

# Penentuan Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Ion Besi oleh Sedimen Sebagai Adsorben

Isna Nurhidayati\*, Bella Mellisani, Fitria Puspita, Fajar Amelia Rahmawati Putri

Program Studi Analisis Kimia Politeknik AKA Bogor

\*E-mail: isnanurhidayati.aka@gmail.com

(Received : 30 Mei 2022; Accepted: 24 Agustus 2022; Published: 27 Agustus 2022)

## Abstrak

Kemampuan adsorpsi ion besi oleh sedimen Teluk Jakarta telah dikaji dalam pengaruh variasi konsentrasi ion besi dan waktu kontak untuk menentukan isoterm dan kinetika adsorpsi. Isoterm adsorpsi didasarkan pada hasil adsorpsi ion besi pada konsentrasi 10 sampai 30 ppm dengan interval 5 ppm. Lebih lanjut, kinetika adsorpsi ditentukan dari variasi waktu kontak yaitu 30 sampai 150 menit dengan interval 30 menit. Semua hasil adsorpsi ion besi oleh sedimen diukur dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi ion besi oleh sedimen mengikuti isoterm BET dengan nilai  $C_{BET}$  sebesar 18,6667 L/mg dan korelasi sebesar 0,8577. Model kinetika adsorpsi yang lebih sesuai adalah *pseudo* orde dua dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,9999 dan nilai  $k_2$  adalah 84,604 g  $mg^{-1} jam^{-1}$ .

*Kata kunci: Isoterm Adsorpsi; kinetika; ion besi; sedimen*

## Abstract

*The capability of iron ion adsorption by sediments of Teluk Jakarta has been studied. Adsorption of iron was investigated as a function of iron ion concentrations and contact times to determine its adsorption isotherm and kinetics. Adsorption isotherm was constructed on the yields of iron ion adsorption at a concentration of 10 to 30 ppm with an interval of 5 ppm. Furthermore, adsorption kinetics deduced from the trend found at the variation of contact times of 30 to 150 min with a gap of 30 min. All the results of the adsorption of iron ion were measured using atomic absorption spectrophotometer. The results exhibited that adsorption of iron ion followed BET isotherm with a value of  $C_{BET}$  (18,6667 L/mg) and  $R^2$  (0.8577). The pseudo-second-order was best suited for this adsorption with a value of  $R^2$  (0.9999) and  $k_2$  (84.604 g  $mg^{-1} h^{-1}$ ).*

*Keywords: Adsorption isotherm; kinetics; iron ion; sediment*

## PENDAHULUAN

Pembuangan limbah logam berat ke lingkungan perairan dalam jumlah masif akibat aktivitas industrialisasi dan urbanisasi telah menimbulkan masalah besar di seluruh dunia. Tidak seperti polutan organik, yang mayoritas mengalami degradasi biologis, ion logam berat tidak terdegradasi menjadi produk akhir yang ramah lingkungan (Gupta *et al.*, 2001). Kondisi tersebut mengakibatkan logam berat terakumulasi di lingkungan perairan dan jumlahnya melebihi ambang batas maksimal. Hal ini dapat mengancam kesehatan berbagai makhluk hidup karena toksisitas logam berat yang berbahaya.

Salah satu logam berat yang diketahui memberikan dampak negatif pada lingkungan perairan yaitu logam besi. Kontaminasi besi tersebut dapat berasal dari industri pelapisan logam, penyamakan kulit, peleburan, industri paduan logam dan baterai, serta pertambangan. Besi merupakan mikronutrien penting bagi kehidupan organisme namun besi bisa menjadi racun jika konsentrasinya tinggi (Mendil *et al.*, 2010). Jaringan-jaringan makanan merupakan media yang sangat terbuka untuk manusia

terpapar ion besi secara terus-menerus dan mengakibatkan bioakumulasi. Penumpukan besi pada organ tubuh manusia dapat mengakibatkan disfungsi hati, sumsum tulang, dan kulit (Maneechakr & Karnjanakom, 2019).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meminimalkan dampak negatif akumulasi ion besi di lingkungan perairan dengan menurunkan kandungan besi dari sumber air dan air limbah industri. Teknik yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya antara lain bioremediasi (Shah & Shah, 2020), pertukaran ion (Aboul-Magd *et al.*, 2016) membran filtrasi (Lin *et al.*, 2013), pengendapan kimia (Pohl, 2020), dan osmosis terbalik (Yoon *et al.*, 2009). Berbagai metode di atas memiliki kekurangan yaitu cukup sulit dan mahal untuk diaplikasikan di lingkungan akuatik. Lebih lanjut, dihasilkan pula limbah padat dalam jumlah besar (Fu & Wang, 2011). Oleh karena itu, perlu diterapkan metode yang mudah dipraktikkan, ramah lingkungan, dan relatif rendah biaya untuk dikembangkan (B. Liu *et al.*, 2011).

Salah satu metode yang efektif untuk mengatasi permasalahan polusi logam berat di

lingkungan akuatik adalah adsorpsi. Pada proses adsorpsi, interaksi yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat adalah gaya Van der Waals antarmolekul yang relatif lemah (Uwamariya, 2013). Secara umum, interaksi tersebut terjadi karena permukaan adsorben yang kaya gugus fungsi seperti –OH, –NH, –SH, dan –COOH (Yang *et al.*, 2019). Adsorben yang telah banyak digunakan diantaranya adalah karbon aktif (Salman *et al.*, 2021), zeolite (Ankrah *et al.*, 2022) dan grafen oksida (X. Liu *et al.*, 2019) karena memiliki luas permukaan yang tinggi. Hasil analisis kesetimbangan adsorpsi menggunakan adsorben grafen oksida diperoleh data adsorpsi yang sesuai dengan model isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir ( $R^2 > 0,97$ ) (Othman *et al.*, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi adsorpsi multilayer pada permukaan adsorben. Pada kinetika adsorpsinya mengikuti model kinetika pseudo orde dua ( $R^2 > 0,999$ ), sedangkan untuk model kinetika pseudo orde satu memberikan nilai  $R^2$  yang jauh lebih rendah.

