

KINETIKA ADSORPSI Pb(II) OLEH ADSORBEN PASIR TERAKTIVASI NaOH DENGAN VARIASI KONSENTRASI

Martasiana Karbeka

Program Studi Kimia, Universitas Tribuana Kalabahi, Kalabahi, Indonesia

Email: karbekamartasiana@gmail.com

Article History:

Received: October 26, 2023

Revised: April 16, 2024

Accepted: April 17, 2024

Published: June 8, 2024

ABSTRACT

This study analyzes the adsorption kinetics of the highly toxic heavy metal Pb(II) using white sand adsorbent. The white sand adsorbent was activated with NaOH at concentrations of 2, 4, and 6 M. The adsorption method used was in the presence of NaOH. The aim of the research was to determine the adsorption kinetics pattern. The method employed in this study is batch adsorption with varying time intervals of 15, 30, 60, 90, and 120 minutes. The uptake of Pb(II) was measured using a linear regression equation. The behavior pattern of Pb(II) uptake by the adsorbent was analyzed using first-order and second-order kinetics models, as well as the pseudo-first-order Lagergren equation and the pseudo-second-order Ho equation. The study found that the uptake of Pb(II) by sand adsorbents, with various variations of both control and activated NaOH 2, 4, and 6 M, followed the pseudo second-order adsorption kinetics with a coefficient of determination (R^2) of 1. Furthermore, the values of $q_{e,exp}$ and $q_{e,hit}$ were found to be similar based on the study of second-order pseudo kinetics, with both values being around 8.3 mg/g. The sand adsorbent activated with 4 M NaOH exhibits the highest k value of 206.921 g/mg.h, indicating a faster rate of adsorbate absorption.

Keywords: lead, sand, kinetic models, activated, order, pseudo second order

PENDAHULUAN

Salah satu polutan anorganik yang berbahaya di lingkungan yakni logam berat dikarenakan adanya daya toksik yang berbeda dari tiap polutan logam berat. Tingkat toksisitas logam sebagai berikut $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{2+} > Cr^{2+}, Sn^{2+} > Zn^{2+}$. Logam berat tersebut dikategorikan dalam tiga kelas yakni toksik tinggi, sedang dan rendah. Logam berat timbal (Pb) tergolong dalam logam berat dengan tingkat toksisitas tinggi (Irena kostova, 2023).

Keberadaan timbal di lingkungan berasal dari aktivitas manusia, timbal merupakan salah satu campuran pada bahan bakar yang dalam proses pembakaran kendaraan akan menghasilkan zat sisa garam timbal (klorin, bromin, oksida) yang dilepaskan ke lingkungan dari pembuangan asap kendaraan. Zat sisa yang dilepaskan akan mencemari tanah, air maupun

udara dikarenakan sifat *non degradable* sehingga akan mengendap di tanah maupun pada sedimen di perairan dan juga partikel berukuran kecil akan terbawa udara ke atmosfer dan kembali ke tanah saat terjadi hujan. Logam timbal (Pb) yang terakumulasi di lingkungan dapat masuk dalam rantai makanan dan dikonsumsi oleh manusia sehingga membahayakan kesehatan organ dalam seperti penyakit saraf, sistem reproduksi, ginjal, maupun sistem saraf pusat (otak) (Jadaa & Mohammed, 2023; Kostova, 2024).

Keberadaan polutan timbal di lingkungan dapat diminimalisir dengan memanfaatkan material adsorben pasir. Pada material pasir terdapat kandungan mineral-mineral oksida yang cukup tinggi seperti silika oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan lainnya (Martasiana Karbeka, Faryda Veronica Lamma Koly, 2020; Rettob & Karbeka, 2019). Adanya mineral oksida memungkinkan adanya interkasi logam timbal dengan mineral oksida melalui interaksi Van der Waals antara adsorbat dan adsorben dengan gaya antar molekul yang relatif lemah. Proses penyerapan yang berlangsung bergantung pada berbagai variasi waktu dan jenis adsorben yang berpengaruh pada kinetika adsorpsi (Sekewael dkk., 2013). Kinetika adsorpsi pada proses penyerapan logam berat berbeda untuk tiap adsorben dengan berbagai perlakuan baik fisik maupun kimia. Pola kinetika adsorpsi dapat menjadi informasi untuk mengetahui karakteristik adsorben yang akan digunakan dalam proses penyerapan logam berat di lingkungan. Penyerapan Pb(II) oleh adsorben kulit kacang yang diaktivasi menggunakan H_2SO_4 dan NaOH memberikan kapasitas adsorpsi tertinggi terdapat pada adsorben teraktivasi NaOH (Zaini & Sami, 2016). Aktivator NaOH digunakan untuk ekstraksi silika yang diaplikasikan untuk adsorpsi Pb(II) dengan pola kinetika reaksi mengikuti pseudo orde dua (Naat, 2022).

