melati & Hidayati, 2017). Selain itu, dari sisi lingkungan dan ekonomi, pemanfaatan sabut kelapa sebagai bahan baku karbon aktif dapat meningkatkan nilai tambah limbah pertanian serta mendukung penerapan teknologi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif untuk mengetahui pengaruh konsentrasi HCl (1 M dan 2 M) serta waktu aktivasi (2 jam dan 3 jam) terhadap kualitas karbon aktif serat kelapa. Variabel terikat meliputi morfologi partikel dan kandungan karbon, sedangkan variabel kontrol berupa jenis bahan baku, ukuran sampel, dan kondisi pemanasan saat karbonisasi. Adapun desain penelitian ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Desain Penelitian

Aktivator	Variasi		Uji	
	Waktu Aktivasi	Kadar air	Kadar Abu	SEM EDX
1 M	2 jam	✓	✓	✓
2 M	3 jam	✓	✓	✓

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi timbangan digital dengan ketelitian 0,01gram untuk menimbang massa sampel, oven merek Sharp EO-28LP(K) untuk proses pengeringan, muffle furnace untuk proses karbonisasi pada suhu tinggi, serta SEM/EDX tipe JEOL 70 untuk analisis morfologi dan kandungan unsur karbon aktif. Selain itu digunakan juga loyang, ayakan, labu Erlenmeyer 100 ml, mortar dan alu, kalkulator pH, serta Spektrofotometer

Serapan Atom (SSA). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi serat kelapa dari Desa Gerantung, larutan HCl dengan variasi konsentrasi 1 M dan 2 M, serta aquadest.

Tahapan penelitian diawali dengan mempersiapkan serat kelapa sebagai bahan baku utama karbon aktif. Serat kelapa terlebih dahulu dicuci menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran dan kontaminan yang menempel pada permukaan sampel. Setelah proses pencucian selesai, serat kelapa dipotong menjadi bagian-bagian kecil agar proses pengeringan dan karbonisasi dapat berlangsung lebih efektif.

Selanjutnya dilakukan proses pengeringan menggunakan oven pada suhu 105°C selama beberapa jam hingga kadar air pada serat kelapa berkurang. Pengeringan bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dalam bahan sehingga proses karbonisasi dapat berlangsung lebih optimal dan menghasilkan karbon dengan kualitas yang baik.

Tahap berikutnya adalah proses karbonisasi. Serat kelapa yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam muffle furnace dan dipanaskan pada suhu sekitar 400°C selama 2 jam. Proses karbonisasi dilakukan secara bertahap dengan suplai oksigen terbatas untuk mencegah pembakaran sempurna. Pada proses ini terjadi dekomposisi termal terhadap senyawa organik dalam serat kelapa sehingga menghasilkan residu padat berupa karbon. Setelah proses karbonisasi selesai, sampel didinginkan pada kondisi inert untuk menghindari oksidasi pada karbon yang terbentuk.

Karbon hasil karbonisasi kemudian dihaluskan menggunakan mortar dan alu, lalu diayak untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam. Sampel karbon yang telah halus selanjutnya dicampurkan dengan larutan aktivator HCl sesuai variasi konsentrasi yang telah ditentukan, yaitu 1 M dan 2 M. Proses aktivasi dilakukan dengan merendam karbon ke dalam larutan aktivator menggunakan labu Erlenmeyer.

Setelah proses pencampuran selesai, sampel dimasukkan ke dalam oven atau muffle furnace untuk proses aktivasi pada suhu tinggi. Variasi waktu aktivasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2 jam dan 3 jam. Proses aktivasi bertujuan untuk membuka pori-pori karbon sehingga luas permukaan karbon aktif meningkat dan kemampuan adsorpsinya menjadi lebih baik.

Setelah proses aktivasi selesai, sampel karbon aktif dicuci menggunakan aquadest hingga sisa larutan aktivator hilang dan pH sampel mendekati netral. Selanjutnya sampel dikeringkan kembali menggunakan oven agar diperoleh karbon aktif yang siap untuk dilakukan pengujian karakteristik.

Pengujian kualitas karbon aktif dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pengujian kadar air, kadar abu, dan analisis morfologi menggunakan SEM/EDX. Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui kandungan air yang masih terdapat dalam karbon aktif. Langkah-langkah pengujian kadar air dimulai dengan menimbang cawan kosong, kemudian memasukkan sampel karbon aktif sebanyak ± 1 gram ke dalam cawan. Sampel ditimbang sebelum dioven, kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 115°C selama 2 jam. Setelah proses pemanasan selesai, sampel didinginkan hingga suhu ruang dan ditimbang kembali. Nilai kadar air dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar air} = \frac{m_2 - m_3}{m_2} = 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

m_1 = massa cawan kosong (gram)

m_2 = massa cawan + sampel sebelum dioven (gram)

m_3 = massa cawan + sampel setelah dioven (gram)

Pengujian kadar abu dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral atau zat anorganik yang tersisa pada karbon aktif setelah proses pembakaran. Langkah pengujian dimulai dengan menimbang cawan kosong, kemudian memasukkan sampel karbon aktif sebanyak ± 1 gram ke dalam cawan. Sampel dipanaskan menggunakan furnace pada suhu 800°C selama 2 jam hingga seluruh karbon habis terbakar dan menyisakan abu. Setelah pendinginan hingga suhu ruang, sampel ditimbang kembali untuk menentukan kadar abu menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar Abu} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} = 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

m_1 = massa cawan kosong (gram)

m_2 = massa cawan + sampel karbon aktif (gram)