Penelitian yang dilakukan kali ini bertujuan untuk menentukan model adsorpsi isoterm dan kinetika adsorpsi menggunakan alternatif adsorben sedimen karena pemanfaatan sedimen untuk adsorpsi ion logam berat di lingkungan akuatik masih belum banyak dibahas. Sebagai negara maritim dengan kepulauan yang besar, Indonesia memiliki sedimen pantai yang melimpah. Sedimen pantai dapat digunakan sebagai alternatif adsorben karena sering dilapisi besi oksida amorf sehingga memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi. Penggunaan sedimen yang dilapisi besi oksida sebagai adsorben menunjukkan kapasitas adsorpsi yang baik untuk fosfat (Zhang & Huang, 2007). Penggunaan sedimen sebagai adsorben pada penyerapan logam berat juga telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Kajian adsorpsi logam Pb oleh sedimen telah dilakukan di Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan (Purwiyanto, 2015). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar Pb di Muara Sungai Banyuasin melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh Menteri Lingkungan Hidup. Konsentrasi logam Pb pada bagian sedimen lebih tinggi daripada konsentrasi pada perairan, sehingga menunjukkan bahwa terjadi adsorpsi logam Pb oleh sedimen. Adsorpsi logam berat Pb, Cu, dan Zn oleh sedimen juga dipelajari di Muara Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa logam Zn memiliki kapasitas adsorpsi paling tinggi dibanding logam lainnya (Maslukah dkk., 2017). Penelitian serupa juga dilakukan untuk mempelajari adsorpsi logam krom oleh sedimen. Sedimen yang digunakan berasal dari waduk Xinlicheng, Kota Changcun, Provinsi Jilin, China. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sedimen memiliki kapasitas adsorpsi yang cukup tinggi pada penyerapan logam krom dan mengikuti model isoterm Freundlich (Jiang *et al.*, 2021).

Pada penelitian ini digunakan sedimen Teluk Jakarta sebagai adsorben. Sedimen Teluk Jakarta yang telah dikarakterisasi dengan spektrofotometer inframerah menunjukkan adanya gugus karbonat, silikat, besi oksida, dan fosfat (Budiawan *et al.*, 2021). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penggunaan sedimen sebagai adsorben dikaji lebih lanjut tentang kemampuan adsorpsinya terhadap ion besi yang dipengaruhi konsentrasi ion besi dan waktu kontak yang kemudian dilakukan penentuan model adsorpsi isoterm yang sesuai untuk adsorpsi ion besi oleh sedimen dan kinetika adsorpsinya.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sedimen, NaOH, HCl, larutan standar besi, kertas saring Whatman no 42, kertas pH universal, Peralatan yang digunakan antara lain Spektrofotometer serapan atom, *shaker*, neraca analitik dan peralatan gelas.

### Persiapan Sedimen sebagai Adsorben

Sedimen yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Teluk Jakarta. Sedimen dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 24 jam dan sedimen kering dihaluskan sampai ukuran 100 mesh.

### Pengaruh Konsentrasi Adsorpsi Besi

Sebanyak 1g sedimen ditambahkan ke dalam 50 mL larutan besi dengan konsentrasi 10, 15, 20, 25, dan 30 ppm. Larutan diatur sampai diperoleh pH 5 dengan penambahan HCl 0,1 N dan NaOH 0,1 N. Larutan diaduk dengan menggunakan *shaker* selama 30 menit dengan kecepatan 150 rpm. Setelah proses adsorpsi, dilakukan penyaringan dan terhadap filtrat dianalisis kadar besi dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom. Kapasitas penyerapan ditentukan berdasarkan persamaan berikut (Jeppu & Clement, 2012; Q. S. Liu *et al.*, 2010).

$$qe = \frac{(Co - Ce)V}{W} \quad (1)$$

Keterangan:

$qe$ : kapasitas penyerapan (mg/g)

$Co$  : konsentrasi awal larutan (mg/L)

$Ce$  : konsentrasi terukur (mg/L)

$V$  : volume larutan (mL)

$W$ : Berat adsorben (g)

### Isoterm Adsorpsi

Penentuan isotherm adsorpsi berdasarkan persamaan Langmuir, Freundlich, Elovich, dan BET. Model adsorpsi Langmuir berdasarkan persamaan berikut (Ayawei *et al.*, 2017).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m \cdot K_L} + \frac{1}{q_m} \cdot C_e \quad (2)$$

$$\ln q = \ln k + \frac{1}{n} \ln C \quad (3)$$

Uji isoterm Langmuir dilakukan dengan persamaan berikut

$$\frac{1}{q_e} = \left[ \frac{1}{K_L Q_m} \right] \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (4)$$

dimana  $q_m$  merupakan kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g) dan  $K_L$  merupakan konstanta Langmuir (L/mg).

Model isoterm adsorpsi Freundlich berdasarkan persamaan berikut :

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (5)$$

Uji isoterm Freundlich dilakukan dengan persamaan berikut (Ayawei *et al.*, 2017).

