

Sintesis *Nanobiochar* Aktif Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Sebagai Adsorben Sianida Dari Limbah Tambang Emas Rakyat

Paulix Tuther¹, Henry F. Aritonang^{1*}, Audy D. Wuntu¹

¹Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi, Manado

*Email korespondensi:henryaritonang@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai sintesis *nanobiochar* dari eceng gondok pada suhu pirolisis 550°C. Sampel serbuk dan non aktivasi suhu 550°C (*nanobiochar*-550) maupun *nanobiochar* aktivasi basa NaOH (*nanobiochar*-550-AB) dari eceng gondok yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Hasil karakterisasi membuktikan terbentuknya *nanobiochar* dari eceng gondok. Kemudian, *nanobiochar* hasil sintesis dianalisis kemampuannya sebagai adsorben sianida. Berdasarkan hasil analisis menggunakan Spektrofotometer uv-vis menunjukkan bahwa *nanobiochar* dari eceng gondok mampu bertindak sebagai adsorben. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *nanobiochar*-550 mempunyai aktivitas absorpsi lebih besar dibandingkan *nanobiochar*-550-AB. Persentase adsorpsi ion sianida tertinggi untuk *nanobiochar*-550 yaitu waktu kontak 120 menit, dengan % adsorpsi sebesar : 93,0 % dan massa *nanobiochar* 0,1 gram. Sedangkan presentasi adsorpsi tertinggi untuk adsorben *nanobiochar*-550-AB juga berada pada menit ke-120 dengan persentase adsorpsi 89,0 %,

Kata Kunci: Eceng gondok, *nanobiochar*, adsorpsi, Sianida

ABSTRACT

Research has been conducted on the synthesis of nanobiochar from water hyacinth at a pyrolysis temperature of 550°C. Powder samples and non-activated samples at a temperature of 550°C (nanobiochar-550) as well as NaOH-activated nanobiochar (nanobiochar-550-AB) from water hyacinth were characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX), and Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The characterization results confirmed the formation of nanobiochar from water hyacinth. Subsequently, the synthesized nanobiochar was analyzed for its ability as a cyanide adsorbent. Based on the analysis results using a UV-Vis spectrophotometer, it was found that nanobiochar from water hyacinth is capable of acting as an adsorbent. The results showed that nanobiochar-550 has greater adsorption activity compared to nanobiochar-550-AB. The highest percentage of cyanide ion adsorption for nanobiochar-550 was at a contact time of 120 minutes, with an adsorption percentage of 93.0% and a nanobiochar mass of 0.1 grams. Meanwhile, the highest adsorption percentage for the nanobiochar-550-AB adsorbent was also at 120 minutes with an adsorption percentage of 89.0%.

Keywords: Water hyacinth, nanobiochar, adsorption, cyanide

PENDAHULUAN

Perkembangan industri di berbagai sektor seperti pertambangan, pengolahan logam, pelapisan logam mengakibatkan peningkatan limbah cair yang mengandung unsur berbahaya seperti sianida ke badan air. Namun, tanpa memperhatikan aspek keberlanjutan, dampak eksternal seperti pencemaran tanah dan air, kerusakan ekosistem serta beban kesehatan masyarakat dapat terganggu. Secara sosial, masyarakat yang berada di sekitar tambang, khususnya di Daerah Aliran Sungai, mengalami

penurunan kualitas hidup akibat terganggunya akses terhadap sumber daya air bersih yang berpotensi menyebabkan bencana ekologis dan dampak kesehatan jangka panjang (Prayitno *et al.*, 2023).

Sianida dikenal sebagai limbah yang memberikan dampak lingkungan dan keselamatan yang akan berakibat fatal pada makhluk hidup. Zat ini bekerja dengan mengganggu respirasi seluler, sehingga produksi adenosin trifosfat (ATP) yang berperan penting dalam penyediaan energi sel dapat terhenti. Akibatnya, sel tidak mampu memanfaatkan oksigen secara efektif, yang memicu kegagalan fungsi organ dalam waktu singkat. Penumpukan sianida di dalam tubuh dapat menimbulkan berbagai gangguan, seperti pusing, kejang, penurunan kesadaran, dan gangguan pada jantung. Jika tidak segera mendapatkan penanganan medis, kondisi ini dapat berujung pada kematian (Kulnides *et al.*, 2024). Umumnya sianida dapat ditemukan dalam berbagai senyawa seperti hidrogen sianida (HCN), kalium sianida (KCN), dan natrium sianida (NaCN). Senyawa sianida dapat berada dalam berbagai bentuk fisik, bergantung pada jenis senyawanya serta kondisi lingkungan. HCN berbentuk gas, tidak berwarna, sangat beracun dengan bau samar menyerupai almond pahit, sedangkan KCN dan NaCN biasanya ditemukan dalam bentuk padat, berupa serbuk kristal putih atau butiran (Dorooshi *et al.*, 2020).

