

Sintesis Karbon Aktif Sabut Pinang Lokal (*Areca catechu*) Sebagai Adsorben *Ciprofloxacin*

Angelina Arselia Sengkey¹, Henry Fonda Aritonang^{1*}, Audy Denny Wuntu¹

¹Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

*Email korespondensi: henryaritonang@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Kontaminasi *ciprofloxacin* (CIP) di lingkungan perairan akibat limbah farmasi dan penggunaan pada hewan dan manusia menimbulkan risiko resistensi antimikroba dan degradasi ekosistem. Penelitian ini bertujuan untuk menyintesis karbon aktif dari sabut pinang lokal (*Areca catechu*) sebagai adsorben CIP. Proses sintesis dilakukan melalui tahapan karbonisasi pada suhu 200 °C, 300 °C, dan 400 °C, serta aktivasi kimia menggunakan H₂SO₄. Karakterisasi material dilakukan menggunakan XRD untuk mengetahui ukuran kristalit, FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi, dan SEM-EDX untuk melihat morfologi serta komposisi unsur. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa ukuran kristalit KASP (400 °C) adalah 0,45 nm, dengan morfologi permukaan berpori yang tidak teratur, serta terdapat gugus fungsi O–H, C–H, C=C, C=O, dan C–O yang mendukung proses adsorpsi. Uji adsorpsi (CIP) dilakukan dengan memvariasikan waktu kontak, pH, dan konsentrasi. Hasil terbaik diperoleh pada waktu kontak 120 menit dengan efisiensi adsorpsi mencapai 92,49%, pada pH 7 sebesar 92,95%, dan pada konsentrasi 75 ppm sebesar 94,60% dengan massa adsorben 0,04 gram. Model isoterm adsorpsi menunjukkan bahwa proses adsorpsi mengikuti model Freundlich dengan nilai R² tertinggi pada KSP 400 °C sebesar 0,9741 dan KASP 400 °C sebesar 0,9187, yang menunjukkan bahwa adsorpsi berlangsung secara multilayer pada permukaan yang heterogen. Penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari sabut pinang lokal, khususnya pada suhu aktivasi 400 °C, berpotensi tinggi sebagai adsorben untuk CIP.

Kata Kunci: ciprofloxacin, sabut pinang lokal, karbon aktif, adsorpsi

ABSTRACT

Ciprofloxacin (CIP) contamination in aquatic environments due to pharmaceutical waste poses a risk of antimicrobial resistance and ecosystem degradation. This study aimed to synthesize activated carbon from local areca nut (*Areca catechu*) husk as a CIP adsorbent. The synthesis process involved carbonization at temperatures of 200 °C, 300 °C, and 400 °C, followed by chemical activation using H₂SO₄. The resulting materials were characterized using X-Ray Diffraction (XRD) to determine crystallite size, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) to identify functional groups, and Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) to analyze surface morphology and elemental composition. The XRD results showed that the crystallite size of activated carbon at 400 °C (KASP 400 °C) was 0.377 nm. FTIR analysis confirmed the presence of functional groups such as O–H, C–H, C=C, C=O, and C–O, which contribute to the adsorption process. SEM analysis revealed the formation of irregular pores on the carbon surface. Adsorption tests for ciprofloxacin were carried out by varying contact time, pH, and concentration. The optimum conditions were found at 120 minutes of contact time with an adsorption efficiency of 92.49%, at pH 7 with 92.95%, and at a concentration of 75 ppm with 94.60%, using 0.04 grams of adsorbent. The adsorption data fitted best with the Freundlich isotherm model, with the highest R² value of 0.9741 for KSP 400 °C and 0.8835 for KASP 400 °C, indicating multilayer adsorption on a heterogeneous surface. These results suggest that activated carbon derived from areca nut husk, particularly at 400 °C, is a promising adsorbent for ciprofloxacin removal in water treatment applications.

Keywords: ciprofloxacin, areca catechu, activated carbon, adsorption

PENDAHULUAN

Penggunaan antibiotik, termasuk *Ciprofloxacin* (CIP) dari golongan *fluoroquinolone*, meningkat seiring dengan kesadaran akan kesehatan. Namun, keberadaan antibiotik di lingkungan perairan, terutama dari limbah industri farmasi dan penggunaan pada hewan dan manusia, menjadi masalah serius (Dewangg., 2022). Sekitar 30–90% dosis antibiotik tidak terurai dalam tubuh dan diekskresikan dalam bentuk aktif (Mania dkk., 2016). Antibiotik sulit dihilangkan melalui metode

pengolahan limbah umum, yang dapat menyebabkan resistensi bakteri dan dampak ekotoksikologi (Azriouil dkk., 2022; Herrera-Hidalgo dkk., 2020).