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (6)$$

$K_F$  merupakan konstanta Freundlich (mg/g) (L/mg)<sup>1/n</sup> dan nilai  $\frac{1}{n}$  identik dengan faktor heterogenitas energi ikatan dari isoterm Freundlich.

Model isoterm Elovich mengikuti persamaan berikut (Ayawei *et al.*, 2017).

$$\frac{q_e}{q_m} = K_E C_e e^{-\frac{q_e}{q_m}} \quad (7)$$

Bentuk linier dari model isoterm Elovich ditunjukkan oleh persamaan berikut (Ayawei *et al.*, 2017).

$$\ln \frac{q_e}{C_e} = \ln K_e q_m - \frac{q_e}{q_m} \quad (8)$$

di mana kapasitas adsorpsi maksimum Elovich ( $q_m$ ) dan konstanta Elovich ( $K_e$ ) dihitung berdasarkan slop dan intersep dari kurva  $\ln(\frac{q_e}{C_e})$  versus  $q_e$ .

Model isoterm adsorpsi BET (Brunauer-Emmet-Teller) merupakan pengembangan dari model isoterm Langmuir untuk pendekatan adsorpsi multilayer (Maria, 2003). Bentuk persamaan BET adalah sebagai berikut (Foo & Hameed, 2010).

$$q_e = \frac{q_s C_{BET} C_e}{(C_s - C_e) + \left[ 1 + (C_{BET} - 1) \left( \frac{C_e}{C_s} \right) \right]} \quad (9)$$

Bentuk linier dari model isoterm BET adalah sebagai berikut (Foo & Hameed, 2010).

$$\frac{C_e}{q_e(C_s - C_e)} = \frac{1}{q_s C_{BET}} + \frac{(C_{BET} - 1) C_e}{q_s C_{BET} C_s} \quad (10)$$

di mana nilai konstanta BET ( $C_{BET}$ ) diperoleh berdasarkan kurva  $\frac{C_e}{q_e(C_s - C_e)}$  versus  $\frac{C_e}{C_s}$ .

### Kinetika Adsorpsi

Sebanyak 50 mL larutan besi dengan konsentrasi 25 ppm dimasukkan ke dalam gelas piala dan ditambahkan 1g sedimen. pH larutan diatur sebesar 5 dengan penambahan HCl 0,1 N dan NaOH 0,1 N. Larutan diaduk dengan menggunakan *shaker* pada kecepatan 150 rpm. Variasi waktu adsorpsi dilakukan selama 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 jam. Setelah proses adsorpsi, dilakukan penyaringan dan terhadap filtrat dianalisis kadar besi dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom. Model persamaan kinetika pseudo orde 1 sebagai berikut (Boudrahem *et al.*, 2011):

$$\log(q_0 - qt) = \log q_e - \frac{k_1}{2.003} t \quad (11)$$

Model kinetika adsorpsi pseudo orde 2 sebagai berikut:

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{K_2 q^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (12)$$

Keterangan:

$qt$  : Jumlah yang terserap pada waktu tertentu (mg/g)

$q_e$  : kapasitas adsorpsi saat keadaan setimbang (mg/g)

$k_1$  : nilai tetapan pseudo orde satu (jam<sup>-1</sup>)

$t$  : waktu kontak (jam).

$k_2$  : nilai tetapan pseudo orde dua (g mg<sup>-1</sup>. jam<sup>-1</sup>)

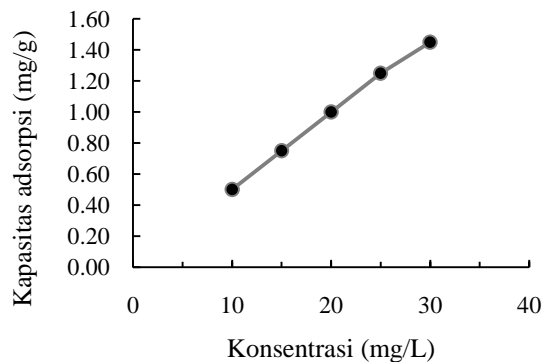
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Konsentrasi Pada Adsorpsi Besi

Pengaruh konsentrasi awal pada adsorpsi ion besi oleh sedimen dilakukan dengan variasi konsentrasi awal ion besi, yaitu pada konsentrasi 10 ppm sampai dengan 30 ppm. Pengaruh konsentrasi awal larutan besi terhadap kapasitas penyerapan dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada Gambar 1 terlihat bahwa kapasitas adsorpsi ion besi meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi. Adanya korelasi yang linier antara kenaikan konsentrasi dengan kapasitas penyerapan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penyerapan maksimum terjadi pada konsentrasi ion besi 30 ppm dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1,45 mg/g. Hal ini disebabkan jumlah sisi aktif meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi sehingga semakin banyak ion besi yang terserap pada permukaan adsorben (Yan *et al.*, 2017). Jumlah logam yang terserap pada permukaan adsorben bergantung pada ketersediaan sisi aktif untuk

pengikatan logam tersebut (Awad, 2017). Faktor lain yang juga mempengaruhi kapasitas adsorpsi adalah ketersediaan *solute*, interaksi elektrostatik, dan interferensi pada sisi ikatan (Ayuba *et al.*, 2020; Şölenner *et al.*, 2008). Penelitian dengan hasil serupa juga dilaporkan oleh Jelodaret *al.* (2012) yang melakukan adsorpsi ion besi oleh partikel tersuspensi dan sedimen di Chalus River, Iran.