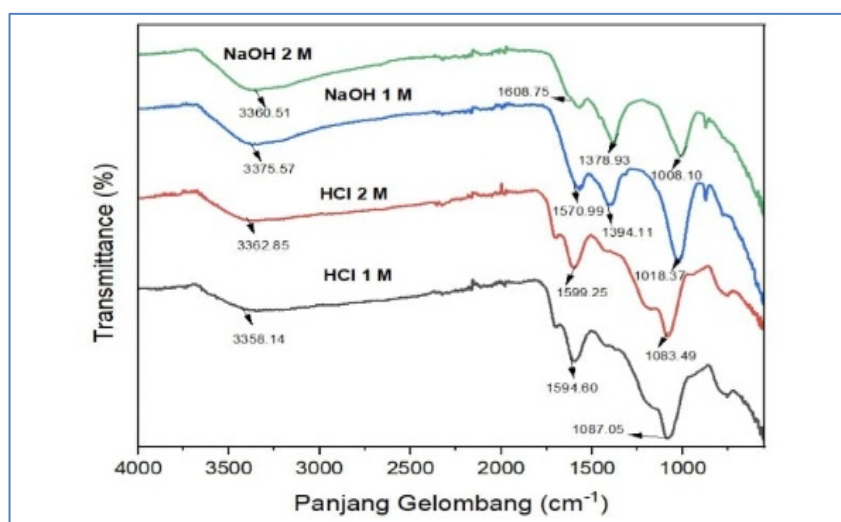
m_3 = massa cawan + abu karbon aktif (gram)

Pengujian SEM/EDX dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan kandungan unsur karbon aktif. Proses pengujian diawali dengan menyiapkan sampel karbon aktif yang akan dianalisis. Permukaan sampel diampelas hingga struktur serat terlihat jelas, kemudian dipotong sesuai ukuran alat SEM. Sampel selanjutnya dilakukan coating menggunakan emas atau platina agar permukaannya bersifat konduktif. Setelah itu, sampel ditempatkan pada alat SEM/EDX untuk dilakukan analisis morfologi dan kandungan unsur dengan perbesaran sekitar 2000×. Data hasil pengujian kadar air, kadar abu, dan SEM/EDX dicatat dalam tabel pengamatan, kemudian dianalisis secara deskriptif dan grafis untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi aktivator dan waktu aktivasi terhadap kualitas karbon aktif berbahan dasar serat kelapa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik karbon aktif yang dihasilkan dari serat kelapa sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama dalam penelitian ini, yaitu jenis dan konsentrasi aktivator (HCl dan NaOH) serta waktu aktivasi. Kedua variabel tersebut berperan penting dalam membentuk struktur pori, mengurangi komponen non-karbon, menurunkan kadar air, serta memperbaiki kualitas matriks karbon. Pembahasan ini disusun berdasarkan hasil uji kadar air, kadar abu, analisis ukuran butir, serta karakterisasi morfologi menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) dan analisis gugus fungsi menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) (Meiliyadi et al., 2025).

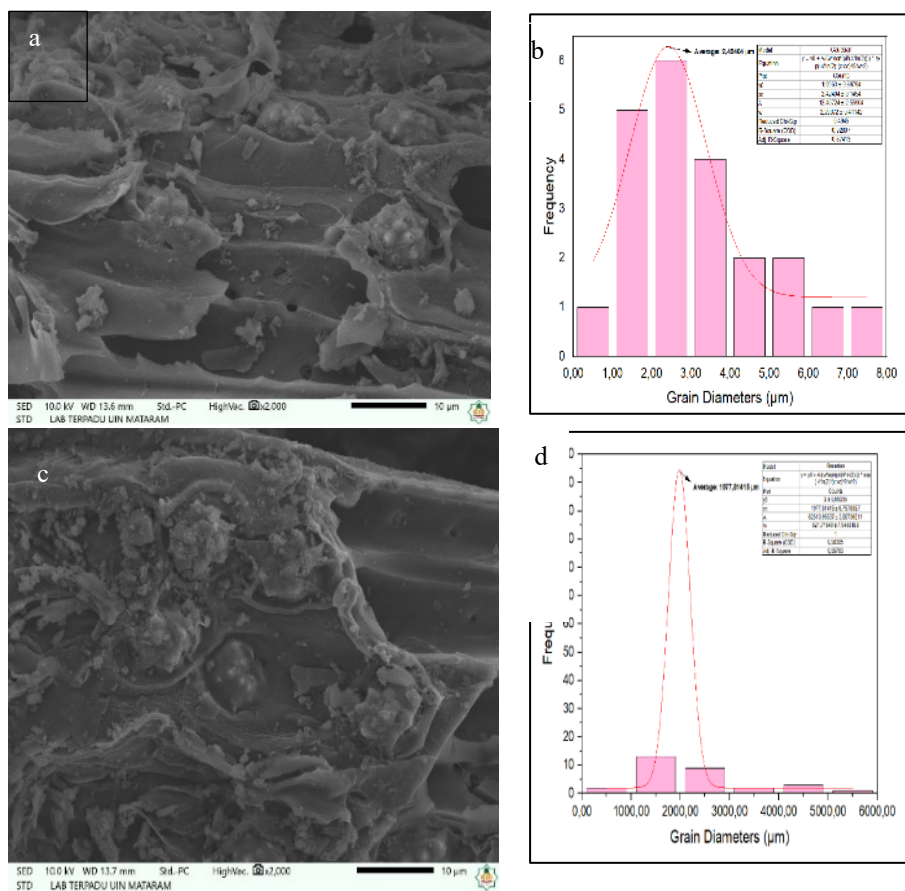
Karbon aktif yang berkualitas baik harus memenuhi standar nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995), terutama pada parameter dasar yaitu kadar air maksimal 15% dan kadar abu maksimal 10%. Selain itu, morfologi yang menunjukkan adanya pori-pori mikro dan meso juga menjadi indikator keberhasilan proses aktivasi. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dibandingkan dengan nilai standar tersebut untuk menilai kualitas produk karbon aktif yang dihasilkan (Febriana et al., 2026).



