

## KOMPOSIT BIOCHAR MAGNETIK BERBASIS BAMBU SEBAGAI ADSORBEN CONGO RED

I.P.S. Hetharia\*, M. Manurung, dan I W. Suarsa

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana,  
Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia  
\*e-mail: selfinahetharia@gmail.com*

Article Received on: 28<sup>th</sup> January 2026

Revised on: 30<sup>th</sup> July 2026

Accepted on: 31<sup>st</sup> July 2026

### ABSTRAK

Pencemaran air akibat limbah zat warna congo red dari industri tekstil mendorong pengembangan adsorben yang efektif dan mudah dipisahkan dari larutan. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi komposit magnetik berbasis bambu Tabah (*Gigantochloa nigrociliata*). Biochar diperoleh melalui karbonisasi bambu pada suhu 600°C, kemudian dimodifikasi menggunakan besi (III) klorida melalui metode kopresipitasi basa dan kalsinasi membentuk komposit magnetik. Karakterisasi dilakukan menggunakan spektroskopi FTIR, XRD, dan SEM-EDX. Komposit digunakan untuk mengadsorpsi zat warna congo red dari larutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit terbaik dengan rasio massa FeCl<sub>3</sub>:biochar 3:1 menghasilkan karakterisasi sebagai berikut: spektroskopi FTIR menunjukkan pita serapan Fe–O pada 560–635 cm<sup>-1</sup> yang mengindikasikan terbentuknya oksida besi pada permukaan biochar. Analisis XRD menunjukkan kristalinitas 100% yang mengonfirmasi terbentuknya magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Analisis SEM-EDX mendeteksi kandungan unsur besi sebesar 50,58%, dan menunjukkan sifat magnetik paling kuat. Kondisi optimum adsorpsi diperoleh waktu kontak 120 menit, massa adsorben 0,025 gram, pH 2, dan suhu 30°C. Proses adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi maksimum 384,62 mg/g.

**Kata kunci:** biochar, bambu, komposit magnetik, magnetit, congo red, adsorpsi, isoterm Langmuir.

### ABSTRACT

Water pollution caused by Congo red dye waste from the textile industry has driven the development of effective adsorbents that can be easily separated from solution. This study aims to synthesize and characterize a magnetic composite based on Tabah bamboo (*Gigantochloa nigrociliata*). Biochar was obtained through carbonization of bamboo at 600°C, then modified using iron (III) chloride via alkaline co-precipitation and calcination to form a magnetic composite. Characterization was carried out using FTIR spectroscopy, XRD, and SEM-EDX. The composite was used to adsorb Congo red dye from solution. The results showed that the best composite with a FeCl<sub>3</sub>:biochar mass ratio of 3:1 yielded the following characterization results: FTIR spectroscopy showed an Fe–O absorption band at 560–635 cm<sup>-1</sup>, indicating the formation of iron oxide on the biochar surface. XRD analysis showed 100% crystallinity, confirming the formation of magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). SEM-EDX analysis detected an iron element content of 50.58% and showed the strongest magnetic properties. The optimum adsorption conditions were a contact time of 120 minutes, adsorbent mass of 0.025 g, pH 2, and temperature of 30°C. The adsorption process followed the Langmuir isotherm model with a maximum adsorption capacity of 384.62 mg/g.

**Keywords:** bamboo biochar, magnetic composite, magnetite, Congo red, adsorption, Langmuir isotherm.

### PENDAHULUAN

Perkembangan industri tekstil di Indonesia terus meningkat setiap tahun. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan laju pertumbuhan industri tekstil sebesar 13,47% pada triwulan II tahun 2022. Perkembangan ini diikuti dengan peningkatan limbah cair yang mengandung zat warna berbahaya, salah satunya adalah congo red. Congo red (CR) merupakan zat warna azo anionik dengan rumus kimia C<sub>32</sub>H<sub>22</sub>N<sub>6</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>6</sub>S<sub>2</sub> yang bersifat karsinogenik, memiliki stabilitas tinggi, dan sulit terurai secara alami, sehingga menimbulkan ancaman serius bagi

ekosistem perairan dan kesehatan manusia (Herawati *et al.*, 2018).