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi pada adsorpsi besi oleh sedimen

### Isoterm Adsorpsi

Dalam proses adsorpsi dikenal istilah isoterm adsorpsi yang merupakan salah satu cara untuk menggambarkan fenomena adsorpsi/mobilisasi/retensi suatu zat dalam media berair pada permukaan fasa padat (adsorben) pada suhu dan pH yang tetap (Foo & Hameed, 2010). Selain itu, isoterm adsorpsi juga dapat memperlihatkan hubungan antara jumlah adsorbat yang teradsorpsi tiap satuan berat adsorben dan jumlah adsorbat yang tetap berada dalam larutan saat kesetimbangan. Model isoterm adsorpsi yang diperoleh dari nilai tetapan isoterm akan menggambarkan sifat permukaan dan kapasitas adsorpsi dari adsorben (Chakraborty *et al.*, 2022). Dalam penelitian ini telah dipelajari empat model isoterm adsorpsi untuk menentukan mekanisme interaksi ion besi dengan permukaan sedimen laut, yaitu isoterm Langmuir, Freundlich, Elovich, dan BET.

Proses adsorpsi pada model isoterm Langmuir didefinisikan sebagai akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) pada permukaan adsorben. Proses adsorpsi dalam model isoterm Langmuir diasumsikan sebagai berikut: (1) setiap sisi adsorben memiliki permukaan yang homogen dengan energi yang sama, (2) hanya satu molekul adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh setiap sisi adsorben untuk setiap sisi aktifnya (3) tidak ada interaksi antara molekul yang terserap dengan sisi adsorben disekitarnya, dan (4) pada saat adsorpsi maksimum hanya terbentuk satu lapisan tunggal (*monolayer*) (Langmuir, 1917).

Model isoterm Freundlich memperkirakan bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen (Foo & Hameed, 2010). Adsorpsi pada model Freundlich merupakan adsorpsi fisik yang terjadi pada beberapa

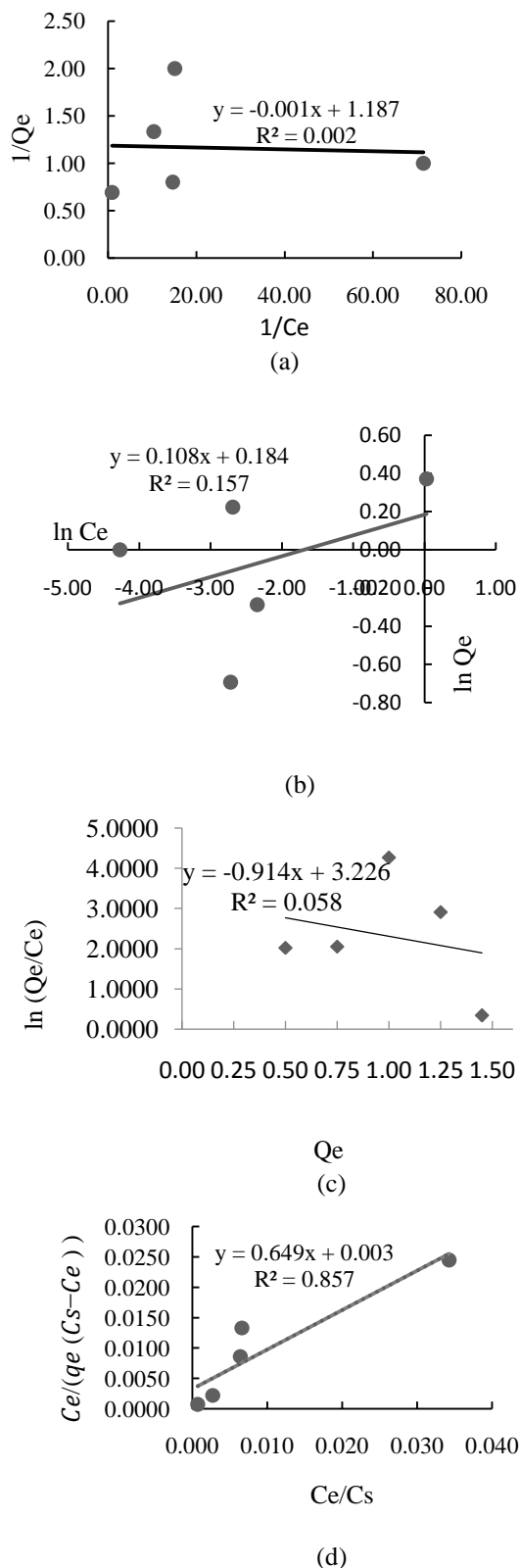
lapis sehingga mengakibatkan ikatannya tidak kuat. Terdapat beberapa asumsi pada model isoterm Freundlich, yaitu: (1) Tidak ada asosiasi dan disosiasi setelah molekul-molekul terjerap pada permukaan padatan, (2) hanya terjadi mekanisme adsorpsi secara fisis, tidak ada mekanisme adsorpsi secara kimia, dan (3) permukaan padatan bersifat heterogen (Yustinah, dkk., 2019).

Menurut model isoterm Elovich, adsorpsi terjadi melalui reaksi kimia yang bertanggung jawab selama proses adsorpsi berlangsung (Batool *et al.*, 2018). Model isoterm adsorpsi Elovich berdasarkan pada prinsip kinetika yang berasumsi bahwa sisi adsorpsi meningkat secara eksponensial, yang menunjukkan adsorpsi multilayer (Ayawei *et al.*, 2017).