Gambar 1. Hasil FT-IR karbon aktif berdasarkan serat kelapa

Berdasarkan Gambar 1, spektrum FT-IR karbon aktif serat kelapa dengan aktivator NaOH dan HCl menunjukkan gugus fungsi utama seperti -OH, C=O/C=C aromatik, dan C-O. Perbedaan jenis dan konsentrasi aktivator menyebabkan perubahan intensitas serta sedikit pergeseran bilangan gelombang. Intensitas pita pada konsentrasi 2 M lebih kuat dibandingkan 1

M, menandakan peningkatan jumlah gugus fungsi yang dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif.



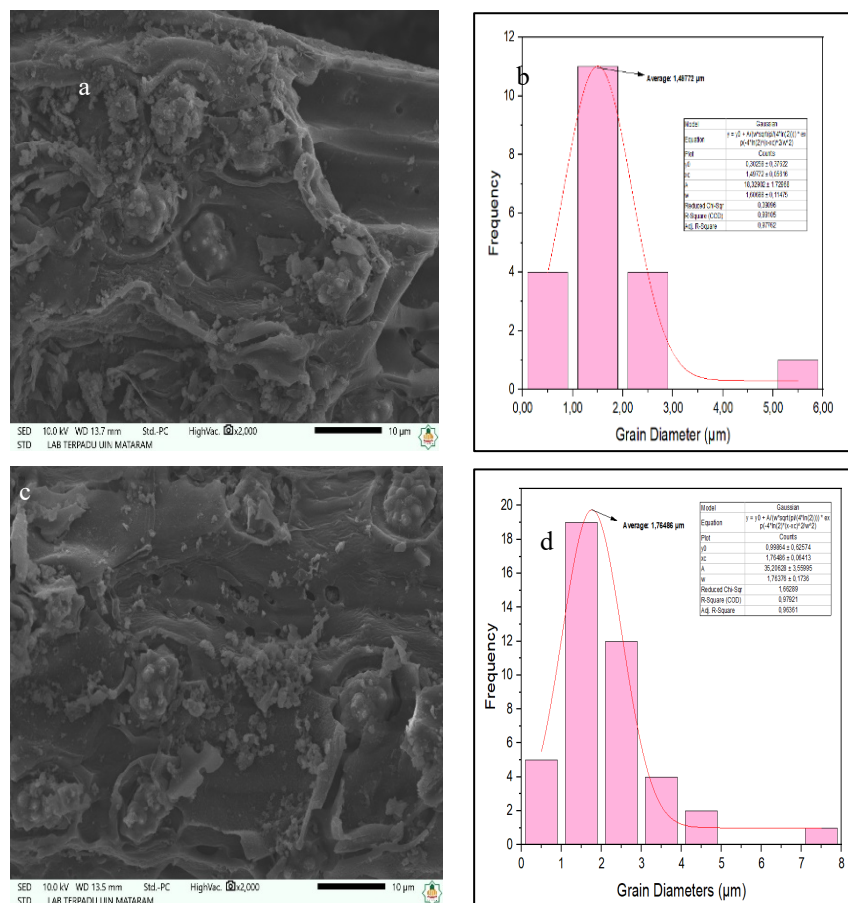
Gambar 2. SEM karbon aktif berbasis serat kelapa, (a) morfologi 1 m HCl, (b) diameter butir 1 m HCl, (c) morfologi 2 m HCl, (d) diameter butir 2 m HCl

Gambar 2, yang menunjukkan hasil karakterisasi morfologi karbon aktif berbahan dasar serat kelapa menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) dengan aktivator HCl pada konsentrasi 1 M dan 2 M. Gambar tersebut memperlihatkan perubahan struktur permukaan karbon aktif akibat perbedaan konsentrasi aktivator yang digunakan selama proses aktivasi.

Berdasarkan Gambar 2(a), karbon aktif yang diaktivasi menggunakan HCl 1 M menunjukkan permukaan yang masih tidak merata dengan tekstur kasar serta adanya gumpalan partikel pada beberapa bagian permukaan. Pori-pori mulai terbentuk pada matriks karbon, namun distribusinya belum merata sepenuhnya. Pada Gambar 2(b), distribusi ukuran partikel menunjukkan ukuran partikel yang masih relatif besar dan penyebarannya belum homogen.