Adsorpsi merupakan salah satu metode yang efektif dan ekonomis untuk menghilangkan zat warna dari limbah cair. Biochar, material kaya karbon yang dihasilkan dari pirolisis biomassa, telah banyak dikaji sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan tinggi, porositas baik, dan biaya produksi rendah (Li *et al.*, 2023). Bambu tabah (*Gigantochloa nigrociliata*) dipilih sebagai bahan baku karena ketersediaannya yang melimpah di Bali, pertumbuhannya yang cepat, dan sifatnya yang terbarukan.

Kapasitas adsorpsi biochar dapat ditingkatkan melalui modifikasi dengan senyawa besi (III) klorida ( $\text{FeCl}_3$ ), yang menghasilkan komposit biochar magnetik berbasis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Modifikasi ini tidak hanya meningkatkan daya serap terhadap zat warna, tetapi juga memberikan sifat magnetik yang memudahkan pemisahan adsorben dari larutan menggunakan magnet (Fisli and Yusuf, 2010). Ran *et al.* (2015) melaporkan bahwa arang bambu yang dimodifikasi  $\text{FeCl}_3$  dan dikalsinasi memiliki kemampuan penyerapan yang lebih baik dibandingkan arang tanpa modifikasi.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mensintesis dan mengkarakterisasi komposit biochar magnetik dari bambu tabah yang dimodifikasi dengan  $\text{FeCl}_3$ ; (2) menentukan kondisi optimum adsorpsi (waktu kontak, massa adsorben, pH, dan suhu) terhadap zat warna congo red; serta (3) menentukan kapasitas adsorpsi dan pola isoterm adsorpsi komposit biochar magnetik.

Biochar tanpa modifikasi memiliki keterbatasan berupa sulitnya pemisahan adsorben dari larutan setelah proses adsorpsi. Oleh karena itu, modifikasi biochar dengan besi (III) klorida ( $\text{FeCl}_3$ ) melalui metode kopresipitasi basa dan kalsinasi dilakukan untuk membentuk komposit biochar magnetik dengan fase aktif magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), yang memudahkan pemisahan adsorben dari larutan menggunakan magnet eksternal sekaligus mempertahankan kapasitas adsorpsi yang baik.

## METODE PENELITIAN

### Bahan

Bahan utama adalah batang bambu tabah (*Gigantochloa nigroclilata*) berumur 4–5 tahun dari Kabupaten Buleleng, Bali. Bahan kimia yang digunakan adalah  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (p.a, Merck), akuades, HCl (p.a, Merck) 0,1 M, NaOH (p.a, Merck) 0,1 M, NaOH (p.a, Merck) 2 M, zat warna congo red (*for synthesis*, Merck), dan akuades teknis.

### Peralatan

Peralatan yang digunakan meliputi neraca analitik, penyaring stainless 200 mesh, cawan porselin, oven, desikator, mortar, magnetic stirrer, pH meter, alat-alat gelas, buret, stopwatch, tanur, Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1800), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM Thermo Scientific Quanta 650) yang dilengkapi dengan Energy Dispersive X-ray (EDX Oxford Instruments Bruker), dan X-ray Diffraction (XRD SmartLab Rigaku).

## Prosedur Kerja

### Pembuatan Biochar Bambu

Batang bambu dipotong, dicuci, dikeringkan di bawah sinar matahari, lalu dicacah dan dikeringkan dalam oven pada  $110^\circ\text{C}$  hingga bobot konstan. Sebanyak 500 gram sampel kering dikarbonisasi dalam tanur pada suhu  $600^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Hasil karbonisasi didinginkan, digerus, dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh untuk memperoleh  $\text{BC}_0$ . Rendemen dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{massa arang bambu}}{\text{massa bambu kering}} \times 100\%$$