CIP dapat mengakibatkan kematian flora dan fauna akuatik serta merusak rantai makanan (Rusch dkk., 2019). Meskipun konsentrasinya rendah, efek kumulatifnya dapat merusak ekosistem dan membahayakan kesehatan manusia (Harrabi dkk., 2018; Lu dkk., 2018). Oleh karena itu, diperlukan metode untuk mengolah air terkontaminasi, salah satunya adalah adsorpsi menggunakan karbon aktif.

Karbon aktif, yang memiliki luas permukaan besar dan sifat berpori, merupakan adsorben efisien untuk menyerap zat terlarut dalam air (Kurnia, 2024). Aktivasi karbon dapat dilakukan dengan pemanasan atau penambahan larutan kimia, dengan aktivasi asam kuat seperti H_2SO_4 yang banyak digunakan (Masriatini & Fatimura, 2019). Sabut pinang lokal (*Areca catechu*), yang kaya akan lignoselulosa, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif untuk mengadsorpsi limbah cair (Sitanggang dkk., 2017).

Meskipun sabut pinang lokal telah digunakan sebagai adsorben logam berat dan zat warna (Sitanggang dkk., 2017; Batu dkk., 2017; Fitriansyah dkk., 2021; Eksan, 2024), penelitian mengenai penggunaannya untuk mengadsorpsi CIP masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi karbon aktif dari sabut pinang lokal sebagai adsorben efektif untuk CIP, sehingga dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan yaitu buah pinang lokal yang diperoleh dari Kleak, Kecamatan Malalayang, Kota Manado, akuades, aluminium foil, asam klorida (HCl), asam sulfat (H_2SO_4), *Ciprofloxacin* (CIP), kertas saring, natrium hidroksida (NaOH). Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1800), SEM-EDX (FEI type Inspect-S50), FTIR (Shimadzu IR Prestige 21), XRD (PANalytical X'Pert PRO).

Preparasi dan Karbonisasi Sabut Pinang Lokal

Sabut pinang dicuci, dikeringkan ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5 jam), dipotong, dihaluskan dengan mesin penggiling, dan diayak (200 mesh). Serbuk dikarbonisasi dalam tanur pada $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam untuk menghilangkan komponen volatil dan meningkatkan kandungan karbon.

Aktivasi Karbon Sabut Pinang Lokal

Karbon hasil karbonisasi (5 gram) diaktivasi dengan 30 mL H_2SO_4 10% selama 12 jam, dipanaskan ($110\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 jam), disaring, dan dicuci hingga pH netral. Residu dikeringkan ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 3 jam), kemudian ditanur pada $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam. Karbon aktif dicuci dengan 10 mL HCl 0,1 M, dibilas hingga netral, dan dikeringkan ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 3 jam). Karbon aktif yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan FT-IR, SEM-EDX, dan XRD.

Pengujian Adsorpsi Ciprofloxacin

Pembuatan Larutan Standar Ciprofloxacin (CIP)

Larutan induk CIP 200 ppm dibuat dengan melarutkan 0,2 gram CIP dalam 1000 mL akuades. Larutan standar (1, 2, 3, 4, 5 ppm) dibuat dari pengenceran larutan induk dan diukur absorbansinya pada 278 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk kurva kalibrasi.

Penentuan Waktu Optimum

0,04 gram karbon aktif ditambahkan ke 15 mL larutan CIP 25 ppm dan diaduk dengan variasi waktu (0, 30, 60, 90, 120, 150 menit). Campuran disentrifugasi dan disaring, lalu absorbansi supernatan diukur pada 278 nm.

Penentuan pH Optimum

0,04 gram karbon aktif ditambahkan ke 15 mL larutan CIP 25 ppm dan diaduk pada waktu kontak optimum dengan variasi pH (4, 7, 10) menggunakan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Campuran disentrifugasi dan disaring, lalu absorbansi supernatan diukur pada 278 nm.

Penentuan Konsentrasi Optimum

0,04 gram karbon aktif ditambahkan ke 15 mL larutan CIP dengan variasi konsentrasi (50, 75, 100, 125, 150 ppm) pada waktu kontak dan pH optimum. Campuran disentrifugasi dan disaring, lalu absorbansi supernatan diukur pada 278 nm.

Efisiensi adsorpsi dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Serapan (\%)} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

dan konsentrasi CIP yang terserap oleh adsorben juga dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m}$$

dengan Q_e adalah jumlah adsorbat terserap per massa padatan pada kesetimbangan (mg/g), C_o adalah konsentrasi sebelum teradsorpsi (mg/L), C_e adalah konsentrasi setelah teradsorpsi (mg/L), m adalah massa karbon aktif (g), dan V adalah volume larutan pada percobaan (L).

HASIL DAN PEMBAHASAN**Karbonisasi sabut pinang lokal (*Areca catechu*)**

Serbuk sabut pinang yang sudah memiliki partikel seragam dikarbonisasi dengan variasi suhu 200 °C, 300 °C, 400 °C. Ini bertujuan untuk menghasilkan karbon melalui proses pemanasan tanpa oksigen (sedikit oksigen).