Selanjutnya, pada Gambar 3(c), karbon aktif yang diaktivasi menggunakan HCl 2 M menunjukkan perubahan morfologi yang lebih jelas. Permukaan karbon tampak lebih terbuka dengan jumlah pori yang lebih banyak dan lebih teratur dibandingkan HCl 1 M. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi HCl mampu mempercepat proses penghilangan zat pengotor dan membuka struktur pori karbon secara lebih efektif. Pada Gambar 3(d), distribusi ukuran partikel terlihat lebih homogen dengan ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan sampel HCl 1 M.

Secara umum, hasil SEM menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi aktivator HCl dari 1 M menjadi 2 M memberikan pengaruh terhadap pembentukan pori dan ukuran partikel karbon aktif serat kelapa. Konsentrasi HCl yang lebih tinggi menghasilkan struktur permukaan yang lebih berpori dan ukuran partikel yang lebih halus sehingga berpotensi meningkatkan luas permukaan dan kemampuan adsorpsi karbon aktif.



Gambar 3. SEM karbon aktif berbasis serat kelapa, (a) morfologi 1 m NaOH, (b) diameter butir 1 m NaOH, (c) morfologi 2 m NaOH, (d) diameter butir 2 m NaOH

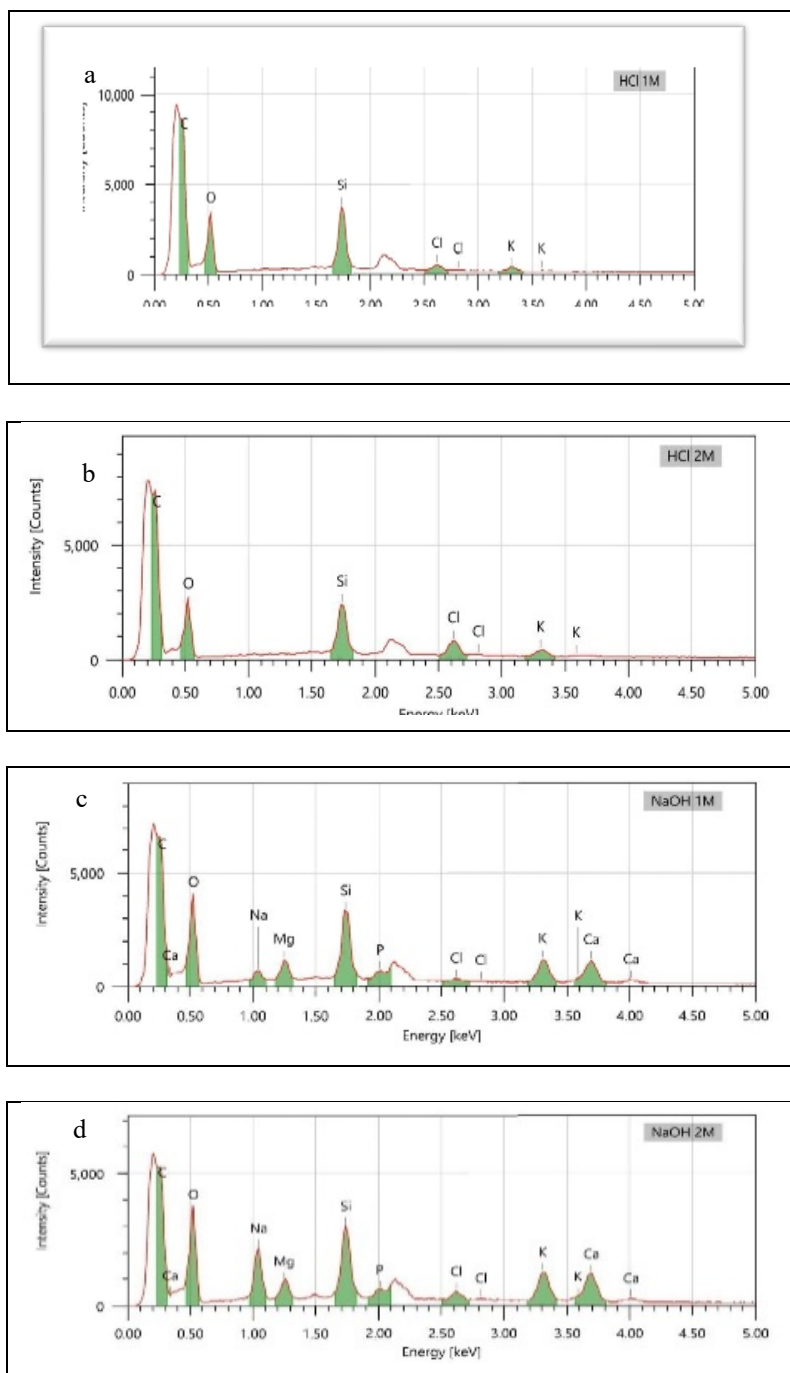
Hasil SEM menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi aktivator HCl dari 1 M menjadi 2 M memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perkembangan morfologi dan ukuran partikel karbon aktif berbahan dasar serat kelapa. Berdasarkan Gambar 3(a), pada konsentrasi HCl 1 M proses aktivasi masih terbatas pada penghilangan sebagian komponen amorf dan mineral, sehingga permukaan karbon terlihat tidak merata dan berlapis. Pori-pori yang terbentuk juga belum berkembang secara optimal sehingga struktur karbon masih tampak cukup padat. Akibatnya, pada Gambar 3(b) distribusi ukuran partikel masih menunjukkan ukuran partikel yang relatif besar dan kurang homogen.