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya pasir putih, NaOH (*Merck*), HCl (*Merck*), $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (*Merck*), indicator pp (*Merck*), kertas saring Whatman no 42.

Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrofotometer serapan atom (AA-6652, Shimadzu), neraca analitik (NA Denver instrument M-220 D), ayakan 250 mesh, *magnetic stirrer*.

Preparasi sampel dan aktivasi basa

Preparasi dan aktivasi sampel merupakan modifikasi dari penelitian yang dilakukan oleh (Mohamed F.Cheira, Ibrahim H.Zidan, 2014; Zaini & Sami, 2016). Sampel adsorben pasir putih diambil dari lokasi sebanyak 300 gram kemudian dicuci untuk menghilangkan adanya pengotor yang menempel. Sampel pasir putih dihaluskan dan diayak dengan ukuran 250 mesh. Sampel pasir yang telah diayak ditimbang sebanyak 20 gram dilakukan triplo dan ditempatkan pada masing-masing wadah. Pada tiap wadah ditambahkan larutan basa NaOH dengan variasi konsentrasi 2, 4 dan 6 M kemudian dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 24 jam. Adsorben pasir putih yang telah diaktivasi NaOH dicuci hingga netral yang ditandai dengan bebas ion OH⁻ melalui tes negatif menggunakan indikator pp.

Kinetika adsorpsi

Adsorben pasir putih (kontrol dan teraktivasi basa) masing-masing sebanyak 0,3 gram ditempatkan pada 4 wadah berbeda dan dikontakkan dengan 25 ml Pb(II) 100 mg/l dengan variasi waktu kontak 15, 30, 60 dan 90 menit. Proses pengadukan dilakukan menurut selang waktu yang telah ditentukan dengan menggunakan magnetik stirer dan pada akhir selang waktu dilakukan proses filtrasi dan diukur menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA). Berdasarkan hasil pengukuran dengan SSA akan diperoleh persamaan regresi dari kurva standar Pb(II) yang kemudian digunakan untuk menghitung jumlah Pb(II) yang teradsorpsi. Penentuan pola kinetika adsorpsi dihitung dengan menggunakan beberapa model kinetika yang telah dikembangkan dan digunakan secara luas antara lain kinetika orde satu, kinetika orde dua, kinetika Lagergren pseudo orde pertama dan kinetika Ho pseudo orde kedua (Karbeka dkk., 2020;Putrinesia & Rahmalia, 2018). Model kinetika tersebut dijelaskan sebagai berikut:

Persamaan matematis kinetika orde satu : $\ln C_e = -K_1t + C_0$

Persamaan matematis kinetika orde dua: $\frac{1}{C_e} = -k_2t + \frac{1}{C_0}$

Persamaan matematis kinetika pseudo orde satu : $\ln (q_e - qt) = \ln q_e - \frac{k_3}{2,303} t$

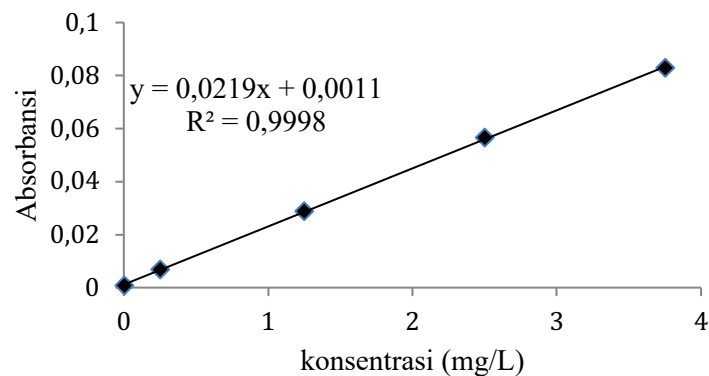
Persamaan matematis kinetika pseudo orde kedua : $\frac{t}{qt} = \frac{t}{q_e} + \frac{1}{k_4 \cdot q_e^2}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Jumlah Pb(II) Teradsorpsi

Kajian kinetika adsorpsi untuk mengetahui laju penyerapan logam berat timbal (Pb) oleh adsorben pasir putih yang dipengaruhi variasi waktu kontak. Untuk dapat menganalisis

laju adsorpsi Pb(II) oleh adsorbat maka dilakukan pengukuran larutan Pb(II) dengan berbagai konsentrasi untuk dibuatkan kurva standar seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva standar Pb(II)

