



## Sonikasi adsorpsi rhodamin oleh karbon aktif cangkang sawit termodifikasi $\text{Co}(\text{OH})_2$

NILDA NURSIHMA AISAH DAN NOVA YULIASARI\*

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Indonesia - 30662.

<b>Kata kunci:</b> Co(OH) <sub>2</sub> , karbon aktif, sonikasi, rhodamin, adsorpsi	<b>ABSTRAK:</b> Pemanfaatan limbah cangkang sawit sebagai komposit karbon aktif termodifikasi Co(OH) <sub>2</sub> untuk adsorben zat pewarna karsinogen rhodamin telah dilakukan. Proses adsorpsi dilakukan secara sonikasi untuk menghemat waktu dan energi. Karbon aktif-Co(OH) <sub>2</sub> telah berhasil dipreparasi berdasarkan karakterisasi pola XRD, spektra FTIR dan mikroskop elektron. Persen adsorpsi rhodamin oleh komposit lebih besar dari pada karbon aktif. Persen adsorpsi secara sonikasi lebih besar daripada secara <i>shaker</i> . Kondisi optimum adsorpsi pada massa komposit 0,075 gram, konsentrasi rhodamin 60 mg/L dan waktu sonikasi 10 menit. Daya serap karbon aktif-Co(OH) <sub>2</sub> adalah 14,637 mg/g. Proses adsorpsi mengikuti model isotherm freundlich dan model kinetika pseudo orde dua.
<b>Keywords:</b> Co(OH) <sub>2</sub> , activated carbon, sonication, rhodamine, adsorption	<b>ABSTRACT:</b> Palm shell waste has been utilized as an activated carbon composite modified with Co(OH) <sub>2</sub> as an adsorbent for rhodamine dye which is carcinogenic. The adsorption process is carried out based on sonication, thereby saving time and energy. Activated carbon-Co(OH) <sub>2</sub> has been successfully prepared based on XRD pattern characterization, FTIR spectra and electron microscope images. The percentage of rhodamine adsorption by the composite is greater than that of activated carbon. The adsorption percentage by sonication is greater than by shaker. The optimum adsorption conditions were a composite mass of 0.075 grams, a rhodamine concentration of 60 mg/L and a sonication time of 10 minutes. The absorption capacity of activated carbon-Co(OH) <sub>2</sub> is 14.637 mg/g. The adsorption process follows the freundlich isotherm model and pseudo second order kinetic model.

### 1 PENDAHULUAN

Agenda Pembangunan Berkelanjutan/Sustainable Development Goals (SDGs) telah ada selama dekade ini. SDGs memiliki tujuan nomor 6 yaitu air bersih dan sanitasi serta tujuan nomor 14 berupa kehidupan perairan. Kedua tujuan tersebut berkaitan secara langsung terhadap lingkungan perairan [1]. Pesatnya kemajuan dari industri yang melibatkan zat pewarna bila tidak disertai pengolahan limbah secara tepat dapat menimbulkan resiko terhadap kualitas perairan [2].

Rhodamin merupakan pigmen organik kationik golongan *xanthene* kelas *Triphenylmethane* yang digunakan sebagai agen pewarna secara luas pada industri tekstil, kertas, cat, pewarna *glass*, pewarna sampel biologi dan *fluorescent marker* di air [2,3,4]. Studi-studi melaporkan rhodamin bersifat neurotoksik, karsinogen, mutagen bagi manusia dan hewan serta menyebabkan keracunan kronis, hemolisis, mengiritasi saluran pernafasan, saluran pencernaan,

degeneratif bagi hati dan ginjal. Rhodamin ditemukan dalam buangan industri dan berada dalam daftar karsinogenik kelas 3 menurut *International Agency for Research on Cancer of the World Health Organization*. Upaya teknologi penanganan rhodamin menjadi diperlukan sebelum buangan industri masuk ke badan perairan [3,5,6].

Berdasarkan studi-studi, teknologi adsorpsi dianggap pendekatan yang efektif dan strategi berkelanjutan untuk menghadapi tantangan buangan zat pewarna dari industri. Material berbasis karbon seperti karbon aktif dapat berkontribusi sebagai adsorben secara efisien karena memiliki struktur mikropori. Karbon aktif memiliki keunggulan antara lain ringan, porositas tinggi, tahan suhu tinggi, tahan asam dan alkali, stabilitas struktur baik dan pemrosesan mudah. Karbon aktif sering dihasilkan dari limbah berupa material biomassa [3,5,7].

Perkebunan kelapa sawit dapat menghasilkan limbah biomassa berupa cangkang sawit. Pada tahun 2017 limbah cangkang sawit mencapai 9 juta ton [8].