Sebaliknya, pada Gambar 3(c), penggunaan HCl 2 M menunjukkan perubahan morfologi yang lebih jelas. Peningkatan jumlah ion H^+ mempercepat proses hidrolisis dan pelarutan komponen non-karbon seperti hemiselulosa, lignin sisa, dan abu mineral sehingga lebih banyak pori terbentuk pada permukaan karbon. Struktur pori tampak lebih terbuka dan jaringan pori terlihat lebih jelas dibandingkan sampel HCl 1 M. Proses tersebut juga menyebabkan partikel karbon terfragmentasi menjadi ukuran yang lebih kecil dan distribusinya lebih homogen, sebagaimana terlihat pada Gambar 3(d).

Secara ilmiah, peningkatan konsentrasi HCl meningkatkan efektivitas proses aktivasi melalui mekanisme deashing dan erosi matriks karbon. Proses ini menghasilkan karbon aktif dengan struktur yang lebih berpori, luas permukaan yang lebih besar, serta potensi adsorpsi yang lebih tinggi terhadap berbagai zat pencemar.

Hasil analisis morfologi dan distribusi ukuran partikel menggunakan Mikroskop Elektron Pemindai (SEM) menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi aktivator NaOH dari 1 M menjadi 2 M memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perkembangan struktur permukaan, morfologi, dan ukuran partikel karbon aktif berbahan dasar serat kelapa. Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar bagian atas, sampel yang diaktivasi menggunakan NaOH 1 M memperlihatkan bahwa proses aktivasi kimia belum berjalan secara maksimal. Pada

konsentrasi ini, ion OH^- yang tersedia jumlahnya masih terbatas, sehingga kemampuan pelarutan senyawa non-karbon seperti hemiselulosa, lignin, dan kandungan mineral/abu dalam bahan baku belum berlangsung secara menyeluruh. Akibatnya, permukaan karbon aktif terlihat masih berlapis, tidak rata, dan banyak bagian yang masih tertutup oleh sisa komponen yang belum terurai. Pori-pori yang terbentuk pun jumlahnya sedikit, ukurannya belum seragam, dan struktur matriks karbon masih tampak cukup padat serta tertutup. Hal ini selaras dengan data distribusi ukuran partikel yang disajikan pada grafik sebelah kanannya, di mana terlihat ukuran partikel masih relatif besar dengan penyebaran yang kurang seragam atau tidak homogen.



Gambar 4. Spektrum EDX dari karbon aktif berdasarkan serat kelapa

Sebaliknya, penggunaan aktivator NaOH dengan konsentrasi lebih tinggi yaitu 2 M, seperti terlihat pada Gambar bagian bawah, menghasilkan perubahan morfologi yang sangat nyata dan lebih baik dibandingkan sampel sebelumnya. Peningkatan konsentrasi menyebabkan jumlah ion OH^- yang bereaksi dengan matriks karbon menjadi lebih banyak dan lebih reaktif.

Hal ini mempercepat proses pemecahan ikatan, hidrolisis, serta pelarutan senyawa pengotor dan komponen amorf yang ada pada struktur serat kelapa. Akibat proses tersebut, permukaan karbon aktif menjadi lebih kasar, banyak lubang-lubang pori yang terbentuk dengan jelas, struktur jaringan pori tampak lebih terbuka, dan saluran antar pori semakin terhubung satu sama lain. Kejadian ini juga menyebabkan partikel karbon yang besar terpecah atau terfragmentasi menjadi ukuran yang jauh lebih kecil. Hal ini dibuktikan melalui grafik distribusi ukuran partikel yang menunjukkan nilai rata-rata ukuran partikel lebih kecil dengan penyebaran data yang lebih sempit, berarti ukuran partikel menjadi jauh lebih seragam dan homogen.

Secara ilmiah, mekanisme yang terjadi pada peningkatan konsentrasi NaOH berkaitan erat dengan efektivitas proses aktivasi kimia dan pembentukan struktur berpori. Konsentrasi alkali yang lebih tinggi meningkatkan daya korosif dan kemampuan deashing (pembuangan abu/mineral), sehingga matriks karbon mengalami erosi yang lebih merata dan menyeluruh. Proses pembukaan pori yang lebih intensif ini berperan penting dalam menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan spesifik yang lebih besar, volume pori yang lebih tinggi, serta struktur pori yang lebih berkembang. Sifat-sifat fisik ini menjadikan karbon aktif hasil aktivasi NaOH 2 M memiliki potensi daya serap (kapasitas adsorpsi) yang jauh lebih baik dan lebih efektif dalam menyerap berbagai jenis zat pencemar maupun senyawa kimia dibandingkan karbon aktif yang dihasilkan dari konsentrasi NaOH 1 M.

Hasil SEM menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi aktivator memperjelas dan meratakan pembentukan pori karbon aktif. HCl 2 M menghasilkan struktur paling halus, homogen, dan berpori dibanding HCl 1 M. Pada NaOH, konsentrasi 2 M juga membentuk pori lebih jelas, namun mulai terjadi penipisan dinding pori yang berpotensi merusak struktur karbon. Secara umum, seluruh karbon aktif memiliki struktur berpori yang mendukung adsorpsi.