### Sintesis Komposit Biochar Magnetik

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ditimbang dengan rasio massa  $\text{FeCl}_3:\text{BC}_0$  sebesar 1:1 ( $\text{BC}_1$ ), 2:1 ( $\text{BC}_2$ ), dan 3:1 ( $\text{BC}_3$ ), kemudian dilarutkan dalam 20 mL akuades. Sebanyak 2 gram  $\text{BC}_0$  ditambahkan ke setiap larutan  $\text{FeCl}_3$  dan diaduk selama 2 jam menggunakan magnetic stirrer sambil ditetesi NaOH 2 M hingga pH 10. Endapan yang terbentuk dikeringkan pada  $100^\circ\text{C}$  selama 1 jam, lalu dikalsinasi pada  $600^\circ\text{C}$  selama 2 jam untuk membentuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Komposit yang dihasilkan diuji sifat magnetiknya menggunakan magnet batang.

### Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi dilakukan melalui (1) analisis spektrofotometri UV-Vis untuk menentukan kapasitas adsorpsi awal setiap sampel; (2) penentuan keasaman dan kebasaan permukaan menggunakan metode titrasi asam-basa dengan larutan HCl dan NaOH; (3) analisis gugus fungsi menggunakan FTIR pada bilangan gelombang  $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ ; (4) analisis struktur kristal menggunakan XRD; serta (5) analisis morfologi permukaan dan komposisi unsur menggunakan SEM-EDX.

### Adsorpsi Congo Red dan Penentuan Kondisi Optimum

Waktu kontak optimum ditentukan dengan mengadsorpsi 20 mL larutan CR 50 ppm menggunakan 0,05 gram adsorben pada variasi waktu 30, 60, 90, dan 120 menit. Massa optimum ditentukan pada variasi 0,025; 0,050; 0,100; 0,200; dan 0,300 gram pada waktu optimum. pH optimum ditentukan pada variasi pH 2, 4, 6, 8, dan 10 menggunakan larutan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Suhu optimum ditentukan pada variasi  $30^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$ , dan  $100^\circ\text{C}$  pada kondisi optimum. Kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) dan efisiensi adsorpsi (%Ef) dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_t = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{W} \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{W} \dots\dots\dots(2)$$

$$\%Ef = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

dimana  $C_o$  = konsentrasi awal (mg/L),  $C_e$  = konsentrasi setimbang (mg/L),  $V$  = volume larutan (L), dan  $W$  = massa adsorben (g). Analisis absorbansi dilakukan dengan Spektrofotometer UV-Vis pada  $\lambda_{maks}$  498 nm berdasarkan persamaan regresi  $y = 0,0257x - 0,0026$ .

#### Penentuan Kapasitas dan Isoterm Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi ditentukan dengan mengadsorpsi 20 mL larutan CR pada konsentrasi 50, 100, 200, 300, dan 500 ppm (pH 2, 120 menit, 0,025 g adsorben). Pola isoterm adsorpsi diuji menggunakan model Langmuir (Pers. 4) dan Freundlich (Pers. 5):

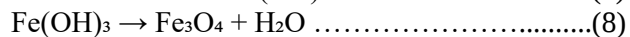
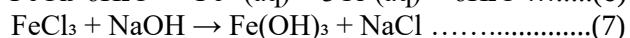
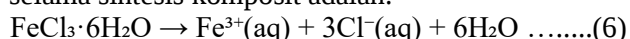
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{KL \times Q_{max}} + \frac{C_e}{Q_{max}} \dots\dots\dots(4)$$

$$\ln q_e = \ln KF + \left(\frac{1}{n}\right) \ln C_e \dots\dots\dots(5)$$

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pembuatan dan Karakterisasi Biochar Bambu

Karbonisasi 1000 gram bambu tabah pada suhu 600°C selama 2 jam menghasilkan  $BC_0$  sebesar 129,15 gram dengan rendemen 25,83%. Proses karbonisasi mengubah biomassa menjadi material karbon yang stabil dengan struktur berpori. Selanjutnya, modifikasi  $BC_0$  dengan  $FeCl_3$  pada berbagai rasio menghasilkan komposit biochar magnetik  $BC_1$ ,  $BC_2$ , dan  $BC_3$ . Reaksi yang terjadi selama sintesis komposit adalah:



Tabel 1. Hasil Pembuatan Adsorben Biochar Bambu

| Adsorben     | Rendemen (%) | Sifat Magnetik       | $Q_e$ (mg/g) |
|--------------|--------------|----------------------|--------------|
| $BC_0$       | 25,83        | –                    | 6,26         |
| $BC_1$ (1:1) | 64,25        | Magnetik             | 4,73         |
| $BC_2$ (2:1) | 52,33        | Magnetik kuat        | 5,40         |
| $BC_3$ (3:1) | 46,38        | Magnetik sangat kuat | 6,62         |

Uji fisik menggunakan magnet batang menunjukkan bahwa  $BC_3$  memiliki sifat magnetik paling kuat, diikuti  $BC_2$  dan  $BC_1$ . Hasil pembuatan biochar bambu disajikan pada Tabel 1.

#### Keasaman dan Kebasaan Permukaan Adsorben

Penentuan situs aktif permukaan adsorben dilakukan dengan metode titrasi asam-basa. Hasil menunjukkan bahwa biochar didominasi oleh situs aktif basa dibandingkan situs asam, yang sejalan dengan temuan Setiani *et al.* (2021) dimana kandungan abu dalam biochar umumnya bersifat basa. Suhu pirolisis yang tinggi meningkatkan sifat kebasaaan biochar melalui pemisahan garam-garam alkali dari senyawa organik (Narzari *et al.*, 2015). Situs aktif basa tertinggi dimiliki  $BC_3$  sebesar 13,30 mmol/g (Tabel 2).

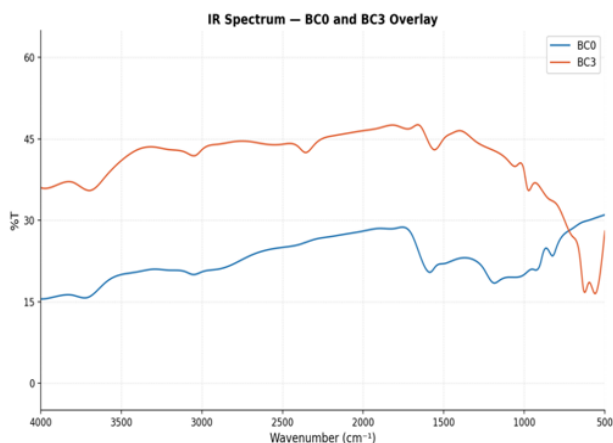
Tabel 2. Situs Aktif Permukaan Adsorben

| Adsorben | Situs Aktif Asam (mmol/g) | Situs Aktif Basa (mmol/g) | Situs Aktif Total (mmol/g) |
|----------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| $BC_0$   | 0,98                      | 12,72                     | 13,70                      |
| $BC_1$   | 2,35                      | 12,72                     | 15,07                      |
| $BC_2$   | 1,96                      | 13,11                     | 15,07                      |
| $BC_3$   | 0,00                      | 13,30                     | 13,30                      |