\* **Corresponding Author:** email: [nova\\_yuliasari@unsri.ac.id](mailto:nova_yuliasari@unsri.ac.id)

Limbah cangkang sawit mencapai 65 Kg/ton sawit. Penggunaan cangkang sawit sebagai karbon aktif dinilai sangat ekonomis dan ramah lingkungan [9]. Cangkang sawit memiliki kadar karbon cukup tinggi karena mengandung sekitar 47% holoselulosa dan 53% lignin sementara kadar abunya pun rendah sehingga berpotensi untuk dijadikan karbon aktif. Karbon aktif tidak jarang dimodifikasi karena kapasitas adsorpsinya dapat ditingkatkan [10].

Modifikasi karbon aktif sering dilakukan dengan mengkompositkan dengan material lain misalnya logam oksida dan logam hidroksida.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  merupakan adsorben bagi logam berat [11], sedangkan karbon aktif yang dimodifikasi dengan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  juga telah diaplikasikan sebagai adsorben logam berat [12]. Logam hidroksida yang telah dipakai sebagai adsorben antarlain  $\text{La}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Keunggulan logam hidroksida adalah kemampuan berkinerja baik dibawah pH pzc secara pertukaran ion maupun diatas pH pzc secara asam basa lewis sehingga kapasitas adsorpsi dan waktu adsorpsi lebih baik dibanding logam oksida [13]. Karbon aktif yang dimodifikasi dengan logam hidroksida berupa  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  telah diteliti sebagai adsorben zat pewarna *sunset yellow* [14] dan metilen biru [15]. Kedua penelitian tersebut memanfaatkan sonikasi pada proses adsorpsinya karena memungkinkan tercapainya waktu optimum lebih cepat yaitu berkisar hanya 10 menit sehingga dapat menghemat waktu dan energi.

Sonikasi merupakan penggunaan gelombang ultrasonik untuk suatu metoda, misal pada preparasi suatu material ataupun dalam proses adsorpsi. Kavitas yang terbentuk pada proses sonikasi dapat berlaku sebagai mikroreaktor yang dapat menjadi pusat reaksi kimia. Laju interaksi dapat meningkat disebabkan permukaan adsorben yang luas karena pengaruh kavitas [16]. Ogata (2015) [17] melaporkan bahwa  $\text{Co}(\text{OH})_2$  lebih baik dibanding  $\text{CoO}$  sebagai adsorben ion. Penelitian ini menerapkan sonikasi dalam proses adsorpsi rhodamin sebagai kation. Adsorben yang digunakan adalah karbon aktif dari cangkang sawit yang dimodifikasi dengan  $\text{Co}(\text{OH})_2$ .

## 2 METODOLOGI

### Preparasi Karbon Aktif- $\text{Co}(\text{OH})_2$

Pembuatan karbon aktif dilakukan dengan memodifikasi prosedur Sirajuddin (2022) [10], yaitu mengkarbonisasi cangkang sawit yang telah kering dalam *furnace* selama satu jam dengan temperatur  $500^\circ\text{C}$ . Karbon yang dihasilkan dihaluskan dengan mortar. Karbon hasil ayakan 140 *mesh* direndam selama 24 jam dalam  $\text{H}_3\text{PO}_4$  10%. Karbon kemudian dicuci hingga

air cucian netral. Pengeringan karbon dilakukan dalam oven bertemperatur  $110^\circ\text{C}$  hingga 3 jam. Preparasi komposit karbon aktif- $\text{Co}(\text{OH})_2$  dilakukan dengan memodifikasi prosedur Ardekani (2017) [15]. Campuran antara 50 mL  $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  berkonsentrasi  $5 \cdot 10^{-2}$  M dan 50 mL  $\text{NaOH}$  berkonsentrasi  $10^{-1}$  M menghasilkan dispersi endapan. Dispersi tersebut selama 20 menit disonikasi bersama 2 gram karbon aktif. Pengeringan residu campuran dilakukan selama 12 jam bertemperatur  $80^\circ\text{C}$ .

### Penentuan Karakter Komposit

Penentuan karakter kristalinitas komposit karbon aktif- $\text{Co}(\text{OH})_2$  dilakukan menggunakan XRD (Rigaku Miniflex), gugus fungsi dengan FTIR (Bruker) dan mikroskop elektron (Olympus STM 6-LM) menampilkan morfologi. Penentuan muatan netral komposit dilakukan dengan prosedur pH pzc (point zero charge). Komposit sebanyak 0,05 gram dishaker bersama  $\text{NaCl}$   $10^{-1}\text{M}$  dalam kondisi pH bervariasi selama *shaker* 3 jam. pH pzc diketahui dari kondisi perubahan pH awal yang paling kecil nilainya setelah direndam 3 jam [18].