Tabel 1. Rendemen sabut pinang lokal yang dikarbonisasi

Suhu (°C)	Sebelum dikarbonisasi (g)	Setelah dikarbonisasi (g)	Rendemen (%)
200	50	39,98	79,96
300	50	23,51	47,02
400	50	17,54	35,08

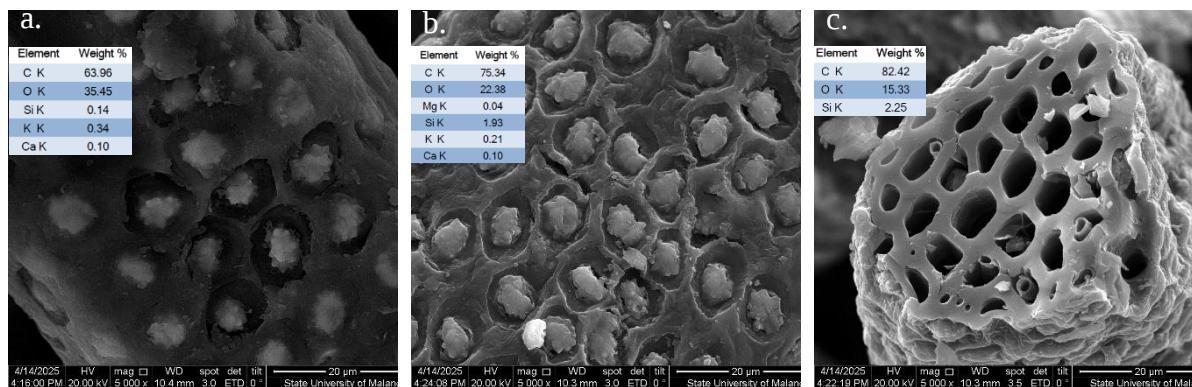
Tabel 1 menunjukkan adanya pengurangan massa dengan meningkatnya suhu karbonisasi. Ini disebabkan karena semakin berkurangnya kandungan air dan zat-zat volatil yang ada pada sabut pinang lokal. Selain itu, lignoselulosa mengalami pemutusan ikatan oleh karena karbonisasi suhu tinggi membentuk cincin-cincin karbon dan senyawa-senyawa organik lebih sederhana (Ridhuan dkk., 2019). Aktivasi sabut pinang lokal (*Areca catechu*)

Aktivasi dilakukan untuk menghilangkan pengotor, meningkatkan luas permukaan dan fungsi kerja dari bahan atau zat yang dihasilkan. Aktivasi karbon dilakukan dengan menggunakan asam kuat H_2SO_4 , dikarenakan H_2SO_4 lebih mudah didapatkan dan memiliki sifat kimia yang lebih stabil daripada larutan pengaktivasi yang lain. Selain itu H_2SO_4 juga memiliki ion H^+ yang mampu menggantikan posisi ion-ion alkali tanah yang menutupi pori-pori permukaan karbon. Adapun rendemen karbon sebelum dan sesudah aktivasi tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Rendemen sabut pinang lokal yang diaktivasi

Suhu (°C)	Sebelum diaktivasi (g)	Sesudah diaktivasi (g)	Rendemen (%)
200	15	4,32	28,77
300	15	7,51	50,04
400	15	10,31	68,72

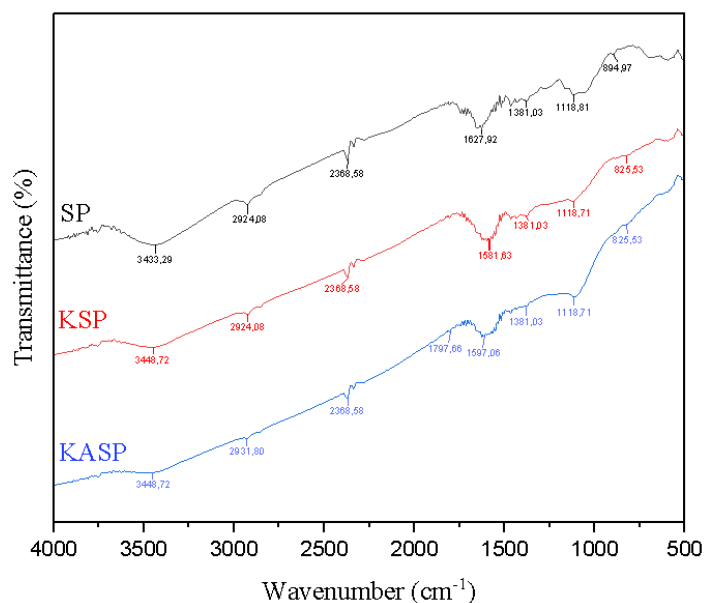
Analisis Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)



Gambar 1. Morfologi SEM perbesaran 5000x a). SP, b). KSP, c). KASP

Analisis SEM (Gambar 1) menunjukkan bahwa proses karbonisasi dan aktivasi berhasil menciptakan struktur berpori yang signifikan pada karbon aktif (KASP) dibandingkan dengan sabut pinang lokal (SP) dan karbon sabut pinang lokal (KSP). Morfologi KASP (400 °C) menunjukkan permukaan berpori tidak teratur yang mendukung adsorpsi. Analisis EDX mengkonfirmasi bahwa karbon (C) dan oksigen (O) adalah unsur utama, dengan peningkatan kadar C dan penurunan O setelah karbonisasi dan aktivasi, menunjukkan degradasi gugus polar.