Upaya penurunan kadar sianida perlu dilakukan. Beberapa metode yang digunakan antara lain: presipitasi kimia, pertukaran ion, elektrokoagulasi dan filtrasi membran. Namun demikian, kebanyakan metode itu memerlukan biaya yang mahal dan juga menghasilkan limbah berupa lumpur dalam jumlah banyak, serta memiliki batasan teknis ketika digunakan secara luas. Karena itu, diperlukan metode yang lebih efisien dan salah satu metode alternatif yang banyak dikembangkan adalah metode adsorpsi. Metode ini dianggap lebih baik karena selain efektif, teknik ini juga bisa memanfaatkan bahan alami sebagai adsorben yang murah dan mudah didapat (Rifai *et al.*, 2025; Souhuat *et al.*, 2024; Aritonang *et al.*, 2024; Pauner *et al.*, 2023; Aritonang, 2023). Salah satu material yang berpotensi sebagai adsorben limbah sianida adalah *biochar*.

Biochar secara luas dikenal sebagai adsorben yang bisa digunakan untuk menghilangkan berbagai jenis polutan dari tanah, air dan udara. Dalam pemanfaatannya *biochar* dapat disintesis dari berbagai jenis biomassa seperti pada penelitian Selvarajoo *et al.*, (2022) yang memanfaatkan kulit buah jeruk, batang jagung dan daun (jerami jagung) (Zhou *et al.*, (2024), tongkol jagung (Aritonang *et al.*, 2025), dan kulit dan biji durian (Huong *et al.*, (2025). Selain itu, eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki potensi tinggi karena tumbuhan ini mudah tumbuh dan banyak terdapat di lingkungan perairan, dan dapat berinteraksi langsung dengan senyawa pencemar seperti amonia, nitrat, fosfat, dan berbagai senyawa lainnya (Laia, 2025 ; Mahmood *et al.*, 2021).

Meskipun eceng gondok tersebar luas di berbagai daerah tetapi penelitian tentang subjek Eceng gondok sebagai adsorben masih belum banyak dilaporkan (Tolera *et al.*, 2025). Hingga kini, eceng gondok telah dimanfaatkan sebagai pakan ikan, pakan ternak, pupuk organik, bioenergi, bahan baku karboksimetil selulosa, kerajinan, dan biofilter limbah perikanan. Namun demikian, pengembangan produk turunan seperti *biochar* dan bioadsorben masih memerlukan penelitian lanjutan untuk pemanfaatan yang lebih spesifik (Nandiyanto *et al.*, 2023).

Peningkatan kemampuan adsorpsi suatu material perlu dilakukan yaitu dengan cara aktivasi. Umumnya, terdapat dua metode utama aktivasi, yaitu fisika dan kimia. Aktivasi secara kimia sering dipilih karena mampu menghasilkan luas permukaan yang cukup besar dan distribusi pori yang lebih baik dibanding aktivasi secara fisika pada kondisi tertentu. Penggunaan aktivator asam kuat, efektif dalam membuka pori serta menghilangkan sisa kotoran yang menghalangi struktur pori (Muhsinin dan Hidayat, 2025). Sementara itu, aktivasi kimia menggunakan basa kuat dapat membantu memperlebar pori dengan memecah struktur karbon karena dapat bertindak sebagai katalis untuk mendorong oksidasi karbon (Azhari *et al.*, 2025). Penelitian ini menggunakan eceng gondok yang disintesis menjadi *nanobiochar* melalui pirolisis dan diaktivasi menggunakan aktivator basa kuat NaOH untuk digunakan sebagai adsorben sianida dari limbah cair tambang emas rakyat.

BAHAN DAN METODE

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah water sampler, botol polietilen, wadah plastik, toples kaca, blender, *hot plate*, pipet skala, pipet volume, labu ukur, Erlenmeyer, corong kaca, gunting, cawan petri, cawan porselen, tabung kondenser, labu didih, tanur, ayakan ukuran partikel 70 mesh, *magnetic stirrer*, oven, desikator, batang pengaduk, sendok, timbangan digital, pH universal, neraca analitik, FTIR (prestige-21 Shimadzu), XRD (PANalytical X'pert PRO), SEM-EDX (FEI inspect-S50), Spektrofotometer UV-VIS (Agilent cary 60).