### Pengaruh Kondisi Adsorpsi

Penentuan pengaruh massa komposit sebagai adsorben dilakukan dengan memvariasikan massa adsorben yang dikontakkan dengan 20 mL rhodamin 25 mg/L pada pH 8 (pH diatas pH pzc). Proses adsorpsi selama 10 menit menggunakan sonikator (Delta D68H). Larutan disentrifug, setelah dekantasi larutan diukur konsentrasi rhodaminnya dengan spektrofotometer UV-Visibel (Orion Aquamate). Penentuan pengaruh konsentrasi rhodamin menggunakan massa optimum komposit yang disonikasi selama 10 menit bersama 20 mL rhodamin pH 8 yang telah divariasikan konsentrasinya. Campuran disentrifug dan cairannya diukur konsentrasi sisa rhodaminnya. Penentuan pengaruh waktu kontak dilakukan dengan sonikasi selama waktu yang bervariasi menggunakan massa adsorben optimum dengan 20 mL rhodamin pH 8 berkonsentrasi optimum. Larutan hasil sentrifugasi pada optimasi waktu diukur konsentrasi rhodaminnya.

### Analisis Data

Penentuan jenis isotherm adsorpsi melalui perumusan Langmuir sesuai Persamaan (1) dan perumusan Freundlich pada Persamaan (2). Jenis *isotherm* yang lebih sesuai yaitu yang memiliki koefisien korelasi ( $R^2$ ) lebih besar di antara kedua persamaan linier tersebut [19].

$$\frac{1}{qe} = \frac{1}{qm} + \frac{1}{qm \cdot K_l} \frac{1}{Ce} \quad (1)$$

$$\log qe = \log K_f + \frac{1}{n} \log Ce \quad (2)$$

dengan  $Ce$  = Konsentrasi rhodamin sisa,  $qe$  = Kapasitas adsorpsi kesetimbangan (mg/g),  $qm$  = Kapasitas adsorpsi total (mg/g),  $K_l$  = Konstanta Langmuir (L/mg),  $n$  = Parameter intensitas Freundlich dan  $K_f$  = Konstanta Freundlich (mg/g)(mg/L)<sup>n</sup>.

Jenis kinetika adsorpsi ditentukan berdasarkan koefisien korelasi yang lebih tinggi antara kesesuaian dengan rumus pseudo orde satu pada Persamaan (3) dan dengan rumus pseudo orde dua di Persamaan (4).

$$\ln(qe - qt) = \ln qe - kt \quad (3)$$

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 qe^2} + \frac{1}{qe} t \quad (4)$$

dengan,  $qe$  = Kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan (mg/g),  $t$  = Kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$  menit (mg/g),  $k$  = Konstanta laju pseudo orde satu (menit<sup>-1</sup>),  $k_2$  = Konstanta pseudo orde dua (mg/g.menit<sup>-1</sup>).

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

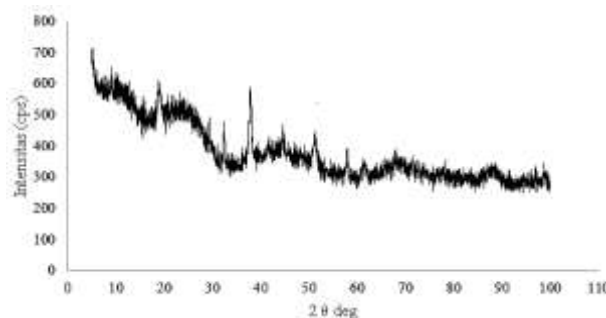
#### Karakter Komposit Karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub>

Karbon hasil karbonisasi direndam menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Karbon cangkang sawit paling baik diaktifkan dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dibandingkan aktivator lain seperti NaCl, NaOH, KOH dan HCl. Senyawa H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> berfungsi melarutkan komponen non karbon yang berada dalam pori [10].

Reaksi antara Co(CH<sub>3</sub>COOH)<sub>2</sub> dengan NaOH menyebabkan garam kobalt dalam kondisi basa sehingga membentuk endapan Co(OH)<sub>2</sub>. Karbon aktif yang dikompositkan dengan Co(OH)<sub>2</sub> mampu meningkatkan persen adsorpsi rhodamin 30 mg/L. Kenaikan persen adsorpsi yaitu 57,28 % oleh karbon aktif dan 71,59 % oleh komposit karbon aktif termodifikasi Co(OH)<sub>2</sub>. Peningkatan persen adsorpsi bagi komposit dapat disebabkan interaksi elektrostatis antara situs O<sup>-</sup> dari komposit terhadap rhodamin yang bersifat kationik. Situs O<sup>-</sup> dihasilkan oleh deprotonasi gugus OH yang dimiliki logam-hidroksida [13].