Analisis Fourier Transform-Infrared (FT-IR)



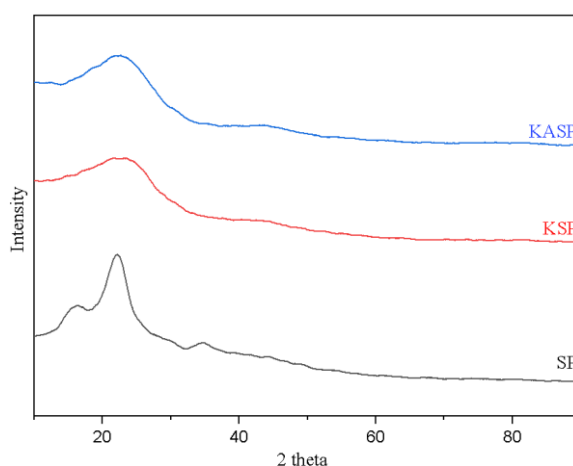
Gambar 2. Spektrum FTIR a). SP, b). KSP, c). KASP

Spektrum FTIR (Gambar 2) dari sabut pinang lokal (SP), karbon sabut pinang lokal (KSP), dan karbon aktif sabut pinang lokal (KASP) secara jelas menunjukkan keberadaan gugus fungsi utama yang berperan penting dalam mendukung kemampuan adsorpsi material. Pertama, pita serapan kuat yang teramati pada kisaran 3433 hingga 3448 sentimeter pangkat minus satu (cm^{-1}) mengindikasikan adanya gugus hidroksil (O-H). Gugus ini sangat penting karena dapat berfungsi sebagai donor ikatan hidrogen, yang merupakan mekanisme kunci dalam proses adsorpsi (Batu dkk., 2022).

Selanjutnya, serapan pada 2924 hingga 2931 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus C-H dari senyawa alifatik. Gugus ini umumnya ditemukan dalam struktur selulosa dan hemiselulosa, yang merupakan komponen utama bahan lignoselulosa (Zhao dkk., 2018). Menariknya, pada bilangan gelombang 1797 cm^{-1} , muncul gugus fungsi baru C=O yang spesifik untuk aldehid. Kemunculan gugus ini terjadi setelah proses aktivasi menggunakan asam sulfat (H_2SO_4), menunjukkan perubahan kimia pada material. Selain itu, serapan pada 1597 hingga 1627 cm^{-1} mengindikasikan adanya ikatan C=C aromatik, yang juga merupakan komponen penting penyusun karbon aktif (Maulina & Iriansyah, 2018).

Pita serapan lain yang teridentifikasi adalah pada 1381 cm^{-1} , yang mengindikasikan keberadaan gugus metil (CH_3) dan metilen (CH_2). Sementara itu, pita pada 1118 cm^{-1} dikaitkan dengan vibrasi ikatan C-O dari gugus ester atau eter. Kedua jenis gugus ini masih bertahan setelah proses karbonisasi dan aktivasi, menandakan bahwa struktur dasar lignoselulosa tetap memberikan kontribusi terhadap sifat permukaan adsorben. Terakhir, serapan kuat yang diamati pada 825 hingga 894 cm^{-1} dikaitkan dengan vibrasi aromatik C-H (*out-of-plane bending*). Kehadiran serapan ini menunjukkan terbentuknya struktur aromatik terkonjugasi sebagai hasil dari proses aktivasi (Batu dkk., 2022; Utami & Novallyan, 2019).