Preparasi Sampel

Eceng gondok dibuang bagian akarnya kemudian dibersihkan dan dicuci dengan air mengalir, lalu dipotong kecil-kecil kemudian dikering anginkan selama 6 hari. Daun dan batang yang telah kering kemudian dihaluskan dengan menggunakan blender, kemudian diayak dengan ayakan 70 mesh (Wulandari *et al.*, 2023). Serbuk hasil preparasi tersebut di karakterisasi menggunakan instrumen FT-IR, SEM-EDX, & XRD untuk mengetahui gugus fungsi dan karakteristik serbuk eceng gondok.

Sintesis *Nanobiochar* Eceng Gondok

Sebanyak 40,01 gram serbuk eceng gondok dimasukan ke dalam cawan porselen (ke dalam 4 cawan, masing-masing 10 gram) dipirolisis menggunakan tanur dengan suhu 550 °C selama 3 jam. Produk hasil pirolisis dinyatakan sebagai *nanobiochar-550*. Selanjutnya sebanyak 10 gr *nanobiochar* dimasukkan ke dalam Erlenmeyer ukuran 500 ml kemudian ditambah 100 ml NaOH 10%, larutan di *stirrer* selama 15 menit dan diamkan pada suhu ruangan selama 24 jam. Produk yang dihasilkan disaring menggunakan kertas saring Whatman 40 dan dicuci dengan akuades sampai pH netral dan produk di oven pada suhu 110 °C selama 12 jam. Produk yang diperoleh dinyatakan sebagai *nanobiochar-550-AB* (Fatimah *et al.*, 2023). Setelah proses sintesis maka *nanobiochar-550* dan *nanobiochar-550-AB* di karakterisasi menggunakan instrumen FT-IR, SEM-EDX, & XRD untuk mengetahui gugus fungsi dan karakteristik *nanobiochar*.

Uji Adsorpsi Sianida

Sebanyak 0,1 gram adsorben *nanobiochar* dimasukkan ke dalam Erlenmeyer ukuran 150 mL berisi 100 mL larutan limbah. Campuran diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan konstan selama 1 menit. Variasi waktu kontak ditetapkan: 10,20,30,60 dan 120 menit. Setelah waktu kontak tercapai, campuran disaring dengan kertas saring Whatman 40 dan kemudian larutannya dianalisis dengan spektrofotometer UV-VIS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi serbuk eceng gondok (*Eichornia crassipes*)

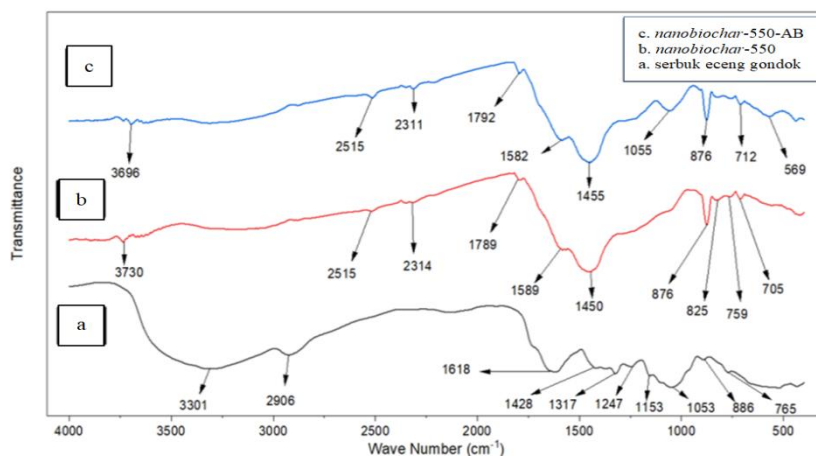
Preparasi sampel dimulai dengan mencuci batang dan daun eceng gondok. Selanjutnya dikeringanginkan selama 6 hari, kemudian dikeringkan lebih lanjut dalam oven selama 2 jam pada suhu 100°C untuk menghilangkan kandungan airnya. Serbuk yang dihasilkan diayak menggunakan ayakan 70 mesh yang bertujuan untuk menghasilkan serbuk dengan luas permukaan yang lebih besar.