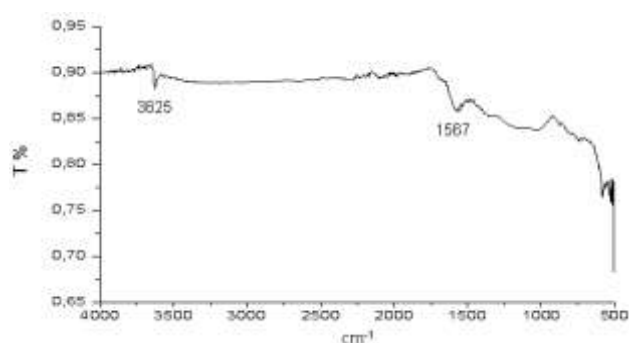
Karakterisasi kristalinitas karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub> dilakukan menggunakan XRD. Puncak 2θ bagi kristal Co(OH)<sub>2</sub> sesuai JCPDS No. 00-051-1731 adalah sudut

2θ 18,9° dan 58,0° untuk indeks miller masing-masing (002) dan (110) dan sesuai JCPDS No. 00-030-0443 pada sudut 2θ 32,5° dan 59° bagi indeks miller (100) dan (003) [20]. Puncak amorf karbon berada pada sudut 2θ sekitar 23° [15]. Kristalinitas komposit ditampikan oleh pola sudut 2θ sesuai Gambar 1. Pola XRD komposit telah menunjukkan sudut 2θ Co(OH)<sub>2</sub> pada 18,79°; 32,37° dan 57,97°.



Gambar 1. Pola XRD karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub>

Gugus fungsi yang terdapat dalam komposit dapat dianalisis menggunakan FTIR. Pita vibrasi ulur dari O-H terdapat pada bilangan gelombang 2600-4000 cm<sup>-1</sup> [21]. Pita bilangan gelombang 1515 and 1611 cm<sup>-1</sup> merupakan vibrasi ulur gugus C=C aromatik lignin sedangkan sekitar 1100 cm<sup>-1</sup> adalah vibrasi C-O lignin [20,21]. Vibrasi logam-oksigen terletak antara 453-619 cm<sup>-1</sup> [24] dan vibrasi tekuk logam-OH berada pada 455-719 cm<sup>-1</sup> [25]. Gambar 2 menampilkan spektra FTIR dari komposit karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub>. Pada penelitian ini pita pada bilangan gelombang 3625 cm<sup>-1</sup> mengindikasikan vibrasi ulur O-H, 1567 cm<sup>-1</sup> merupakan vibrasi C=C aromatik lignin, sekitar 1000 cm<sup>-1</sup> vibrasi C=O lignin dan sekitar 500 cm<sup>-1</sup> menunjukkan vibrasi Co-OH.



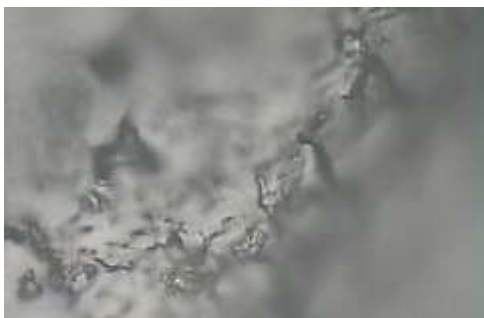
Gambar 2. Spektra FTIR karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub>

Morfologi permukaan dari material adsorben dapat dicitrakan oleh mikroskop elektron. Gambar 3 menyajikan perbandingan morfologi antara karbon aktif dan komposit karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub> pada perbesaran 1000 kali. Tampak pada gambar, permukaan karbon aktif masih memiliki pori-pori yang

cukup terbuka. Permukaan komposit relatif memiliki pori-pori tidak terlalu terbuka. Kemungkinan partikel  $\text{Co}(\text{OH})_2$  memasuki sebagian pori-pori komposit.