#### Analisis FTIR

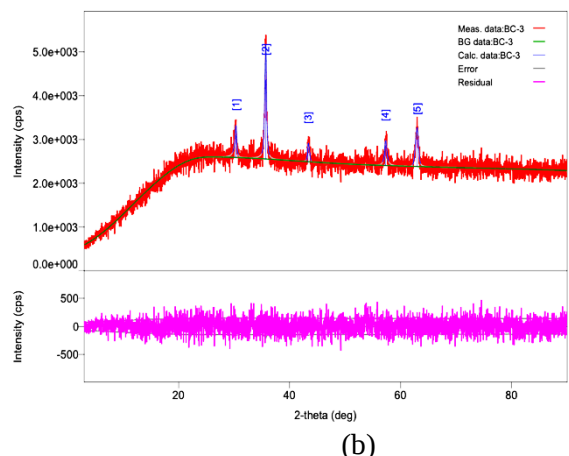
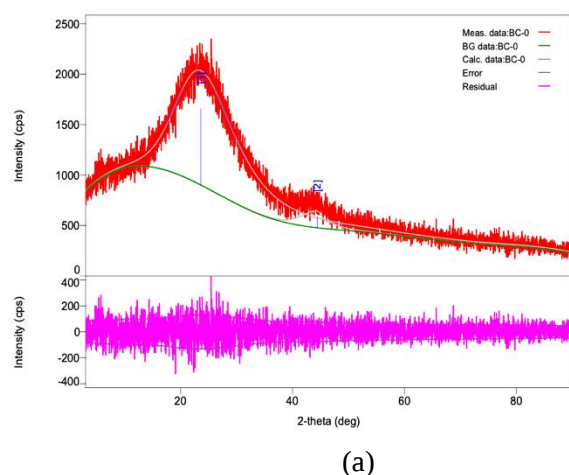
Analisis FTIR  $BC_0$  menunjukkan pita serapan khas material karbon: regangan O–H ( $\sim 3708\text{ cm}^{-1}$ ), C–H aromatik ( $\sim 3055\text{ cm}^{-1}$ ), C=C aromatik ( $\sim 1578\text{ cm}^{-1}$ ), dan C–H tekuk aromatik (out-of-plane) ( $\sim 883\text{ cm}^{-1}$ ). Adanya gugus O–H menunjukkan bahwa permukaan biochar masih memiliki gugus oksigen meskipun telah melalui karbonisasi.

Pemuatan  $FeCl_3$  pada  $BC_1$ ,  $BC_2$ , dan  $BC_3$  menghasilkan perubahan signifikan pada spektra FTIR. Ciri paling menonjol adalah kemunculan pita serapan baru pada  $560\text{--}635\text{ cm}^{-1}$  yang berkaitan dengan getaran Fe–O (Nakamoto, 2008) dan mengindikasikan terbentuknya oksida besi pada permukaan biochar. Intensitas pita Fe–O meningkat sesuai urutan  $BC_1 < BC_2 < BC_3$ , menunjukkan bahwa semakin besar rasio  $FeCl_3$ , semakin banyak oksida besi yang terbentuk. Pita aromatik pada  $\sim 1580\text{ cm}^{-1}$  masih teramati pada seluruh sampel, mengonfirmasi bahwa struktur karbon dasar biochar tetap terjaga setelah modifikasi.



Gambar 1. Spektrum FTIR BC<sub>0</sub> dan BC<sub>3</sub>

### Analisis XRD



Gambar 2. Diafraktogram (a) BC<sub>0</sub> dan (b) BC<sub>3</sub>

Difraktogram XRD BC<sub>0</sub> menunjukkan pola melebar dengan intensitas rendah pada  $2\theta \sim 20-30^\circ$  (puncak 002), yang merupakan karakteristik material karbon amorf dengan kristalinitas 20,7% dan jarak antar lapisan 0,376 nm. Difraktogram BC<sub>3</sub> menunjukkan puncak-puncak difraksi yang lebih tajam dan intens dengan kristalinitas 100%, mengindikasikan terbentuknya fase oksida besi kristalin (magnetit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan/atau hematit  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Ukuran kristal BC<sub>3</sub> yang relatif kecil (0,65–1,75 nm) menunjukkan oksida besi terbentuk dalam skala nano, yang berkontribusi terhadap sifat magnetik dan peningkatan jumlah situs aktif adsorpsi.