Sintesis *nanobiochar* aktif eceng gondok (*Eichornia crassipes*)

Pembuatan *nanobiochar* dilakukan melalui metode pirolisis yang berlangsung dengan proses karbonisasi. Karbonisasi merupakan proses dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan suatu zat dalam kondisi anoksik atau tanpa oksigen. Masa serbuk eceng gondok sebelum karbonisasi adalah 40,01 gr dan berat setelah dilakukan proses karbonisasi pada suhu 550°C adalah 10,12 gr dengan persen rendemen sebesar 25,29 %

Analisis hasil pengujian FT-IR (Fourier Transform-Infra red) Spectroscopy

Hasil pengujian FT-IR terhadap sampel serbuk eceng gondok, *nanobiochar-550* dan *nanobiochar* aktivasi basa pada suhu 550°C (*nanobiochar-550-AB*) tersaji pada Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Profil spektra FT-IR eceng gondok: (a) serbuk eceng gondok, (b) *nanobiochar-550*, (c) *nanobiochar-550-AB*

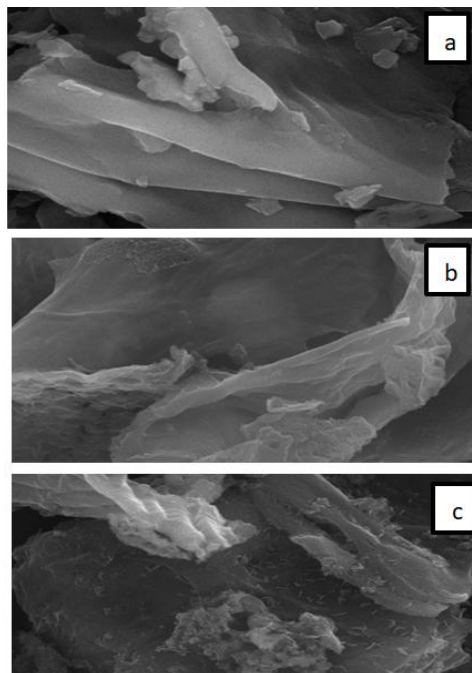
Seiring meningkatnya suhu pirolisis, vibrasi regangan dari -OH secara bertahap menghilang, menunjukkan penguapan kelembapan dan pemecahan gugus fungsional organik. Ketika suhu pirolisis mencapai 550 °C, puncak pada 2906 cm^{-1} menghilang, menandakan kerusakan -CH₂ alifatik. Garis pita pada 1789, 1792 cm^{-1} , yang dikaitkan dengan -COOH, hanya hadir pada *biochar* yang diproduksi pada pirolisis 500 °C. Hasilnya menunjukkan bahwa, dengan meningkatnya suhu pirolisis, molekul hidrokarbon alifatik organik terurai, menghasilkan metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), dan gas molekuler organik kecil lainnya. Gugus -COOH yang hilang mungkin diubah menjadi CO₂, menunjukkan bahwa CO₂ dilepaskan ketika suhu pirolisis melebihi 550 °C. Saat suhu pirolisis meningkat, ikatan pada 1589 cm^{-1} , 1582 cm^{-1} dan 1450 cm^{-1} dan 1455 cm^{-1} (getaran regangan C=C aromatik) melemah, sementara ikatan pada 825 -886 cm^{-1} (getaran CH aromatik keluar dari bidang) menguat (Liu *et al.*, 2024). Spektrum FT-IR menunjukkan bahwa sampel kontrol masih kaya gugus fungsional organik (Wu *et al.*, 2020).

Tabel 1. Data spektra FT-IR serbuk eceng gondok, *nanobiochar-550* dan *nanobiochar-550-AB*

Bilangan gelombang			Gugus fungsi
serbuk	<i>nanobiochar-550</i>	<i>nanobiochar-550-AB</i>	
-	3730	3696	O-H
3301	-	-	O-H air
2906	2515	2515	C-H
-	2314	2311	C-H
-	1789	1792	C=O
1618	-	-	C=C
1317	1589	1582	C=C
1247	1450	1455	C=C
1153	876	1055	C-H

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

Hasil pengujian SEM-EDX terhadap sampel serbuk eceng gondok, *nanobiochar-550* dan *nanobiochar-550-AB* tersaji pada Gambar 2.