(a)

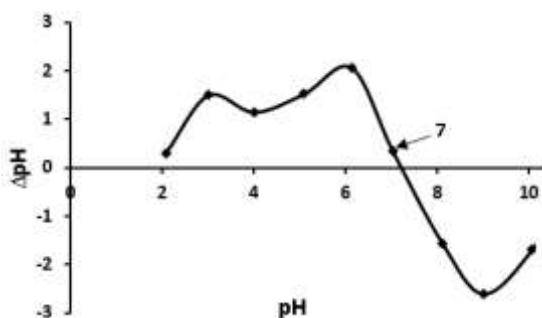


(b)

Gambar 3. (a) Morfologi karbon aktif (b) karbon aktif- $\text{Co}(\text{OH})_2$

### Penentuan pH pzc (Point Zero Charge)

Penentuan pH pzc dilakukan untuk mendapatkan kondisi pH yang membuat permukaan adsorben bermuatan netral. Gambar 4 menunjukkan pH pzc karbon aktif- $\text{Co}(\text{OH})_2$ . pH pzc yang diperoleh adalah sekitar pH 7. Media cair adsorpsi yang dipilih studi ini adalah pH 8 agar permukaan adsorben bermuatan negatif untuk memfasilitasi interaksi dengan rhodamin yang bersifat kationik. Interaksi logam-hidroksida dengan adsorbat pada pH diatas pH pzc terjadi berdasarkan interaksi elektrostatik dan mekanisme asam basa Lewis oleh situs O hasil deprotonasi gugus OH komposit [13,12].



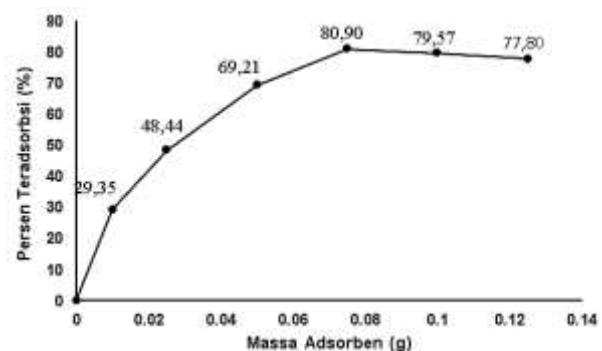
Gambar 4. Kurva pH pzc karbon aktif- $\text{Co}(\text{OH})_2$

### Sonikasi Adsorpsi

Adsorpsi secara sonikasi dimaksudkan untuk meningkatkan koefisien difusi dan dispersi komposit sebagai adsorben di media cair [24,15]. Sonikasi juga membentuk kavitas dalam media cairan sehingga meningkatkan interaksi antara muka. Kavitas juga dapat dianggap sebagai mikroreaktor karena dapat bertindak sebagai pusat reaksi kimia[16]. Hasil studi ini menunjukkan perbandingan rhodamin 30 mg/L yang teradsorpsi selama 10 menit secara shaker yaitu 56,56% sedangkan secara sonikasi meningkat menjadi 69,69%.

### Pengaruh Massa Karbon Aktif - $\text{Co}(\text{OH})_2$ terhadap Adsorpsi

Pengaruh massa komposit karbon aktif- $\text{Co}(\text{OH})_2$  terhadap adsorpsi 20 mL rhodamin 30 mg/L yang memiliki pH 8 selama sonikasi 10 menit ditunjukkan sesuai Gambar 5. Panjang gelombang maksimum rhodamin adalah 554 nm [27]. Pengukuran konsentrasi sisa rhodamin dilakukan pada panjang gelombang maksimum hasil eksperimen yang diperoleh yaitu 554 nm dan berdasarkan kurva kalibrasi standar yang memiliki  $R^2$  0,9997. Hasil pengukuran memperlihatkan dengan bertambahnya massa komposit meningkatkan persen adsorpsi rhodamin. Hal ini sesuai hasil penelitian lain yaitu semakin banyak adsorben digunakan maka adsorbat terserap semakin banyak hingga kondisi optimum [9]. Penambahan massa komposit setelah massa optimum pada 0,075 gram menghasilkan persen adsorpsi yang telah relatif stabil.

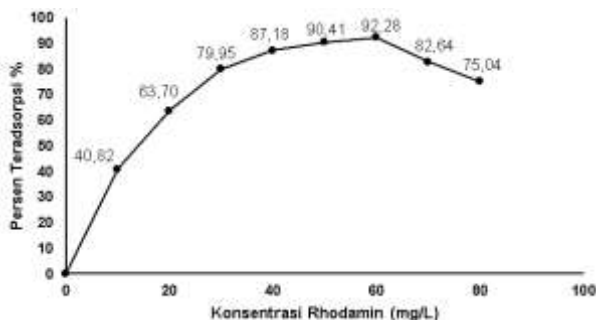


Gambar 5. Kurva pengaruh massa komposit terhadap adsorpsi

### Pengaruh Konsentrasi Rhodamin terhadap Adsorpsi

Pengaruh konsentrasi rhodamin terhadap proses adsorpsi dapat menunjukkan model isotherm yang sesuai dan konsentrasi rhodamin yang optimum. Penentuan

konsentrasi rhodamin dilakukan dengan 0,075 gram komposit yang disonikasi 10 menit bersama 20 mL rhodamin pH 8. Gambar 6 menampilkan pengaruh konsentrasi rhodamin terhadap adsorpsi oleh karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub>.