Analisis X-Ray Diffraction (XRD)



Gambar 3. Pola difraksi a). SP, b). KSP, c). KASP

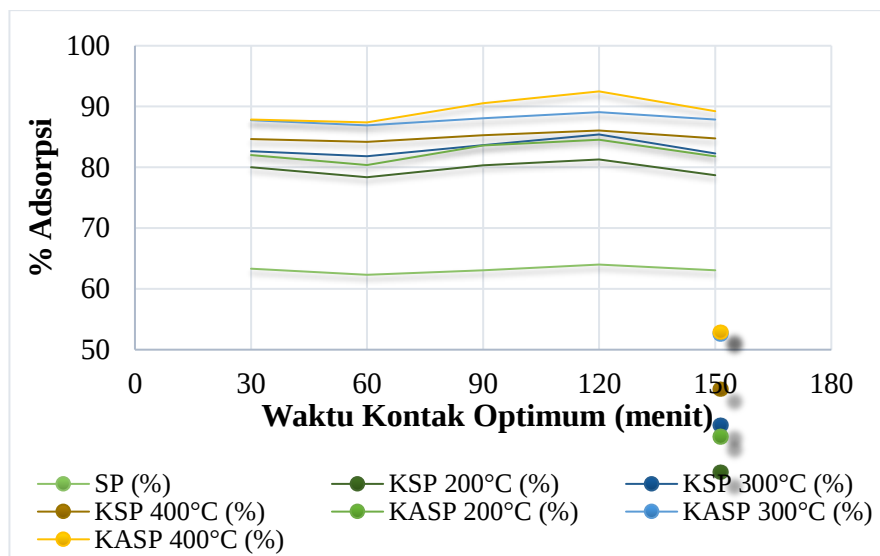
Hasil XRD (Gambar 3) menunjukkan bahwa SP memiliki struktur yang lebih kristalin, dengan puncak pada $2\theta = 22^\circ$ yang merupakan karakteristik selulosa. Setelah karbonisasi (KSP) dan aktivasi (KASP), puncak difraksi berkurang intensitasnya dan menjadi lebih lebar, menunjukkan perubahan struktur menjadi lebih amorf. Ukuran kristalit menurun dari SP (0,92 nm) ke KSP (0,48 nm) dan KASP (0,45 nm), dengan KASP 400 $^\circ\text{C}$ memiliki ukuran kristalit terkecil, yang berkorelasi dengan peningkatan luas permukaan dan efisiensi adsorpsi.

Studi Adsorpsi Ciprofloxacin (CIP) (Sadia dkk., 2022)

Penentuan Waktu Kontak Optimum

Peningkatan waktu kontak (Gambar 4) secara umum meningkatkan efisiensi adsorpsi, dengan waktu optimum tercapai pada 120 menit. Sabut pinang lokal (SP) menunjukkan efisiensi terendah (64%), karena adsorpsi hanya terjadi pada antarmuka lignoselulosa. Karbon sabut pinang lokal (KSP) dan karbon aktif sabut pinang lokal (KASP) menunjukkan peningkatan efisiensi seiring kenaikan suhu karbonisasi. KASP secara konsisten memiliki persentase adsorpsi lebih tinggi dibandingkan KSP pada suhu yang sama. KASP yang dikarbonisasi pada 400 $^\circ\text{C}$ mencapai efisiensi tertinggi (92,49%), disebabkan oleh pori-pori yang lebih terbuka dan ukuran kristalit yang lebih kecil, memungkinkan

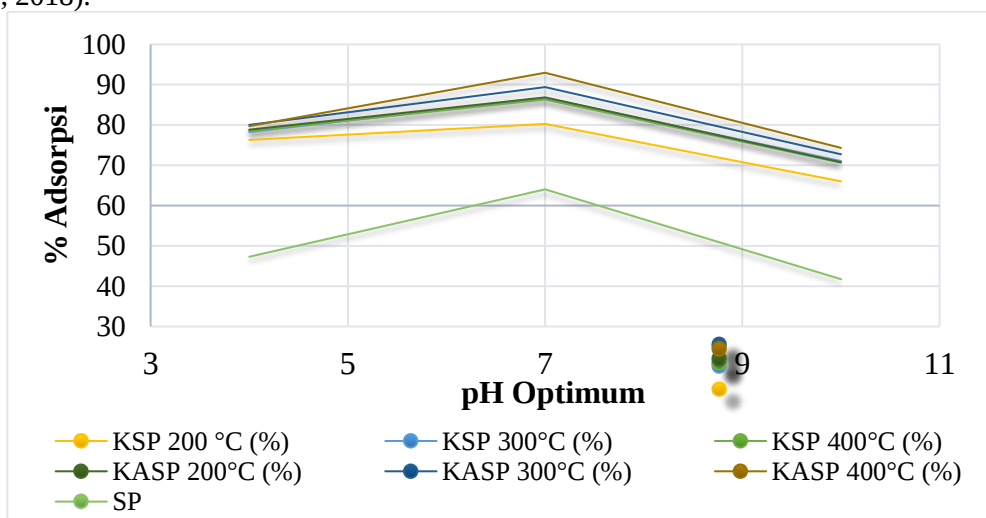
interaksi lebih baik dengan analit CIP. Hasil ini konsisten dengan penelitian Ernawati *et al.* (2021) yang menunjukkan bahwa suhu karbonisasi yang lebih tinggi memperbaiki struktur pori dan luas permukaan. Penurunan efisiensi adsorpsi pada menit ke-150 diduga karena desorpsi setelah tercapainya kondisi setimbang, di mana penambahan waktu kontak tidak lagi meningkatkan penyerapan dan dapat menyebabkan pelepasan adsorbat akibat kejenuhan permukaan (Wijayanti dkk., 2019; Souhuat dkk., 2024; Aritonang dkk., 2024).