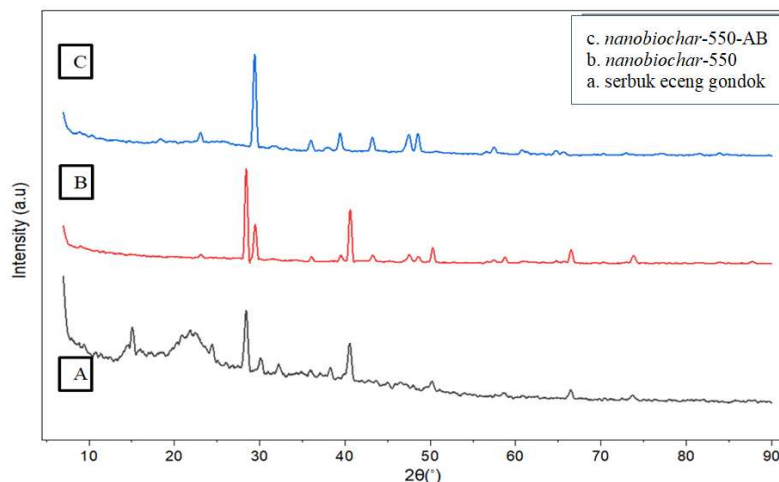


Gambar 2. Citra SEM dari (a) Serbuk eceng gondok (b) *nanobiochar-550*°C (c) *nanobiochar-550-AB* dengan perbesaran 30.000x

Pada pengamatan permukaan, serbuk eceng gondok tanpa pirolisis menunjukkan tekstur yang relatif halus dan kompak serta tampak tersusun atas lembaran-lembaran yang bertumpuk, yang mencerminkan bahwa struktur lignoselulosa asli belum mengalami dekomposisi termal dan belum terbentuk porositas signifikan. (Sun *et al.*, 2025). Pada serbuk eceng gondok yang dipirolisis pada suhu 550 °C tanpa aktivasi (*nanobiochar-550*), tampak bahwa material sudah terpecah/terurai, terlihat morfologi yang lebih kasar dan masih terdapat lembaran halus. Ini dimungkinkan karena telah terjadi devolatilisasi dan perombakan struktur organik selama pirolisis. Perubahan ini menunjukkan transformasi biomassa ke karbon yang umumnya meningkatkan potensi adsorpsi dibandingkan material mentah. Proses pirolisis pada suhu menengah seperti 550 °C diketahui berkontribusi pada pembentukan struktur pori yang lebih berkembang dibandingkan tanpa perlakuan panas (Zang *et al.*, 2025).

Analisis Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Hasil pengujian XRD pada sampel serbuk eceng gondok, *nanobiochar-550* dan *nanobiochar-550-AB* tersaji pada Gambar 3. Pada difraktogram XRD ini terlihat puncak-puncak difraksi yang mewakili fase kristalin dalam material, di mana puncak dan intensitas yang lebih tajam menunjukkan keteraturan struktur kristal yang lebih tinggi (Zerin *et al.*, 2025). Sampel serbuk eceng gondok memperlihatkan puncak yang relatif rendah intensitasnya dan pola difraksi melebar serta *background* yang lebih tinggi, yang mengindikasikan dominasi karakter amorf dibandingkan fase kristalin (Wang *et al.*, 2025). Pelebaran puncak pada sampel serbuk eceng gondok menunjukkan ukuran kristalit yang kecil dan keteraturan kisi yang kurang baik, sesuai dengan fenomena umum pada material dengan struktur amorf. Pada sudut 2θ sekitar 19° – 20° , menunjukkan keberadaan fase amorf, sedangkan pada sudut 2θ sekitar 22° – 23° , menandakan fase kristalin selulosa (Das *et al.*, 2017).



Gambar 3. Difraktogram XRD dari (a) serbuk eceng gondok, (b) *nanobiochar-550* (c) *nanobiochar-550-AB*

Pada sampel yang diperlakukan pada suhu 550°C, sampel *nanobiochar-550* dan *nanobiochar-550-AB* terlihat bahwa sudut 2θ tidak lagi muncul dikarenakan selulosa telah terdekomposisi pada rentang suhu 200-260°C selain itu puncak-puncak difraksi yang lebih tajam dan intens dibandingkan serbuk eceng gondok, yang mencerminkan peningkatan kristalinitas akibat perlakuan termal. Intensitas puncak yang lebih tinggi ini menunjukkan bahwa pemanasan pada 550°C membantu reorganisasi atom sehingga struktur kristal menjadi lebih teratur. Di antara kedua sampel termal, *nanobiochar-550-AB* cenderung menunjukkan puncak intensitas yang paling tajam, yang mengindikasikan bahwa perlakuan basa memberikan efek positif terhadap tingkat kristalinitas material dibandingkan sampel *nanobiochar-550* yang tidak melalui perlakuan basa (Zerin *et al.*, 2025). Adapun ukuran kristalit serbuk, *nanobiochar-550* dan *nanobiochar-550-AB* tersaji pada Tabel 4.