Tabel 2. Berdasarkan serat kelapa HCl 1 M dan HCl 2 M

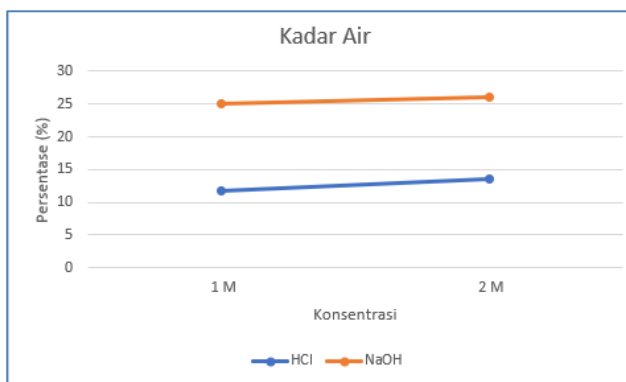
Unsur	HCl 1 M		HCl 2 M	
	Massa (%)	Atom (%)	Massa (%)	Atom (%)
C	47,01	57,28	48,59	59,23
O	39,37	36,01	37,43	34,25
Si	10,52	5,48	7,76	4,05
Cl	1,61	0,66	3,84	1,59
K	1,49	0,56	2,38	0,89
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabel 3. Berdasarkan serat kelapa NaOH 1 M dan NaOH 2 M

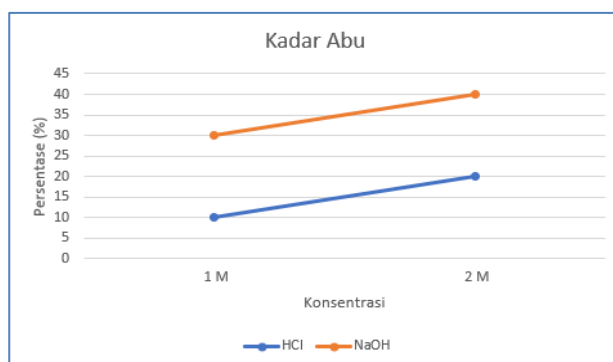
Unsur	NaOH 1 M		NaOH 2 M	
	Massa (%)	Atom (%)	Massa (%)	Atom (%)
C	29,10	40,49	25,33	36,73
O	42,64	44,53	39,29	42,77
Na	2,02	1,46	8,40	6,36
Mg	2,96	2,04	2,63	1,89
Si	9,25	5,50	7,87	4,88
K	6,11	2,61	6,87	3,06
Ca	7,6	2,99	7,80	3,39
Lainnya	< 1	< 1	< 2	< 2
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Berdasarkan hasil analisis EDX yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3, komposisi unsur pada permukaan karbon aktif yang diaktivasi menggunakan HCl didominasi oleh unsur karbon (C) dan oksigen (O). Peningkatan konsentrasi HCl dari 1 M ke 2 M menyebabkan peningkatan persentase karbon dan penurunan kandungan mineral seperti silikon (Si), yang menunjukkan bahwa aktivasi asam efektif dalam melarutkan pengotor anorganik. Namun, masih terdeteksi adanya unsur klorin (Cl) yang merupakan residu dari aktivator HCl. Gambar hasil ukuran butir kualitas karbon aktif serat kelapa.

Sebaliknya, pada sampel yang diaktivasi menggunakan NaOH, spektrum didominasi oleh unsur oksigen dan masih terdeteksi adanya unsur tambahan seperti Natrium (Na), Magnesium (Mg), Kalium (K), dan Kalsium (Ca) dalam jumlah yang cukup signifikan. Keberadaan unsur-unsur ini lebih terlihat jelas pada penggunaan 1 M NaOH, yang menunjukkan bahwa aktivasi basa dengan konsentrasi tinggi cenderung meninggalkan residu anorganik dan residu aktivator yang lebih banyak dibandingkan aktivasi asam. Secara umum, hasil EDX menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan HCl menghasilkan karbon aktif dengan kemurnian yang lebih baik dibandingkan dengan NaOH.



Gambar 5. Data Hasil Uji Kadar Air



Gambar 6. Data Hasil Uji Kadar Abu

Peningkatan konsentrasi aktivator menaikkan kadar air karbon aktif. NaOH menghasilkan kadar air lebih tinggi (25-26%) dibandingkan dengan banding HCl (12-14%) karena membentuk gugus hidrofilik yang mudah mengikat air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. HCl hanya meningkatkan penyerapan air melalui pembukaan pori. Kadar air rendah lebih baik karena karbon aktif lebih stabil dan efektif. Berdasarkan SNI maksimal 15%, sampel HCl masih memenuhi standar dan memiliki kualitas lebih baik dibanding NaOH.

Peningkatan konsentrasi aktivator meningkatkan kadar abu karbon aktif. NaOH menghasilkan kadar abu lebih tinggi (30,5-40%) dibanding HCl (10,8-20,5%) karena meninggalkan lebih banyak residu anorganik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. HCl lebih efektif melarutkan mineral sehingga kadar abu lebih rendah. Kadar abu rendah menunjukkan mutu karbon aktif lebih baik. Berdasarkan SNI maksimal 15%, hanya sampel HCl 1 M yang memenuhi standar.