Gambar 4. Persen adsorpsi waktu optimum CIP menggunakan adsorben SP, KSP (200 °C, 300 °C, 400 °C) dan KASP (200 °C , 300 °C, 400 °C)

Penentuan pH Optimum

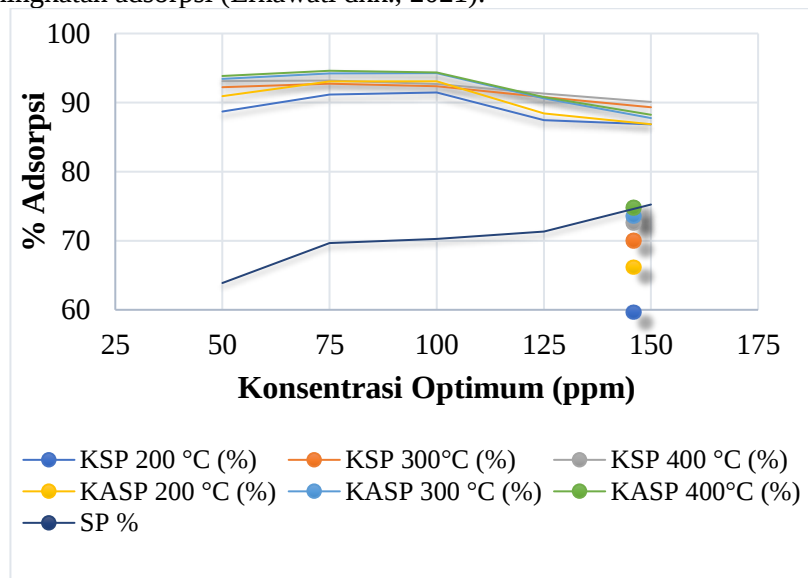
pH optimum (Gambar 5) untuk adsorpsi Ciprofloxacin (CIP) oleh KSP dan KASP adalah pH 7, di mana interaksi elektrostatis maksimal dan kompetisi ion minimal. KASP menunjukkan efisiensi adsorpsi lebih tinggi dari KSP di semua suhu, dengan KASP 400°C mencapai 92,95%, menunjukkan efektivitas aktivasi suhu tinggi. SP memiliki efisiensi terendah karena belum dikarbonisasi/aktivasi, pada pH asam (pH 4), efisiensi menurun akibat tolakan elektrostatis (Sun dkk., 2020), sementara pada pH basa (pH 10), penurunan terjadi karena kompetisi ion OH^- dan peningkatan muatan negatif adsorben (Lu dkk., 2018).



Gambar 5. Persen adsorpsi pH optimum CIP menggunakan adsorben SP, KSP (200 °C, 300 °C, 400 °C) dan KASP (200 °C , 300 °C, 400 °C)

Penentuan Konsentrasi Optimum

Konsentrasi optimum (Gambar 6) untuk adsorpsi CIP pada berbagai adsorben berkisar antara 75 ppm hingga 100 ppm. KASP 400°C menunjukkan persentase adsorpsi tertinggi, mencapai 94,60% pada 75 ppm dan 94,36% pada 100 ppm. KSP 400°C juga menunjukkan kapasitas adsorpsi tinggi sebesar 93,19% pada 75 ppm. Peningkatan adsorpsi pada rentang konsentrasi ini disebabkan oleh ketersediaan situs aktif yang belum jenuh pada permukaan adsorben, memungkinkan interaksi maksimal dengan molekul CIP (Nirmala dkk., 2017). Efisiensi adsorpsi SP jauh lebih rendah karena tidak adanya karbonisasi, yang menghasilkan struktur lignoselulosa padat dengan pori dan situs aktif terbatas. Penurunan persentase adsorpsi pada konsentrasi 125 ppm dan 150 ppm terjadi karena kejenuhan situs aktif pada permukaan karbon; setelah semua situs terisi, peningkatan konsentrasi tidak lagi berbanding lurus dengan peningkatan adsorpsi (Ernawati dkk., 2021).