Gambar 6. Kurva pengaruh konsentrasi rhodamin terhadap adsorpsi

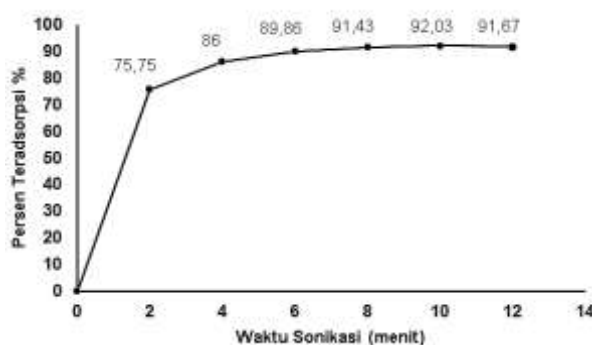
Tabel 1 menyajikan data isotherm proses adsorpsi oleh karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub>. Variasi konsentrasi rhodamin dalam proses adsorpsi menghasilkan jenis isotherm adsorpsi yang lebih dominan adalah Freundlich karena memiliki nilai R<sup>2</sup> lebih besar dari pada Langmuir. Model Freundlich terjadi karena adsorpsi heterogen atau multilapisan karena situs aktif tidak merata dan permukaan memiliki energi yang berbeda-beda. Nilai n > 1 menandakan adsorpsi cenderung secara fisika [23].

Tabel 1. Isoterm Langmuir dan Freundlich karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub>

Model Isoterm	Nilai
Langmuir	K <sub>L</sub> = 0,9 L/mg
	q <sub>m</sub> = 4,9 mg/g
	R <sup>2</sup> = 0,002
Freundlich	K <sub>f</sub> = 2,75 (mg/g)(mg/L) <sup>n</sup>
	n = 2,13
	R <sup>2</sup> = 0,058

### Pengaruh Waktu Sonikasi terhadap Adsorpsi

Pengaruh waktu sonikasi terhadap proses adsorpsi dapat menunjukkan model kinetika yang terjadi. Penentuan pengaruh waktu dilakukan dengan 0,075 gram komposit yang disonikasi bersama 20 mL rhodamin pH 8 berkonsentrasi 60 mg/L. Gambar 7 menyajikan pengaruh variasi waktu sonikasi terhadap adsorpsi rhodamin. Waktu optimum yang diperoleh adalah sonikasi 10 menit.



Gambar 7. Kurva pengaruh waktu sonikasi terhadap adsorpsi

Tabel 2 menampilkan data kinetika yang diperoleh dari adsorpsi rhodamin oleh karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub>. Model kinetika yang sesuai adalah pseudo orde dua dengan R<sup>2</sup> lebih besar dari pseudo orde satu. Nilai q<sub>e</sub> perhitungan sangat dekat dengan hasil eksperimen. Daya serap karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub> adalah 14,637 mg/g.

Tabel 2. Model kinetika adsorpsi karbon aktif - Co(OH)<sub>2</sub>

Model Kinetika	R <sup>2</sup>	k (menit <sup>-1</sup> )	Nilai q <sub>e</sub> (mg/g)	
			Perhitungan	Eksperimen
Pseudo orde satu	0,9313	-0,466	7,680	14,637
Pseudo orde dua	0,9988	0,282	14,903	14,637

Model isotherm freundlich yang diperoleh sewaktu variasi konsentrasi penelitian ini menunjukkan adsorpsi juga terjadi karena interaksi multi lapisan secara fisika, namun model pseudo orde dua yang terjadi mengindikasikan laju proses adsorpsinya bergantung pada interaksi kimia antara adsorben dan adsorbat [24, 26]. Tabel 3 menyajikan perbandingan daya serap terhadap rhodamin dari material penelitian-penelitian lain.