### Analisis SEM-EDX

Citra SEM BC<sub>0</sub> menunjukkan struktur permukaan tidak beraturan dan berpori, khas biochar hasil karbonisasi. Permukaan BC<sub>3</sub> tampak lebih kasar dengan partikel-partikel kecil yang terdistribusi pada permukaan, diinterpretasikan sebagai oksida besi hasil pemuatan FeCl<sub>3</sub>. Analisis EDX BC<sub>0</sub> mendeteksi unsur karbon (C: 87,13%) dan oksigen (O: 11,37%), sedangkan BC<sub>3</sub> menunjukkan kandungan besi (Fe) yang signifikan sebesar 50,58%, mengonfirmasi keberhasilan modifikasi (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil Analisis EDX BC<sub>0</sub> dan BC<sub>3</sub>

| Elemen | BC <sub>0</sub> (Wt%) | BC <sub>3</sub> (Wt%) |
|--------|-----------------------|-----------------------|
| C      | 87,13                 | 25,12                 |
| O      | 11,37                 | 22,35                 |
| Si     | 0,88                  | 0,92                  |
| Cl     | 0,08                  | 0,12                  |
| Fe     | 0,43                  | 50,58                 |
| Zn     | 0,11                  | 0,91                  |

### Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Congo Red

#### Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak optimum adsorpsi CR pada BC<sub>0</sub> dan BC<sub>3</sub> adalah 120 menit, dengan kapasitas adsorpsi (Qt) masing-masing sebesar 12,43 mg/g dan 13,46 mg/g. Tren Qt menunjukkan nilai tinggi pada 30 menit, menurun pada 60 dan 90 menit (desorpsi), kemudian meningkat kembali pada 120 menit. Penurunan ini terjadi karena adsorben telah mencapai kondisi jenuh sementara pada menit ke-60 dan 90, di mana pori-pori adsorben mulai melepaskan kembali zat warna yang telah teradsorpsi (Nasution *et al.*, 2015).

#### Massa Optimum Adsorben

Massa adsorben optimum yang memberikan nilai kapasitas adsorpsi tertinggi adalah 0,025 gram, dengan Q<sub>e</sub> sebesar 24,72 mg/g (BC<sub>0</sub>) dan 26,95 mg/g (BC<sub>3</sub>). Meskipun peningkatan massa adsorben meningkatkan persentase penyerapan CR (tertinggi pada 0,300 g), nilai Q<sub>e</sub> justru menurun karena terjadi kejenuhan situs aktif. Pemilihan massa terendah sebagai kondisi optimum didukung oleh prinsip efisiensi ekonomis (Kargule *et al.*, 2025).

#### pH Optimum

Kapasitas adsorpsi CR tertinggi diperoleh pada pH 2, dengan Q<sub>e</sub>  $\sim$ 39,7 mg/g (BC<sub>0</sub>) dan  $\sim$ 39,6 mg/g

(BC<sub>3</sub>). Congo red merupakan zat warna anionik bermuatan negatif dalam larutan. Pada kondisi asam (pH rendah), permukaan adsorben bermuatan positif akibat protonasi gugus aktif, sehingga terjadi interaksi elektrostatis yang kuat dengan molekul CR bermuatan negatif. Peningkatan pH menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsi secara bertahap, sejalan dengan penelitian Litefti *et al.* (2019) yang melaporkan efisiensi penghilangan CR mendekati 100% pada pH 2.

#### Suhu Optimum

Kapasitas adsorpsi tertinggi diperoleh pada suhu 30°C ( $Q_e \sim 39,7$  mg/g), dan menurun seiring peningkatan suhu. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi bersifat eksotermik, di mana peningkatan suhu meningkatkan energi kinetik partikel dan mendorong terjadinya desorpsi (Hasibuan *et al.*, 2023). Perbedaan  $Q_e$  antara suhu 30°C dan 100°C relatif kecil (~1%), menunjukkan adsorpsi masih berlangsung pada suhu tinggi meskipun kurang optimal.