Table 4. Tes Adsorpsi karbon aktif dari serat kelapa

No	Variasi Perlakuan	Rata-rata Ukuran Butir (μm)
1	HCl 1 M	1,55
2	HCl 2 M	0,98
3	NaOH 1 M	1,63
4	NaOH 2 M	1,36

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 4, peningkatan konsentrasi aktivator menurunkan ukuran butir karbon aktif. HCl menghasilkan ukuran paling kecil, dari 1,55 μm menjadi 0,98 μm , karena lebih efektif menguraikan struktur karbon dan melarutkan pengotor. NaOH juga menurunkan ukuran butir dari 1,63 μm menjadi 1,36 μm , namun kurang efektif dibanding HCl. Ukuran butir yang lebih kecil menunjukkan luas permukaan lebih besar sehingga kemampuan adsorpsi lebih baik. Aktivasi terbaik diperoleh pada HCl 2 M dengan ukuran butir 0,98 μm .

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi konsentrasi aktivator dan jenis aktivator berpengaruh terhadap karakteristik karbon aktif berbahan dasar serat kelapa. Aktivasi menggunakan HCl dan NaOH menghasilkan perbedaan pada kadar air, kadar abu, ukuran partikel, morfologi permukaan, komposisi unsur, dan gugus fungsi karbon aktif. Seluruh sampel karbon aktif memenuhi standar SNI 06-3730-1995 untuk parameter kadar air dengan nilai berkisar antara 11,71%–13,55%. Namun, hanya karbon aktif yang diaktivasi menggunakan HCl 1 M yang memenuhi standar kadar abu dengan nilai sebesar 10%, sedangkan perlakuan lainnya menunjukkan kadar abu sebesar 20%. Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi aktivator menghasilkan struktur pori yang lebih berkembang dan distribusi pori yang lebih merata. Analisis EDX menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan HCl menghasilkan kandungan karbon yang lebih tinggi dan residu mineral yang lebih rendah dibandingkan NaOH. Sementara itu, hasil FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi utama berupa -OH, C=C aromatik, dan C-O yang berperan dalam meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif. Berdasarkan seluruh hasil pengujian, perlakuan aktivasi menggunakan HCl 1 M menghasilkan karbon aktif dengan karakteristik paling optimal karena memenuhi standar mutu SNI dan memiliki morfologi pori yang baik sehingga berpotensi digunakan sebagai adsorben dalam pengolahan air.

KONTRIBUSI PENULIS

Kontribusi penulis dalam penelitian ini yaitu Laelatin Ningsih berperan dalam penyusunan konsep penelitian, pengumpulan data, analisis data, dan penulisan naskah. Nur Khasanah dan Muh. Wahyudi berperan sebagai pembimbing dalam penyempurnaan konsep, analisis hasil, serta penelaahan akhir naskah. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir artikel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terselesainya penelitian ini dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan selama proses penelitian dan penyusunan artikel. Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak laboratorium yang telah membantu proses pengujian SEM-EDX dan FTIR, serta kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moral maupun teknis sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Selain itu, penulis juga berterima kasih kepada masyarakat Desa Gerantung yang telah membantu dalam penyediaan bahan penelitian berupa serat kelapa.

REFERENSI

- A. Melati And E. Hidayati, (2017). Aplikasi Carbon Nano Fiber Terintegrasi Dengan Karbon Aktif Serabut Kelapa Untuk Pengolahan Limbah Laundry, *Jurnal Penelitian Agama Dan Masyarakat*, Vol. 1, No. 2, Pp. 277–292.
- A. Mukti, Analiasari, Supriyanto, And Giffary Pramafisi, (2024). Pemanfaatan Serat Serabut Kelapa (Cocos Nucifera) Sebagai Biodegradable Foam Alternatif Pengganti Styrofoam Menggunakan Metode Alkalisasi, *Urnal Pengembangan Agroindustri Terapan*, Vol. 3, No. 1, Pp. 12–22. Doi: 0.25181/Jupiter.V3i1.3352.
- A. Pratama, L. M. Sari, & R. F. Wibowo, (2023). Pengaruh Variasi Konsentrasi Aktivator Kimia Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Berbasis Serat Kelapa, *Jurnal Material Fungsional Dan Energi Terbarukan*, Vol. 9, No. 2, Pp. 101–110. Doi: 10.25077/Jmfe.9.2.2023.101-110.