Table 3. Perbandingan daya serap berbagai material terhadap rhodamin

Material	Daya Serap (mg/g)	Literatur
MCM-41 terkalsinasi	1,74	[2]
Halloysite	4,25	[19]
Silica NPs	2,01	[29]
Kaolin-Natrium bentonit	11,26	[6]
Alginate beads	4,79	[30]
Karbon aktif-Co(OH) <sub>2</sub>	14,64	Penelitian ini

## 4 KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini yaitu komposit karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub> telah berhasil dipreparasi berdasarkan

karakterisasi pola XRD, spektra FTIR dan mikroskop elektron. Persen adsorpsi rhodamin oleh komposit lebih besar dari pada karbon aktif. Persen adsorpsi secara sonikasi lebih besar daripada secara *shaker*. Kondisi optimum adsorpsi pada massa komposit 0,075 gram, konsentrasi rhodamin 60 mg/L dan waktu sonikasi 10 menit. Daya serap karbon aktif-Co(OH)<sub>2</sub> adalah 14,637 mg/g. Proses adsorpsi mengikuti model isotherm freundlich dan model kinetika pseudo orde dua.

## REFERENSI

- [1] F. Ogata *et al.*, "Using Ni-Al Type and Ni-Al-Zr Type Hydroxides," *Water*, vol. 13, no. 551, 2021.
- [2] T. R. Barbosa Barros, T. Silva Batista Barbosa, T. Lins Almeida Barbosa, and M. G. Freire Rodrigues, "Adsorption of Rhodamine-B (RhB) and Regeneration of MCM-41 Mesoporous Silica," *Catal. Res.*, vol. 03, no. 01, pp. 1–20, 2023.
- [3] Z. M. Saigl, "Various adsorbents for removal of rhodamine b dye: A review," *Indones. J. Chem.*, vol. 21, no. 4, pp. 1039–1056, 2021.
- [4] G. Di *et al.*, "Simultaneous removal of several pharmaceuticals and arsenic on Zn-Fe mixed metal oxides: Combination of photocatalysis and adsorption," *Chem. Eng. J.*, vol. 328, pp. 141–151, 2017.
- [5] L. P. Hoang, H. T. Van, T. T. Hang Nguyen, V. Q. Nguyen, and P. Q. Thang, "Coconut shell activated carbon/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> composite for the removal of rhodamine B from aqueous solution," *J. Chem.*, vol. 2020, 2020.
- [6] H. He, K. Chai, T. Wu, Z. Qiu, S. Wang, and J. Hong, "Adsorption of Rhodamine B from Simulated Waste Water onto Kaolin-Bentonite Composites," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 12, pp. 1–15, 2022.
- [7] C. Espro *et al.*, "Orange peels-derived hydrochar for chemical sensing applications," *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 341, no. November 2020, p. 130016, 2021.
- [8] V. Viena, B. Bahagia, and Z. Afrizal, "Produksi Karbon Aktif dari Cangkang Sawit dan Aplikasinya Pada Penyerapan Zat Besi, Mangan dan pH Air Sumur," *J. Serambi Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 875–882, 2019.
- [9] E. Eprie, K. Bungas, and A. Abudarin, "Pemanfaatan arang cangkang sawit teraktivasi NaOH dan HCl dalam menurunkan kadar Fe, Mn dan zat warna pada air gambut," *J. Environ. Manag.*, vol. 3, no. 2, pp. 146–152, 2022.
- [10] Sirajuddin, Haryanto, and V. Adriana, "Karakteristik karbon aktif dari cangkang kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) dengan variasi jenis aktivator pada proses Aktivasi Kimia menggunakan gelombang ultrasonik," *Pros. 6th Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy.*, pp. 115–120, 2022.
- [11] K. F. H. Yeo, C. Li, H. Zhang, J. Chen, W. Wang, and Y. Dong, "Arsenic Removal from Contaminated Water Using Natural Adsorbents: A Review," *Coatings*, vol. 11, no. 11, pp. 1–18, 2021.
- [12] C. K. Chen *et al.*, "Novel design of amine and metal hydroxide functional group modified onto sludge biochar for arsenic removal," *Water Sci. Technol.*, vol. 85, no. 5, pp. 1384–1399, 2022.
- [13] M. Li, J. Liu, Y. Xu, and G. Qian, "Phosphate adsorption on metal oxides and metal hydroxides: A comparative review," *Environ. Rev.*, vol. 24, no. 3, pp. 319–332, 2016.
- [14] M. Roosta, M. Ghaedi, R. Sahraei, and M. K. Purkait, "Ultrasonic assisted removal of sunset yellow from aqueous solution by zinc hydroxide nanoparticle loaded activated carbon: Optimized experimental design," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 52, pp. 82–89, 2015.
- [15] P. S. Ardekani, H. Karimi, M. Ghaedi, A. Asfaram, and M. K. Purkait, "Ultrasonic assisted removal of methylene blue on ultrasonically synthesized zinc hydroxide nanoparticles on activated carbon prepared from wood of cherry tree: Experimental design methodology and artificial neural network," *J. Mol. Liq.*, vol. 229, pp. 114–124, 2017.
- [16] P. Liu, Z. Wu, A. V. Abramova, and G. Cravotto, "Sonochemical processes for the degradation of antibiotics in aqueous solutions: A review," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 74, p. 105566, 2021.
- [17] F. Ogata, D. Imai, M. Toda, M. Otani, and N. Kawasaki, "Adsorption of phosphate ion in aqueous solutions by calcined cobalt hydroxide at different temperatures," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 1570–1577, 2015.
- [18] K. Jedynek and B. Charnas, "Preparation and characterization of physicochemical properties of spruce cone biochars activated by CO<sub>2</sub>," *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 14, 2021.
- [19] K. Kuśmierk, J. Fronczyk, and A. Świątkowski, "Adsorptive Removal of Rhodamine B Dye from Aqueous Solutions Using Mineral Materials as Low-Cost Adsorbents," *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 234, no. 8, 2023.
- [20] E. A. Abdelrahman *et al.*, "Facile synthesis and characterization of β-cobalt hydroxide/hydrohausmannite/ramsdellite/spertinite and tenorite/cobalt manganese oxide/manganese oxide as novel nanocomposites for efficient photocatalytic degradation of methylene blue dye," *Arab. J. Chem.*, vol. 15, no. 12, p. 104372, 2022.
- [21] E. Bernard, W. J. Zucha, B. Lothenbach, and U. Mäder, "Stability of hydrotalcite (Mg-Al layered double hydroxide) in presence of different anions," *Cem. Concr. Res.*, vol. 152, no. October 2021, 2022.
- [22] K. A. Phan, D. Pihusut, and N. Tuntiwattanapun, "Preparation of rice husk hydrochar as an atrazine adsorbent: Optimization, characterization, and adsorption mechanisms," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 10, no. 3, p. 107575, 2022.
- [23] M. S. Santana, R. P. Alves, L. S. Santana, M. A. Gonçalves, and M. C. Guerreiro, "Structural, inorganic, and adsorptive properties of hydrochars obtained by