Model isoterm BET secara teoritis digunakan untuk adsorpsi multilayer. Model isoterm ini menggambarkan fenomena adsorpsi di mana terbentuk lapisan adsorbat setelah terbentuknya lapisan tunggal (Ringot *et al.*, 2007). Asumsi dasar yang digunakan pada model isoterm BET adalah bahwa tiap-tiap molekul yang terjerap pada lapisan pertama merupakan tempat untuk terjadinya lapisan kedua, dan seterusnya (Yustinah, dkk., 2019).

Model isoterm Langmuir adalah yang paling banyak digunakan dalam adsorpsi (Radnia, 2011). Pada keadaan setimbang dan isothermal, adsorpsi suatu adsorbat sering dinyatakan dengan persamaan empiris Freundlich, Langmuir, dan BET (Yustinah dkk., 2019), serta model Elovich (Ayawei *et al.*, 2017) dengan variasi konsentrasi. Studi isoterm adsorpsi dilakukan dengan cara mengetahui hubungan kesetimbangan antara jumlah molekul yang teradsorpsi pada permukaan ( $q_e$ ) dengan konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan dalam fasa cair ( $C_e$ ). Hasil yang diperoleh selanjutnya diuji menggunakan persamaan Langmuir, Freundlich, Elovich, dan BET sehingga diperoleh grafik linearisasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan data nilai  $R^2$ , dapat disimpulkan bahwa model isoterm BET lebih sesuai pada adsorpsi ion besi oleh sedimen. Hal ini menegaskan bahwa adsorpsi ion besi oleh sedimen terjadi tidak hanya melalui pembentukan lapisan monolayer, tetapi molekul yang teradsorpsi pertama menyediakan situs adsorpsi untuk molekul berikutnya sehingga proses adsorpsi berlanjut membentuk lapisan multilayer. Parameter adsorpsi isoterm Langmuir, Freundlich, Elovich, dan BET dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Grafik linearisasi persamaan model isotherm Langmuir (a) Freundlich (b) Elovich (c) dan BET (d) pada proses adsorpsi besi menggunakan sedimen laut

Tabel 1. Parameter adsorpsi isotherm Langmuir, Freundlich, Elovich, dan BET

<b>Langmuir</b>	$K_L$ (L/mg)	-11875,51
	$q_m$ (mg/g)	0,8421
	$R^2$	0,0029
<b>Freundlich</b>	$K_F$ $((\text{mg/g}) \cdot (\text{L/mg})^{1/n})$	1,2020
	$1/n$	0,1089
	$R^2$	0,1574
<b>Elovich</b>	$K_E$ (L/mg)	19,1212
	$q_m$ (mg/g)	1,0934
	$R^2$	0,0588
<b>BET</b>	$C_{BET}$ (L/mg)	18,6667
	$q_s$ (mg/g)	16,2309
	$R^2$	0,8577

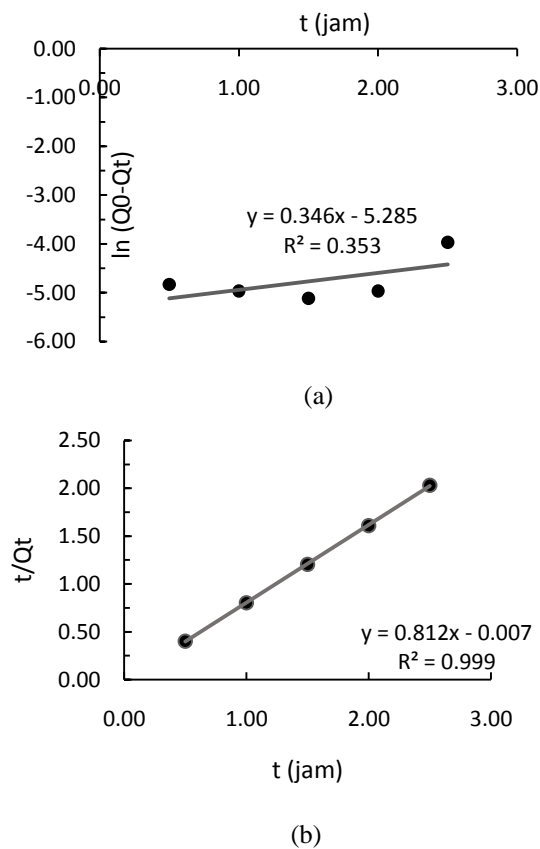
Berdasarkan analisis yang telah dilakukan menggunakan persamaan isotherm Langmuir, Freundlich, Elovich, dan BET diperoleh bahwa tiga grafik linierisasi (Langmuir, Freundlich, Elovich) menunjukkan hasil yang tidak sesuai dengan data percobaan karena memiliki harga koefisien korelasi yang sangat rendah. Dari Tabel 1 terlihat bahwa nilai koefisien korelasi isotherm tertinggi adalah pada isotherm BET dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,8577. Hal ini menunjukkan bahwa model isotherm BET lebih sesuai digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi ion besi pada permukaan sedimen. Berdasarkan model tersebut maka diasumsikan bahwa ion besi teradsorpsi pada permukaan sedimen membentuk lapisan multilayer. Penelitian lain yang menunjukkan hasil serupa adalah adsorpsi ion Zinc oleh abu batu bara (Agarwal *et al.*, 2014).

### Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi adalah salah satu karakteristik penting yang bertanggung jawab pada efisiensi adsorpsi. Proses kinetika adsorpsi bergantung pada sifat fisika dan kimia adsorben serta kondisi pada saat pengoperasian (Adekola *et al.*, 2016; Ayuba *et al.*, 2020). Model kinetika adsorpsi digunakan untuk menggambarkan persamaan laju pada proses adsorpsi padat-cair. Tetapan laju dan orde reaksi diperoleh berdasarkan kesesuaian model dengan data eksperimen. Model kinetika menggambarkan karakteristik laju reaksi dari waktu ke waktu selama proses adsorpsi (Wang & Guo, 2020).

Untuk menentukan model kinetika reaksi pada adsorpsi besi oleh sedimen dilakukan dengan mempelajari dua model kinetika reaksi yang umum digunakan, yaitu pseudo orde 1 dan pseudo orde 2. Hasil kinetika penyerapan besi oleh sedimen dapat

dilihat pada Gambar 3. Parameter yang digunakan untuk menyesuaikan setiap model ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 3. Studi kinetika adsorpsi ion besi oleh sedimen laut (a) model pseudo orde 1 (b) model pseudo orde 2

Hasil studi kinetika yang ditampilkan pada Gambar 3 menunjukkan kesesuaian masing-masing model kinetika adsorpsi ion besi oleh sedimen. Berdasarkan kurva yang diperoleh dapat dilihat hubungan yang linier diperoleh pada reaksi pseudo orde 2. Hasil yang diberikan pada Gambar 3(a) menunjukkan bahwa model kinetika pseudo orde satu memiliki nilai koefisien regresi yang kecil ( $R^2 = 0,3532$ ), sehingga tidak sesuai dengan data percobaan. Model kinetika pseudo orde dua memiliki nilai koefisien regresi yang mendekati 1 ( $R^2 = 0,9999$ ) yang ditunjukkan pada Gambar 3(b) mengindikasikan bahwa model kinetika ini dapat menggambarkan proses adsorpsi ion besi oleh sedimen.

Berdasarkan perbandingan nilai tetapan laju ( $k$ ) yang tertera pada Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai konstanta laju pada kinetika pseudo orde dua lebih besar daripada pseudo orde satu. Nilai konstanta laju pada kinetika pseudo orde dua adalah sebesar  $84,604 \text{ g mg}^{-1} \text{ jam}^{-1}$ , artinya bahwa tiap 1 gram adsorben mampu mengadsorpsi  $84,604 \text{ mg}$  adsorbat dalam waktu 1 jam. Tingginya nilai koefisien regresi juga menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi

sebanding dengan jumlah sisi aktif yang terdapat pada adsorben (Dim *et al.*, 2021). Dengan demikian, pada penelitian ini model kinetika pseudo orde dua paling sesuai untuk menggambarkan proses adsorpsi ion besi oleh sedimen.

Tabel 2. Parameter kinetika adsorpsi besi oleh sedimen berdasarkan data percobaan

	Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde 1	Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde 2
$k \text{ (jam}^{-1}\text{)}$	0,346	$k \text{ (g mg}^{-1} \text{ jam}^{-1}\text{)}$ 84,604
$R^2$	0,3532	$R^2$ 0,9999

Menurut model ini, adsorpsi ion besi oleh sedimen berdasarkan asumsi oleh peristiwa kemisorpsi (Low *et al.*, 2000). Pada peristiwa kemisorpsi (adsorpsi kimia), ion logam menempel pada permukaan adsorben membentuk ikatan kimia (biasanya ikatan kovalen) dengan bilangan koordinasi yang maksimal pada permukaan adsorben (Kumar & Kirthika, 2009). Dengan kata lain, kemisorpsi melibatkan gaya valensi melalui *sharing* atau pertukaran ion antara ion logam dan adsorben (Ho and McKay, 1999). Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa model kinetika pseudo orde dua lebih sesuai pada adsorpsi besi dan logam berat lainnya, antara lain adsorpsi Pb(II) oleh sedimen (Ayuba *et al.*, 2020); adsorpsi Fe(II) oleh sekam padi (Adekola *et al.*, 2016); adsorpsi besi oleh kitosan tertaut tiourea (Dai *et al.*, 2012).

## KESIMPULAN

Dalam penelitian ini telah dipelajari isoterm dan kinetika adsorpsi ion besi oleh sedimen. Penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi besi meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi adsorbat. Adsorpsi ion besi oleh sedimen mengikuti model isoterm BET dan proses adsorpsi dapat dijelaskan dengan baik menggunakan model kinetika pseudo orde dua. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sedimen memiliki peranan dalam mengontrol kadar ion besi di perairan dan dapat dijadikan sebagai alternatif untuk penurunan kadar ion besi di perairan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hasannattaj, J. A., Amini, R. H., Navaiynia, B., Zazouli, M.A. (2012). Heavy metal ions adsorption by suspended particle and sediment of the Chalus River, Iran. *African Journal of Biotechnology*, 11(3), 628–634. <https://doi.org/10.5897/ajb09.902>.
- Aboul-Magd, A. A. S., Al-Husain, S. A. R., Al-Zahrani, S. A. (2016). Batch adsorptive removal of Fe(III), Cu(II) and Zn(II) ions in aqueous and aqueous organic–HCl media by