Gambar 6. Persen adsorpsi konsentrasi optimum CIP menggunakan adsorben KSP (200 °C, 300 °C, 400 °C) dan KASP (200 °C, 300 °C, 400 °C)

Analisis Isoterm Adsorpsi

Tabel 3. Data hasil perhitungan isoterm adsorpsi oleh SP, KSP (200 °C, 300 °C, 400 °C) dan KASP (200 °C, 300 °C, 400 °C)

Sampel (°C)	Langmuir			Freundlich		
	KL (L/mg)	Q _{max} (mg/g)	R ² (C _e vs C _e /Q _e)	K _f (L/mg)	1/n	R ² (log C _e vs log Q _e)
SP	0,00071	-37,45	0,808	0,114	1,6088	0,9719
KSP 200	0,0394	112,36	0,6089	5,957	0,7194	0,8539
KSP 300	0,0692	149,25	0,7885	10,600	0,7921	0,9594
KSP 400	0,0774	144,93	0,8823	11,366	0,782	0,9741
KASP 200	0,1182	96,15	0,7634	12,482	0,6379	0,8366
KASP 300	0,1796	84,75	0,8725	14,993	0,5928	0,9049
KASP 400	0,1913	84,03	0,8835	15,499	0,5865	0,9187

Model isoterm Freundlich lebih sesuai untuk menggambarkan proses adsorpsi CIP oleh KSP dan KASP, ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R²) yang lebih tinggi (tertinggi pada KSP 400 °C sebesar 0,9741 dan KASP 400 °C sebesar 0,9187). Hal ini mengindikasikan bahwa adsorpsi berlangsung secara multilayer pada permukaan yang heterogen. Kapasitas adsorpsi maksimum (Q_{max}) tertinggi pada model Langmuir adalah 149,25 mg/g untuk KSP 300 °C, sedangkan konstanta Freundlich

(Kf) tertinggi adalah 15,499 L/mg untuk KASP 400 °C. Nilai 1/n yang semakin kecil pada KASP menunjukkan sifat permukaan yang semakin heterogen dan proses adsorpsi yang lebih menguntungkan.

Penentuan Uji Kandungan Lignoselulosa

Penentuan kandungan lignoselulosa (Tabel 4) menunjukkan bahwa sabut pinang lokal mengandung hemiselulosa ($29,89 \pm 0,27\%$), selulosa ($21,19 \pm 0,28\%$), dan lignin ($9,08 \pm 0,14\%$). Kadar hemiselulosa yang tinggi menunjukkan potensi baik untuk diolah menjadi karbon aktif karena mudah terdegradasi. Selulosa sebagai sumber karbon utama, dan lignin memberikan ketahanan struktural (Wiradipta, 2017).

Tabel 4. Kandungan lignoselulosa sabut pinang lokal

Kandungan	Kadar
Hemiselulosa	$29,89 \pm 0,27$
Selulosa	$21,19 \pm 0,28$
Lignin	$9,08 \pm 0,14$

KESIMPULAN

Ukuran krsitalit kristalit SP sebesar 0,92 nm, KSP sebesar 0,48 nm dan KASP sebesar 0,45 nm.. Selain itu terdapat gugus-gugus fungsi yakni gugus O-H, C-H, C=C, C=O, dan C-O. Morfologi SP membentuk lembaran permukaan lebih padat dan halus tanpa banyak rongga terbuka. Sedangkan pada KSP 400°C, KASP 400°C membentuk pori-pori yang besar dan banyak yang tersebar di permukaan dengan pola yang tidak beraturan. Pengujian menunjukkan bahwa karbon aktif sabut pinang lokal efektif mengadsorpsi *ciprofloxacin* (CIP) dengan penjerapan terbaik pada karbon aktif suhu 400°C dengan waktu kontak optimum 120 menit pada pH 7 dengan konsentrasi optimum pada konsentrasi 75 ppm dengan efisiensi adsorpsi mencapai 94,60%.

DAFTAR PUSTAKA

- Aritonang, H. F., Batawi, L., & Wuntu, A. D. (2024, June). Effect of calcination temperature on size and adsorption properties of magnetite nanoparticles synthesized from iron sand as adsorbent for methylene blue. *In AIP Conference Proceedings*, 3132(1).
- Azriouil, M., Aghris, S., Matrouf, M., Loudiki, A., Laghrib, F., Farahi, A., Bakasse, M., Saqrane, S., Lahrich, S., and El Mhammedi, M. A. 2022. Efficacy of Clay Materials for Ciprofloxacin Antibiotic Analysis in Urine and Pharmaceutical Products. *Materials Chemistry and Physics*, 279, 1–10.
- Batu, M. S., Naes, E., dan Kolo, M. M. 2022. Pembuatan karbon aktif dari limbah sabut pinang lokal asal pulau timor sebagai biosorben logam ca dan mg dalam air tanah. *Jurnal Integrasi Proses*, 11(1), 21-25.
- Dewangga, A. R. V. S. 2022. Uji Resistensi Bakteri Pada Urin Penderita ISK Terhadap Antibiotik Levofloxacin Dan Ciprofloxacin Di Laboratorium Klinik Prodia Makassar. *Pharmacon*.11, 1591–1596.
- Eksan, D.M. 2024.Sintesis Karbon Aktif dari Sabut pinang Hutan (pinanga kuhlii) Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue [Skripsi]. FMIPA UNSRAT, Manado
- Ernawati, E., Prasetyo, E., & Hidayat, T. 2021. The effect of contact time on the adsorption of dyes using biochar. *Journal of Environmental Management*, 290(2021), 112-120.
- Fitriansyah, A., Amir, H., dan Elvinawati, E. 2021. Karakterisasi adsorben karbon aktif dari sabut pinang (Areca catechu) terhadap kapasitas adsorpsi zat warna indigosol blue 04-B. *Alotrop*, 5(1), 42-54.