Tabel 2. Ukuran kristalit serbuk, *nanobiochar-550* dan *nanobiochar-550-AB* eceng gondok.

Sampel	Ukuran kristalit (nm)
serbuk	22,33
<i>nanobiochar-550</i>	24,83
<i>nanobiochar-550-AB</i>	19,87

Tabel 3 sejalan dengan temuan pada studi lain bahwa perlakuan kimia tertentu setelah pemanasan dapat memperbaiki kristalinitas struktur material. (Raadiyah *et al.*, 2025). Perubahan pola difraksi secara keseluruhan menunjukkan transisi dari struktur yang lebih amorf pada sampel serbuk menuju struktur kristalit setelah perlakuan termal pada suhu 550°C, dengan nilai kristalinitas yang meningkat pada sampel serbuk yang ukuran kristalinitasnya 22,33 nm menjadi 24,83 nm pada sampel *nanobiochar-550* (Zerin *et al.*, 2025; Wang *et al.*, 2025). *Nanobiochar-550-AB* mengalami penurunan ukuran kristalit dari 24,83 menjadi 19,87 setelah aktivasi dengan aktivator basa kuat, hal ini terjadi karena selama aktivasi, struktur karbon yang semula relatif teratur mengalami perubahan. Proses ini menimbulkan ketidakteraturan pada lapisan karbon, sehingga pembentukan struktur Kristal menjadi terganggu (Zerin *et al.*, 2025).

Pengujian Adsorpsi terhadap Sianida

Salah satu teknik analisis sianida yang paling luas digunakan dalam laboratorium analitik adalah spektrofotometri UV-Visible (UV-Vis), yang berdasar pada kemampuan suatu larutan menyerap radiasi pada panjang gelombang tertentu. Hasil pengujian sianida ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Adsorpsi Ion Sianida

No	Massa <i>nanobiochar</i> (g)	Sampel	Waktu kontak (menit)	Konsentrasi awal (mg/l)	Konsentrasi akhir (mg/l)	Adsorpsi (%)
1	0,1	<i>nanobiochar</i> -550	10	0,1	0,0200	80,0
2			20		0,0089	91,1
3			30		0,0074	92,6
4			60		0,0071	92,9
5			120		0,0070	93,00
1	0,1	<i>nanobiochar</i> -550-AB	10	0,1	0,0263	73,7
2			20		0,0234	76,6
3			30		0,0178	82,2
4			60		0,0119	88,1
5			120		0,0110	89,0

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses adsorpsi sianida oleh *nanobiochar*, baik pada sampel yang diaktivasi basa kuat maupun non-aktivasi, dipengaruhi secara signifikan oleh waktu kontak. Secara umum, kedua perlakuan *nanobiochar* baik untuk perlakuan aktivasi basa maupun non aktivasi memperlihatkan peningkatan persentase adsorpsi seiring bertambahnya waktu kontak dari 10, 20, 30, 60 hingga 120 menit. Hal ini mengindikasikan bahwa interaksi antara *nanobiochar* dan ion sianida berlangsung secara bertahap hingga mendekati kondisi kesetimbangan adsorpsi (Alsarayreh., 2025). Pada *nanobiochar* basa, persentase adsorpsi meningkat dari 73,7% pada waktu kontak 10 menit menjadi 82,2% pada 30 menit dan mencapai 89,0% pada 120 menit. Sementara itu, *nanobiochar* non-aktivasi menunjukkan efisiensi adsorpsi yang lebih tinggi, yaitu 80,0% pada 10 menit, meningkat menjadi 92,6% pada 30 menit, dan mencapai 93,0% pada 120 menit. Peningkatan ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak, semakin besar peluang ion sianida untuk berinteraksi dan terikat pada permukaan *nanobiochar* hingga sistem mendekati kondisi kesetimbangan