- Dowex HYRW2-Na Polisher resin as adsorbents. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1–S8.  
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.04.002>.
- Adekola, F. A., Hodonou, D. S. S., Adegoke, H. I. (2016). Thermodynamic and kinetic studies of biosorption of iron and manganese from aqueous medium using rice husk ash. *Applied Water Science*, 6(4), 319–330.  
<https://doi.org/10.1007/s13201-014-0227-1>.
- Agarwal, A. K., Kadu, M. S., Pandhurnekar, C. P., Muthreja, I. L. (2014). Langmuir, Freundlich and BET Adsorption Isotherm Studies for Zinc ions onto coal fly ash. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 3(1), 64–71.
- Ankrah, A. F., Tokay, B., Snape, C. E. (2022). Heavy Metal Removal from Aqueous Solutions Using Fly-Ash Derived Zeolite NaP1. *International Journal of Environmental Research*, 16(2), 1–10.  
<https://doi.org/10.1007/s41742-022-00395-9>
- Awad, A. E. (2017). Removal of Fe+3 and Cu+2 Ions from Aqueous Solutions by Adsorption Using Peanut Hulls. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 48(2), 23–37.  
<https://doi.org/10.21608/ajas.2017.3905>
- Ayawei, N., Ebelegi, A. N., Wankasi, D. (2017). Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms. *Journal of Chemistry*, 2017.  
<https://doi.org/10.1155/2017/3039817>
- Ayuba, A. M., Ladan, M., Muhammad, A. S. (2020). Thermodynamic and Kinetic Study of Pb (II) Amputation by River Sediment. *Applied Journal of Environmental Engineering Science*, 3, 213–226.
- Batool, F., Akbar, J., Iqbal, S., Noreen, S., Bukhari, S. N. A. (2018). Study of Isothermal, Kinetic, and Thermodynamic Parameters for Adsorption of Cadmium: An Overview of Linear and Nonlinear Approach and Error Analysis. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2018.  
<https://doi.org/10.1155/2018/3463724>.
- Boudrahem, F., Soualah, A., Aissani-Benissad, F. (2011). Pb(II) and Cd(II) removal from aqueous solutions using activated carbon developed from coffee residue activated with phosphoric acid and zinc chloride. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 56(5), 1946–1955.  
<https://doi.org/10.1021/je1009569>.
- Budiawan, Maimulyanti, A., Saefumillah, A., Suseno, H. (2021). Characterization and fractionation of phosphorus using sequential extraction from marine sediment of Jakarta Bay. *Rasayan Journal of Chemistry*, 14(3), 1544–1550.  
<https://doi.org/10.31788/RJC.2021.1436050>.
- Chakraborty, R., Asthana, A., Singh, A. K., Jain, B., Susan, A. B. H. (2022). Adsorption of heavy metal ions by various low-cost adsorbents: a review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(2), 342–379.  
<https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1722811>.
- Dai, J., Ren, F. L., Tao, C. Y. (2012). Adsorption behavior of Fe(II) and Fe(III) ions on thiourea cross-linked chitosan with Fe(III) as template. *Molecules*, 17(4), 4388–4399.  
<https://doi.org/10.3390/molecules17044388>
- Dim, P. E., Mustapha, L. S., Termtanun, M., & Okafor, J. O. (2021). Adsorption of chromium (VI) and iron (III) ions onto acid-modified kaolinite: Isotherm, kinetics and thermodynamics studies. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(4).  
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103064>
- Foo, K. Y., Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2–10.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>.
- Fu, F., Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407–418.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>.
- Grande-Tovar, C. D., Vallejo, W., & Zuluaga, F. (2018). Equilibrium and kinetic study of lead and copper ion adsorption on chitosan-grafted-polyacrylic acid synthesized by surface initiated atomic transfer polymerization. *Molecules*, 23(9).  
<https://doi.org/10.3390/molecules23092218>
- Gupta, V. K., Gupta, M., & Sharma, S. (2001). Process development for the removal of lead and chromium from aqueous solutions using red mud - An aluminium industry waste. *Water Research*, 35(5), 1125–1134.  
[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00389-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00389-4)
- Jeppu, G. P., & Clement, T. P. (2012). A modified Langmuir-Freundlich isotherm model for simulating pH-dependent adsorption effects. *Journal of Contaminant Hydrology*, 129–130, 46–53.  
<https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2011.12.001>
- Jiang, Y., Ma, X. L., Sun, F. Y., Guo, Y. X., Ren, L. J., Wang, Y. J., & Xie, Z. L. (2021). A comparative study on the adsorption properties of heavy metal CR in lake sediment and soil. *Applied Ecology and Environmental Research*, 19(2), 901–914.  
[https://doi.org/10.15666/aeer/1902\\_901914](https://doi.org/10.15666/aeer/1902_901914)
- Kumar, P. S., & Kirthika, K. (2009). Equilibrium and