#### Kapasitas dan Isoterm Adsorpsi

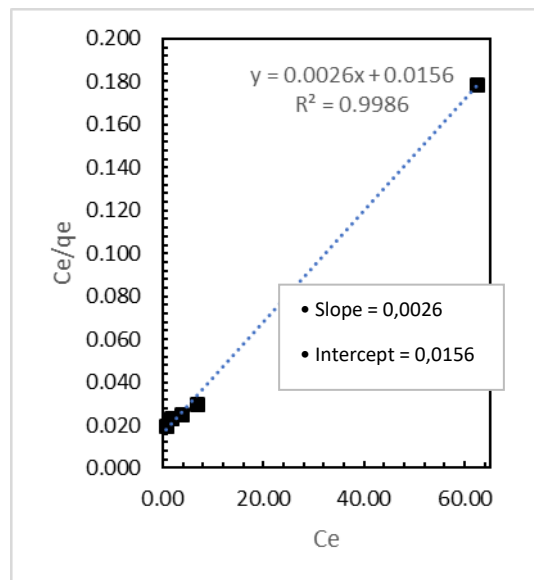
Kapasitas adsorpsi meningkat seiring kenaikan konsentrasi CR. Pada konsentrasi 500 ppm,  $Q_e$  BC<sub>0</sub> mencapai 350 mg/g dan BC<sub>3</sub> mencapai 360 mg/g, menunjukkan bahwa modifikasi FeCl<sub>3</sub> berhasil meningkatkan kapasitas adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah situs aktif dan terbentuknya oksida besi pada permukaan biochar yang meningkatkan interaksi elektrostatis dengan CR (Nguyen *et al.*, 2021).

Analisis isoterm menunjukkan kesesuaian yang lebih baik dengan model Langmuir ( $R^2 = 0,9986$  untuk BC<sub>0</sub> dan  $0,9992$  untuk BC<sub>3</sub>) dibandingkan model Freundlich ( $R^2 = 0,8667$  dan  $0,8371$ ). Hasil ini mengindikasikan adsorpsi CR berlangsung pada permukaan homogen dengan pembentukan lapisan tunggal (monolayer). Nilai kapasitas adsorpsi maksimum ( $Q_{max}$ ) Langmuir adalah 384,62 mg/g untuk kedua adsorben. Konstanta Langmuir (KL) meningkat dari 0,17 L/mg (BC<sub>0</sub>) menjadi 0,30 L/mg (BC<sub>3</sub>), menunjukkan peningkatan afinitas permukaan adsorben terhadap CR akibat modifikasi. Data isoterm adsorpsi dan grafik model Langmuir disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 3.

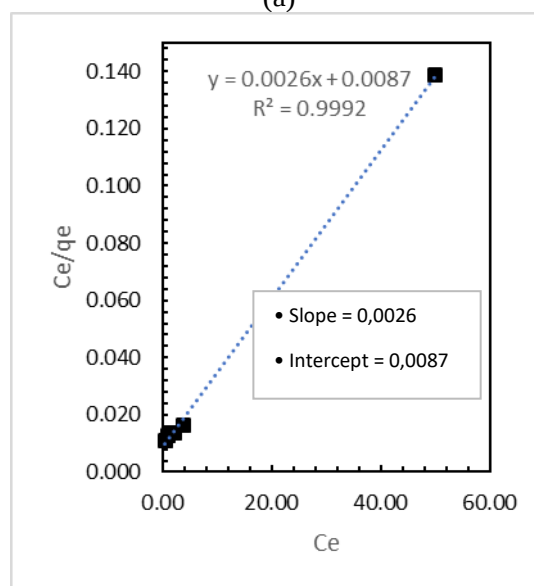
Tabel 4. Parameter Isoterm Adsorpsi Congo Red

| Model      | Parameter        | BC <sub>0</sub> | BC <sub>3</sub> |
|------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Langmuir   | $Q_{max}$ (mg/g) | 384,62          | 384,62          |
|            | KL (L/mg)        | 0,17            | 0,30            |
|            | $R^2$            | 0,9986          | 0,9992          |
| Freundlich | KF               | 61,77           | 83,40           |
|            | n                | 2,05            | 2,24            |
|            | $R^2$            | 0,8667          | 0,8371          |

Nilai n Freundlich untuk BC<sub>0</sub> (2,05) dan BC<sub>3</sub> (2,24) yang lebih besar dari 1 menunjukkan adsorpsi bersifat menguntungkan (favorable). Konstanta KF BC<sub>3</sub> (83,40) lebih besar dibandingkan BC<sub>0</sub> (61,77), mengonfirmasi peningkatan kapasitas adsorpsi pada permukaan heterogen akibat modifikasi FeCl<sub>3</sub>.