KESIMPULAN

Karakterisasi *nanobiochar* dari eceng gondok melalui pirolisis pada suhu 550°C baik untuk aktivasi basa maupun non aktivasi jika dibandingkan dengan serbuk eceng gondok menunjukkan perubahan signifikan dalam komposisi dan struktur. FT-IR mengindikasikan hilangnya sebagian besar gugus hidroksil akibat proses pirolisis dan pembentukan struktur aromatik., SEM-EDX menunjukkan perubahan morfologi dari bentuk lembaran hingga tidak beraturan, meningkatkan kapasitas adsorpsi, serta peningkatan kandungan karbon dan penurunan oksigen. XRD memperlihatkan penurunan ukuran kristalit dan transisi dari struktur kristalin ke amorf, yang menandakan perubahan fisikokimia akibat karbonisasi. *Nanobiochar* aktif eceng gondok sangat efektif dalam aplikasi adsorpsi sianida dan mempunyai kapasitas adsorpsi yang tertinggi untuk *nanobiochar*-550-AB hingga 89,0% pada 120 menit dan untuk *nanobiochar*-550 memiliki presentase tertinggi yaitu 93,0% pada 120 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Aritonang, H. F. 2023. *Kimia Material*. Bandung: CV Patra Media Grafindo Bandung.
- Aritonang, H. F., Batawi, L., Wuntu, A. D. (2024). Effect of Calcination Temperature on Size and Adsorption Properties of Magnetite Nanoparticles Synthesized from Iron Sand as Adsorbent for Methylene Blue. *AIP Conference Proceedings*. 3132(1):50001.
- Aritonang, H. F., Sitingjak, F. S. H., Wuntu, A. D., Lolo, W. A. (2025). Efektivitas karbon aktif dari tongkol jagung (*Zea Mays L.*) sebagai adsorben zat warna *Methylene Blue*. *Jurnal ilmiah sains* 25(2):99-113.
- Das, D., Hussain, S., Ghosh., Pal, A. K. (2017). Studies on cellulose nanocrystals extracted from *musa sapientum*: structural and bonding aspects. *Cellulose chemistry and technology*. 52(9-10):729-739.
- Dorooshi, Gholamali, Dorostkar, Amin, Rahimi, Alireza, Zoofaghari, Shafeajafar. (2020). An unusual acute cyanide intoxication. *Advanced Biomedical Research*. 9(1):42.
- Fatimah, S., Arneli, Astuti, Y. (2023). Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Sabut Kelapa Dengan Aktivator H₂SO₄ Dan NaOH sebagai Adsorben Kation Fe dan Cu dalam Limbah Cair Batik Kebumen. *Journal of Environmental Chemistry*. 3(1):1-5.
- Faturachman, F. G., Ajeng Ayu Ramanda, A. A., Maharani, S., Latif, L. A., Belo, G. A. G., Ayubi, S. G. A. (2025). Application of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) for Quantitative Analysis of Pharmaceutical Compounds. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*. 5(1):27-33.
- Huong, D. T., Ngan, N. N. P., Anh, D. T. T., Vinh, N. D., Xuan, V. T. (2025). Durian peel–seed biochar for efficient methylene blue removal from water: synthesis, characterization, and adsorption performance. *Royal society of chemistry adv*. 15(40):33726-33749.
- Jannah, S., Retno, G. A., Herlina. (2025). analisis kadar alkaloid ekstrak kulit buah pepaya california (*carica papaya l.*) dengan metode spektrofotometri uv-vis. *jurnal farmasi malahayati*. 8(2):261-271.
- Kulnides, N., Lorsirigoo, A., Saenkaew, K., Santichat, N., Tawinwang, K., Thumrin, P., Sonti, P., Phiphittaphan, C., Kullay, A., Sophaporn, T., Fongtanakit, R. (2024). An Overview of Cyanide Poisoning in Humans and Animals. *World's Veterinary Journal*. 14(4): 645-651.
- Lan, Y., Lu, Y., Li, B. Li, Y., Guo, J., Yang, W., Lu, Y. (2025). Response surface method design of nano-copper modified coffee shell biochar to treat copper cyanide wastewater: Characterization and catalytic oxidation adsorption mechanism. *Materials Chemistry and Physics*. 343(1):1-13
- Laia, M. (2025). Kontribusi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap kualitas air dalam sistem akuakultur berbasis fitoremediasi. *PERAUT: Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 2(1), 1–7.
- Liu, B., Xing, Z., Xue, Y., Zhang, J., Zhai, J. (2024). Effect of Pyrolysis Temperature on the Carbon Sequestration Capacity of Spent Mushroom Substrate Biochar in the Presence of Mineral Iron. *Molecules*. 29(23):1-16.
- Mahmood, Q., Zheng, P., Siddiqi, M. R., Islam, E. U., Azim, M. R., & Hayat, Y. (2021). Anatomical studies on water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) under the influence of textile wastewater. *Journal of Zhejiang University Science B*, 6(10), 991–998.
- Muhsinun, M., dan Hidayat, S. (2025). Potensi karbon aktif dari kulit durian dengan aktivator HCl untuk immobilisasi asam lemak hidroksam. *Varied Knowledge Journal*, 3(1), 40–47.
- Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., Hofifah, S. N., Husaeni, D. F. A., Husaeni, D. N. A., Fiandini, M., Soegoto, E. S., Darmawan, A., Aziz, M. (2023). Progress in the utilization of water hyacinth as effective biomass material. *Environment, Development and Sustainability*. 26(1): 24521–24568.
- Pauner, I. D. M., Senolinggi, G. P., Dullah, F. A., Laseduw, G. P. D., Aritonang, H. F., (2023). Magnetic nanocomposite-chitosan based on North Sulawesi iron sand as heavy metal adsorbent and synthetic dyes in textile industry waste. *AIP Conference Proceedings*. 2694(1):20001.