- hydrothermal carbonization of coffee waste," *J. Environ. Manage.*, vol. 302, no. October 2021, 2022.
- [24] S. G. Aragaw *et al.*, "Synthesis of CuAl-layered double hydroxide/MgO<sub>2</sub> nanocomposite catalyst for the degradation of organic dye under dark condition," *Appl. Water Sci.*, vol. 12, no. 6, pp. 1–12, 2022.
- [25] S. Jaerger, D. A. de R. Nogueira, D. S. de Oliveira, M. V. Machado, and R. Marangoni, "Low-Density Polyethylene Nanocomposite Containing Zn/Ti Layered Double Hydroxide," *J. Res. Updat. Polym. Sci.*, vol. 10, pp. 34–41, 2021.
- [26] S. Agarwal *et al.*, "Ultrasound-assisted adsorption of Sunset Yellow CFC dye onto Cu doped ZnS nanoparticles loaded on activated carbon using response surface methodology based on central composite design," *J. Mol. Liq.*, vol. 219, pp. 332–340, 2016.
- [27] N. Yuliasari, A. Wijaya, A. Amri, R. Mohadi, E. Elfita, and A. Lesbani, "Application of M<sup>2+</sup> (Magnesium, Zinc)/Alumina-Metal Oxide Composites as Photocatalysts for the Degradation of Cationic Dyes," *Ecol. Eng. Environ. Technol.*, vol. 23, no. 4, pp. 125–135, 2022.
- [28] M. Zulfajri, Y. T. Kao, and G. G. Huang, "Retrieve of residual waste of carbon dots derived from straw mushroom as a hydrochar for the removal of organic dyes from aqueous solutions," *Sustain. Chem. Pharm.*, vol. 22, no. June, p. 100469, 2021.
- [29] Yayuk Puji Lestari and A. Amaria, "Effect of Ammonia-Ethanol Mole Ratio on the Silica Nanoparticles Synthesized for Rhodamine B Dyes Adsorption," *J. Kim. Ris.*, vol. 8, no. 1, pp. 92–104, 2023.
- [30] R. Rahayu, A. Bandjar, N. C. A. Susanto, F. I. Fajarwati, and N. T. T. Phuong, "Rhodamine-B Dyes Adsorption by Beads Alginate," *Walisongo J. Chem.*, vol. 5, no. 1, pp. 29–36, 2022.