(a)



(b)

Gambar 3. Grafik isoterm Langmuir (a) BC<sub>0</sub> dan (b) BC<sub>3</sub>

#### SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa: (1) Modifikasi biochar bambu dengan FeCl<sub>3</sub> berhasil menghasilkan komposit biochar magnetik, dibuktikan oleh sifat fisik magnetik, munculnya pita serapan Fe–O pada spektra FTIR, fase oksida besi kristalin (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) pada difraktogram XRD, dan kandungan Fe pada analisis

SEM-EDX; sampel BC<sub>3</sub> menunjukkan pemuatan FeCl<sub>3</sub> paling optimal. (2) Kondisi optimum adsorpsi komposit biochar magnetik terhadap congo red adalah waktu kontak 120 menit, massa adsorben 0,025 gram, pH 2, dan suhu 30°C. (3) Komposit biochar magnetik BC<sub>3</sub> memiliki kapasitas adsorpsi lebih tinggi (Q<sub>max</sub> = 384,62 mg/g berdasarkan model Langmuir) dibandingkan BC<sub>0</sub>, dengan mekanisme adsorpsi yang mengikuti model isoterm Langmuir (R<sup>2</sup> = 0,9992), mengindikasikan adsorpsi monolayer pada permukaan homogen. Modifikasi FeCl<sub>3</sub> terbukti meningkatkan afinitas adsorben (KL meningkat dari 0,17 menjadi 0,30 L/mg) dan kinerja adsorpsi terhadap zat warna congo red.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Li, C., Zhang, C., Zhong, S., Duan, J., Li, M., & Shi, Y. 2023. The removal of pollutants from wastewater using magnetic biochar: A scientometric and visualization analysis. *Molecules*. 28(15), Artikel 5840.
- Herawati, D., Santoso, S., dan Amalina, I. 2018. Kondisi optimum adsorpsi-fluidisasi zat warna limbah tekstil menggunakan adsorben jantung pisang. *Jurnal SainHealth*. 2(1): 1–7
- Ran, H., Li, P., Li, H., Wu, C., Zhang, Y., Ma, Y. 2015. Preparation of iron oxide-loaded bamboo charcoals and their trinitrotoluene red water treatment. *Desalination and Water Treatment*. 57(2016): 8739-8747
- Fisli, A., dan Yusuf, S. 2010. Sintesis Nanokomposit Magnetik Berbasis Bahan Alam Untuk Adsorben Thorium. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 11(2): 1–6.
- Setiani, V., Priastuti, U., and Yuniarta, D.P. 2021. Improvement of Soil Chemical Properties using Corn Cob Biochar. *Jurnal Presipitasi*. 18(1): 1–9.
- Narzari, R. et al. 2015. *Biochar: An overview on its production, properties and potential benefits*. Research India Publications. Delhi.
- Nakamoto, K. 2008. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*. Wiley. Hoboken.
- Nasution, H., Mayudendi, dan Siregar, S.H. 2015. Penentuan Waktu Kontak dan pH Optimum Penyerapan Zat Warna Direct Yellow Menggunakan Abu Terbang Batubara. *Prosiding SEMIRATA*. 1: 747–756.
- Kargule, B.B. et al. 2025. Sustainable removal of dyes from wastewater using eggshell-derived calcium carbonate nanoparticles. *AJSE*. 5(2): 369–394.
- Litefti, K., Freire, M.S., Stitou, M., dan González-Álvarez, J. 2019. Adsorption of an anionic dye (Congo red) from aqueous solutions by pine bark. *Scientific Reports*. 9: 16530.
- Hasibuan, F.R.A., Sari, F.I.P., dan Roanisca, O. 2023. The Effect of Temperature, Stirring, and Contact Time on Reducing COD Levels of POME using Cocoa Peels Adsorbent. *Stannum*. 5(1): 51–57.