- Prayitno, N. P. D., Rahman, Z. O., Songaneka, S. L., Kurniawan, D. A. (2023). Persoalan Limbah Perusahaan Ditinjau Dari Etika Lingkungan. *Nusantara: Jurnal Pendidikan, Seni, Sains Dan Sosial Humanioral*, 1(2), 1–17.
- Raadiah, I., Syam, S., Asmah, N., Anas, R. (2025). X-ray Diffraction (XRD) Analysis for the Characterization of Hydroxyapatite Derived from Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) Bone. *YARSI Dental Journal*. 3(1): 13–21.
- Rifai, M., Hakiki, A., & Rositawati, L. (2025). Pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai adsorben alami untuk menurunkan kadar logam berat Pb(II) dalam air. *Pure Chemistry Research*, 1(1), 15–21.
- Selvarajoo, A., Wong, Y. L., Khoo, K. S., Chen, W. H., Show, P. L. (2022). Biochar production via pyrolysis of citrus peel fruit waste as a potential usage as solid biofuel. *Chemosphere*. 294(133671):1-12.
- Simedru, D., Becze, A. (2022). Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-ray spectrometry (sem/edx) - a semiquantitative eco-friendly method for identifying the metals in e-waste multi circuits boards . *annals of "dunarea de jos" university of galati fascicle ii*. 45(2):97-103.
- Souhuat, A., Aritonang, H. F., Koleangan, H. S. J. (2024). Magnetically active GO-Fe₃O₄ Nanocomposite for exchanged rhodamine B removal efficiency. *Indonesian Journal of chemistry*. 24(6):1784-1796.
- Sun, Y.; Xuan, S.; Dong, J.; Chen, S., Fan, X. (2025). The Effect of Biochar Characteristics on the Pesticide Adsorption Performance of Biochar-Amended Soil: A Meta-Analysis. *Agriculture*, 15(15):1-16.
- Tolera, G., Getahun, A., Geremew, A., Mengistou, S. (2025). Assessment of water hyacinth (*Pontederia crassipes*) distribution and changes in Lake Koka and Lake Ziway through remote sensing techniques. *Scientific Reports*. 15(16885):1-13.
- Wang, H., Asaoka, M., Tsuchikawa, S., et al. (2025). Investigation of crystallinity changes in thermally-treated wood using THz time-domain spectroscopy. *Cellulose*. 1(1):1-13.
- Wu, H., Zeng, G., and Liang, J. (2020). Effects of pyrolysis temperature on biochar's functional groups and its environmental applications. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 152(104803):1-7.
- Wulandari, R., Riyanto, C. A., Martono, Y. (2023) . Kinerja Karbon Aktif Daun Eceng Gondok pada Penurunan Kadar Fosfat Artifisial dan Surfaktan dalam Limbah Detergen. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*. 19(2): 149-161.
- Zang, Z., Chou, S., Zhao, Q. Nie, Y., Xin, M., Li, Z., Tian, J., Li , B. (2025). A review of the production and application of mesoporous carbon and its potential as an excellent carrier for the adsorptive delivery of compounds. *Biochar*. 7(1):1-26.
- Zerin, N. H., Rasul, M. G., Jahirul, M. I., Sayem, A. S. M., Quadir, Z., Haque, R. (2025). XRD Characterization of activated carbons synthesized from tyre pyrolysis char via KOH activation. *Technologies* . 13(565):1-12.
- Zhou, H., Guo, J., Liu, H., Wang , J., Wang, Y. (2024). Effects of Biochar Pyrolysis Temperature and Application Rate on Saline Soil Quality and Maize Yield. *Agronomy*. 14(7):1-23.