- kinetic study of adsorption of nickel from aqueous solution onto bael tree leaf powder. *Journal of Engineering Science and Technology*, 4(4), 351–363.
- Langmuir, I. (1917). The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part II.-Liquids. *Journal of the Franklin Institute*, 184(5), 721. [https://doi.org/10.1016/s0016-0032\(17\)90088-2](https://doi.org/10.1016/s0016-0032(17)90088-2)
- Lin, J. L., Huang, C., Pan, J. R., & Wang, Y. S. (2013). Fouling mitigation of a dead-end microfiltration by mixing-enhanced preoxidation for Fe and Mn removal from groundwater. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 419, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2012.11.053>
- Liu, B., Wang, D., Xu, Y., & Huang, G. (2011). Adsorption properties of Cd(II)-imprinted chitosan resin. *Journal of Materials Science*, 46(5), 1535–1541. <https://doi.org/10.1007/s10853-010-4958-6>
- Liu, Q. S., Zheng, T., Wang, P., Jiang, J. P., & Li, N. (2010). Adsorption isotherm, kinetic and mechanism studies of some substituted phenols on activated carbon fibers. *Chemical Engineering Journal*, 157(2–3), 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.11.013>
- Liu, X., Ma, R., Wang, X., Ma, Y., Yang, Y., Zhuang, L., Zhang, S., Jehan, R., Chen, J., & Wang, X. (2019). Graphene oxide-based materials for efficient removal of heavy metal ions from aqueous solution: A review. *Environmental Pollution*, 252, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.050>
- Low, K. S., Lee, C. K., & Liew, S. C. (2000). Sorption of cadmium and lead from aqueous solutions by spent grain. *Process Biochemistry*, 36(1–2), 59–64. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(00\)00177-1](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(00)00177-1)
- Maneechakr, P., & Karnjanakom, S. (2019). The essential role of Fe(III) ion removal over efficient/low-cost activated carbon: surface chemistry and adsorption behavior. *Research on Chemical Intermediates*, 45(11), 11164–11169. <https://doi.org/10.1007/s11164-019-03851-y>
- Maslukah, L., Yudiati, E., & Sarjito. (2017). Model Adsorpsi Logam Berat Pb, Cu, dan Zn Sistem Air-Sedimen Muara Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *Maspari*, 9(2), 149–158.
- Mendil, D., Ünal, Ö. F., Tüzen, M., & Soylak, M. (2010). Determination of trace metals in different fish species and sediments from the River Yeşili in Tokat, Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 48(5), 1383–1392. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.03.006>
- Othman, N. H., Alias, N. H., Shahrudin, M. Z., Abu Bakar, N. F., Nik Him, N. R., & Lau, W. J. (2018). Adsorption kinetics of methylene blue dyes onto magnetic graphene oxide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2803–2811. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.04.024>
- Pohl, A. (2020). Removal of Heavy Metal Ions from Water and Wastewaters by Sulfur-Containing Precipitation Agents. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(10), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04863-w>
- Purwiyanto, A. I. S. (2015). Distribution and Metal Adsorption of Lead (Pb) In Estuary Banyuasin, South Sumatra (Distribusi dan Adsorpsi Logam Timbal (Pb) di Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan). *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 20(3), 153. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.20.3.153-162>
- Radnia, H. (2011). Isotherm and Kinetics of Fe(II) Adsorption onto Chitosan in a Batch Process. *Iranica Journal of Energy & Environment*, January 2011, 183–187. <https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2011.02.03.1837>
- Ringot, D., Lerzy, B., Chaplain, K., Bonhoure, J. P., Auclair, E., & Larondelle, Y. (2007). In vitro biosorption of ochratoxin A on the yeast industry by-products: Comparison of isotherm models. *Bioresour Technol*, 98(9), 1812–1821. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.015>
- Salman, S. D., Rasheed, I. M., & Mohammed, A. K. (2021). Adsorption of heavy metal ions using activated carbon derived from Eichhornia (water hyacinth). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 779(1), 0–14. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012074>
- Shah, A., & Shah, M. (2020). Characterisation and bioremediation of wastewater: A review exploring bioremediation as a sustainable technique for pharmaceutical wastewater. *Groundwater for Sustainable Development*, 11(August 2019), 100383. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100383>
- Şölenner, M., Tunali, S., Özcan, A. S., Özcan, A., & Gedikbey, T. (2008). Adsorption characteristics of lead(II) ions onto the clay/poly(methoxyethyl)acrylamide (PMEA) composite from aqueous solutions. *Desalination*, 223(1–3), 308–322. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.221>
- Uwamariya, V. (2013). *Adsorptive Removal of Heavy Metals from Groundwater by Iron Oxide*



- based adsorbents*. CRC Press/Balkema.
- Wang, J., & Guo, X. (2020). Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications, and solving methods. *Journal of Hazardous Materials*, 390(January), 122156. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122156>
- Y.S. Ho, M. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34, 451–465. <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.7b00090>
- Yan, Z. li, Liu, Y. guo, Tan, X. fei, Liu, S. bo, Zeng, G. ming, Jiang, L. hua, Li, M. fang, Zhou, Z., Liu, S., & Cai, X. xi. (2017). Immobilization of aqueous and sediment-sorbed ciprofloxacin by stabilized Fe-Mn binary oxide nanoparticles: Influencing factors and reaction mechanisms. *Chemical Engineering Journal*, 314, 612–621. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.019>
- Yang, X., Wan, Y., Zheng, Y., He, F., Yu, Z., Huang, J., Wang, H., Ok, Y. S., Jiang, Y., & Gao, B. (2019). Surface functional groups of carbon-based adsorbents and their roles in the removal of heavy metals from aqueous solutions: A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 366, 608–621. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.119>
- Yoon, J., Amy, G., Chung, J., Sohn, J., & Yoon, Y. (2009). Removal of toxic ions (chromate, arsenate, and perchlorate) using reverse osmosis, nanofiltration, and ultrafiltration membranes. *Chemosphere*, 77(2), 228–235. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.07.028>
- Yustinah, Hudzaifah, Aprilia, M., & AB, S. (2019). Keseimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch. *Jurnal KONVERSI*, 9(1), 17–28. <https://doi.org/10.24853/konversi.9.1.12>
- Zhang, J. Z., & Huang, X. L. (2007). Relative importance of solid-phase phosphorus and iron on the sorption behavior of sediments. *Environmental Science and Technology*, 41(8), 2789–2795. <https://doi.org/10.1021/es061836q>