- Harrabi, M., Della Giustina, S. V., Aloulou, F., Rodriguez-Mozaz, S., Barceló, D., & Elleuch, B. 2018. Analysis of multiclass antibiotic residues in urban wastewater in Tunisia. *Environmental nanotechnology, monitoring & management*, 10(2018), 163-170.
- Herrera-Hidalgo, L., Gil-Navarro, M. V., Dilly Penchala, S., López-Cortes, L. E., De Alarcón, A., Luque-Márquez, R., López-Cortes, L. F., and GutiérrezValencia, A. 2020. Ceftriaxone Pharmacokinetics By A Sensitive and Simple LC–MS/MS Method: Development and Application. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 189 1–7.
- Kurnia, K. 2024. Adsorpsi zat warna titan kuning menggunakan karbon aktif dari tempurung kenari [Doctoral dissertation] Universitas Hasanuddin.
- Manaia, C. M., Macedo, G., Fatta-Kassinos, D., & Nunes, O. C. 2016. Antibiotic resistance in urban aquatic environments: can it be controlled. *Applied microbiology and biotechnology*, 100, 1543-1557
- Masriatini, R., & Fatimura, M. 2019. Penggunaan arang tempurung kelapa yang diaktifkan untuk menyerap zat warna limbah cair industri kain tradisional. *Jurnal Redoks*, 4(2), 37-40.
- Maulina, S. And M. Iriansyah. Characteristics Of Activated Carbon Resulted From Pyrolysis Of The Oil Palm Fronds Powder. In *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*. 309, 012072
- Nirmala, N., Tiwow, V. M., & Suherman, S. (2017). Adsorpsi Ion Tembaga (Cu) Dan Ion Besi (Fe) Dengan Menggunakan Arang Hayati (Biocharcoal) Kulit Pisang Raja (*Musa sapientum*). *Jurnal Akademi Kimia*, 4(4), 189-196.
- Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. 2019. Proses pembakaran pirolisis dengan jenis biomassa dan karakteristik asap cair yang dihasilkan. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 81, 69-78
- Rusch, M., Spielmeyer, A., Zorn, H., & Hamscher, G. 2019. Degradation and transformation of fluoroquinolones by microorganisms with special emphasis on ciprofloxacin. *Applied microbiology and biotechnology*, 103(17), 6933- 6948.
- Sadia, M., Ahmad, I., Aziz, S., Khan, R., Zahoor, M., Ullah, R., & Ali, E. A. 2024. Carbon-Supported Nanocomposite Synthesis, Characterization, and Application as an Efficient Adsorbent for Ciprofloxacin and Amoxicillin. *ACS omega*. 9(6), 6815-6827.
- Sitanggang, T., Anis Shofiyani dan Intan Syahbanu. 2017. Karakterisasi Adsorpsi Pb(II) Pada Karbon Aktif Dari Sabut pinang lokal (*Areca catechu* L) Teraktivasi H₂SO₄. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 6(4), 49-55.
- Souhuat, A., Aritonang, H. F., & Koleangan, H. S. J. Magnetically Active GO-Fe₃O₄ Nanocomposite for Enhanced Rhodamine B Removal Efficiency. *Indonesian Journal of Chemistry*, 24(6), 1784-1796
- Sun, Y., Zhang, Y., & Liu, J. 2020. The impact of pyrolysis temperature on the structural properties of biochar: A FTIR study. *Waste Management*, 102(2020), 1-10.
- Utami, W., & Novallyan, D. 2019. Potensi Arang Aktif dari Limbah Sabut Pinang (*Areca catechu* L) Provinsi Jambi sebagai Biosorben. *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 2(1), 24-26.
- Wijayanti, I. E., Kurniawati, E. A., & Solfarina, S. 2019. Studi kinetika adsorpsi isotherm persamaan langmuir dan freundlich pada abu gosok sebagai adsorben. *EduChemia: Jurnal Kimia dan Pendidikan*, 4(2), 175-184.
- Wiradipta, I. D. G. A. 2017. Pembuatan plastik biodegradable berbahan dasar selulosa dari tongkol jagung. Lap. [Skripsi] Fak. Mat. dan Ilmu Pengetah. Alam, Institut teknologi sepuluh nopember. Surabaya.
- Zhao, Y., Liu, Y., & Chen, H. 2019. Effects of thermal and chemical activation on the structure and properties of biochar. *Bioresource Technology*, 291(2024), 121-130.