- A. S. Madani, N. Maharani, And T. Widayatno, (2023). Pemanfaatan Karbon Aktif Kulit Pisang Kepok Dan Serabut Kelapa Untuk Penurunan Kadar Na Pada Sumur Gali, *Multilingual: Journal Of Universal Studies*, Vol. 3, No. 4, Pp. 135–143.
- B. Eceng, G. Eichornia, And C. Untuk, (2017). Optimasi Penggunaan Biosorbent Berbasis Biomassa : Pengaruh Konsentrasi Aktivator Terhadap Luas Permukaan Karbon Aktif, Vol. 06, No. 2, Pp. 129–136.
- B. R. P. P. Rudiyanto, N. Hendrawati, And H. P. Sudarminto, (2024). Penentuan Kapasitas Dan Seleksi Proses Pabrik Kimia Pembuatan Karbon Aktif Dari Ampas Tebu, *Jurnal Teknologi Separasi*, Vol. 10, No. 2, Pp. 441–447. Doi: 10.33795/Distilat.V10i2.5060.
- D. I. Safitri, N. Hendrawati, And R. Ramadhana, (2024). Pemanfaatan Tongkol Jagung Dalam Pembuatan Karbon Aktif Dengan Aktivator Naoh Dan Na₂CO₃, Vol. 10, No. 9, Pp. 113–121.
- D. P. F. Fajri And A. Takwanto, (2024). Proses Aktivasi Arang Dari Tempurung Kelapa Menggunakan Aktivasi Fisika Dengan Microwave Dan Variasi Waktu, " *Jurnal Teknologi Separasi*, Vol. 10, No. 2, Pp. 476–484.
- Diharyo, Salampak, Z. Damanik, And S. Gumiri, (2020). Pengaruh Lama Aktivasi Dengan H₃PO₄ Dan Ukuran Butir Arang Cangkang Kelapa Sawit, Vol. 5.
- H. Kurniawan, N. Salsabila, And R. A. Putra, (2024). Studi Eksperimental Karbon Aktif Dari Serat Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Berat Pb(II) Dan Cd(II), *Jurnal Teknologi Lingkungan Berkelanjutan*, Vol. 7, No. 1, Pp. 21–32. Doi: 10.31091/Jtlb.7.1.2024.021-032.
- K. D. Artika, I. Musthofa, H. Isworo, A. A. B. Persada, M. Y. Andhika, And D. R. Pamuji, (2024). Pengaruh Penggunaan Katalis Pada Elektrolisis Air Gambut Dalam Menghasilkan Gas Hidrogen, *Jurnal Inovasi Teknologi Manufaktur, Energi Dan Otomotif*, Vol. 2, No. 2, Pp. 130–137.
- M. Destanti, N. Sari, F. Annisa, And T. A. Fadlly, (2025). Adsorpsi Zat Organik Limbah Laundry Menggunakan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Singkong (*Manihot Esculenta Crantz*), Vol. 9, No. 2, Pp. 136–145.
- Meiliyadi, L. A. D., Rahman, M. Z., Arizona, K., & Wahyudi, M. (2025). Utilization of hematite nanomaterial based on Geres river sand magnetic mineral to improve water quality. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 14(1), 121-130.
- Febriana, N., Meiliyadi, L. A. D., & Arizona, K. (2026). The effect of variations in activator concentration and activation time on the quality of activated carbon based on banana stems. *Journal online of physics*, 11(2), 91-103.
- R. R. Sahania, Y. Utubira, And J. B. Manuhutu, (2024). Efisiensi Dan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Dari Kulit Jagung Untuk Menurunkan Kadar Logam Fe, *Journal Of Chemistry Education (Mjoc)*, Vol. 14, No. 1, Pp. 60–69. Doi: 10.30598/Mjocvol14iss1pp60-69.
- R. Suastika, Masthura, And R. Sirait, (2023). Pengaruh Suhu Aktivasi Fisika Terhadap Uji Mikrostruktur Karbon Aktif Mangrove, *Jurnal Pendidikan Guru Madrasah Ibtidiyah*, Vol. 6, No. 2, Pp. 262–271.
- S. Fatimah, (2021). Arang Aktif Gambut Sebagai Filter Logam Berat Mercury, *Jurnal Ilmiah Sains*, Vol. 21, No. 1, Pp. 63–72.
- Si Putu Gede Gunawan Tista, I Gisti Ngurah Nitya Santhiarsa, K. Astawa, And Komang Metty Trisna Negara I Gusti Ngurah Putu Tenaya, (2024). Pembangkitan Tegangan Menggunakan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Dengan Elektrolit Air, *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 15, No. 2, Pp. 741–755. Doi: 10.21776/Jrm.Vi5i2.1520.
- Sumardona, Nurjannah, Sarlinda, Epiyana, And Sarnianti, (2023). Pemanfaatan Sabut Kelapa Media Tanam Di Desa Waha Kec.Wangi-Wangi.Kab Wakatobi, *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, Vol. 2, No. 1, Pp. 41–47. Doi: 10.31332/Insaniyah.V2i1.6844.
- Y. Rahmawati, H. Saputra, And Dan K. D. Rahayu, (2024). Evaluasi Standar Mutu Karbon Aktif Dari Limbah Sabut Kelapa Mengacu Pada Sni 06-3730-1995, *Jurnal Standardisasi Dan Inovasi Material*, Vol. 5, No. 1, Pp. 55–66. Doi: 10.37456/Jsim.5.1.2024.055-066.

Author (s):

* Laelatin Ningsih (Corresponding Author)
Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan,
Universitas Islam Negeri Mataram,

Jl. Gajah Mada No. 100, Mataram 83116, Indonesia
Email: 220108009.mhs@uinmataram.ac.id

Nur Khasanah
Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan,
Universitas Islam Negeri Mataram,
Jl. Gajah Mada No. 100, Mataram 83116, Indonesia
Email: nurkhasanah@uinmataram.ac.id

Muh. Wahyudi
Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan,
Universitas Islam Negeri Mataram,
Jl. Gajah Mada No. 100, Mataram 83116, Indonesia
Email: muhwahyudi@uinmataram.ac.id