Berdasarkan kurva standar Pb(II) diperoleh persamaan regresi linier $y = 0,0219x + 0,001$ yang digunakan untuk menghitung konsentrasi Pb(II) yang tidak terserap oleh adsorben atau disebut konsentrasi sisa/setimbang. Perhitungan dilakukan untuk konsentrasi Pb(II) yang tersisa dikarenakan filtrat yang dianalisis dengan SSA merupakan filtrat dari Pb(II) yang tidak diserap oleh adsorben pasir besi ketika dilakukan proses adsorpsi dengan sistem *batch*. Perhitungan konsentrasi Pb(II) sisa menjadi acuan untuk selanjutnya digunakan untuk menghitung jumlah Pb(II) yang teradsorpsi pada tiap adsorban. Adsorben yang berperan dalam proses adsorpsi Pb(II) terdiri atas adsorben pasir putih sebagai kontrol, adsorben pasir putih teraktivasi NaOH dengan variasi konsentrasi 2, 4 dan 6 M. Jumlah Pb(II) yang tersisa maupun yang teradsorpsi dihitung menggunakan persamaan regresi linier yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data absorbansi Pb(II) sisa

Waktu kontak (menit)	Absorbansi			
	Adsorben kontrol	Adsorben teraktivasi NaOH 2 M	Adsorben teraktivasi NaOH 4 M	Adsorben teraktivasi NaOH 6 M
15	0,0023	0,0027	0,0048	0,0044
30	0,0022	0,0026	0,0051	0,0044
60	0,0023	0,0030	0,0050	0,0046
90	0,0022	0,0035	0,0053	0,0043
120	0,0021	0,0033	0,0050	0,0047

Karbeka : Kinetika Adsorpsi Pb(II) oleh Adsorben

Untuk memperoleh konsentrasi Pb(II) sisa sebagai konsentrasi setimbang (C_e) maka nilai absorbansi dimasukkan dalam persamaan regresi yang diperoleh dari kurva standar Pb $y = 0,0219x + 0,0011$, dengan y merupakan nilai absorbansi Pb(II) sisa dan x merupakan konsentrasi Pb(II) sisa (C_e). Berdasarkan data absorbansi pada Tabel 1, maka dicontohkan perhitungan konsentrasi Pb(II) sisa pada waktu 15 menit untuk adsorben kontrol maka:

$$y = 0,0219x + 0,001, \text{ dengan } y = 0,0023 \text{ maka}$$

$$x = \frac{0,0023-0,0011}{0,0219} = 0,054 \text{ mg/L}$$

Jadi untuk adsorben pasir kontrol yang dikontakkan larutan Pb(II) dengan sistem *batch* pada waktu kontak 15 menit diperoleh konsentrasi Pb(II) sisa (C_e) pada sampel A sebesar 0,054 mg/L. Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk setiap variasi waktu pada tiap variasi adsorben dan diperoleh data pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsentrasi Pb(II) setimbang

Waktu kontak (menit)	Konsentrasi (mg/L)			
	Adsorben kontrol	Adsorben teraktivasi NaOH 2 M	Adsorben teraktivasi NaOH 4 M	Adsorben teraktivasi NaOH 6 M
15	0,054	0,081	0,062	0,162
30	0,057	0,076	0,195	0,162
60	0,062	0,095	0,190	0,171
90	0,057	0,119	0,205	0,157
120	0,052	0,110	0,190	0,176

Untuk penentuan konsentrasi Pb(II) yang teradsorpsi maka dihitung menggunakan persamaan $q = \frac{C_o - C_e}{1000} \times V \times \frac{1}{B}$, dimana, q (berat teradsorpsi (mg/g)); C_o (konsentrasi Pb(II) awal (mg/L)); C_e (konsentrasi Pb(II) sisa/setimbang (mg/L)); V (volume larutan sampel yang digunakan (mL)); B (massa adsorben (g)) (Rahmani dkk., 2018).

Untuk perhitungan konsentrasi Pb(II) yang teradsorpsi maka dicontohkan perhitungan pada waktu 15 menit untuk adsorben kontrol maka diketahui $C_o = 100$ mg/L, $V = 25$ mL, $B = 0,3$ gram (merujuk pada prosedur kerja) dan $C_e = 0,062$ mg/L (data pada Tabel 2), maka:

$$qt = \frac{(100-0,062)mg}{1000 mL} \times 25 mL \times \frac{1}{0,3 g} = 8,309 mg/g$$

Adsorben pasir putih kontrol mampu menyerap Pb(II) sebesar 8,309 mg/g pada waktu kontak 15 menit. Perhitungan konsentrasi Pb(II) yang diserap dilakukan dengan cara yang untuk setiap variasi waktu pada tiap variasi adsorben.

Data pada Tabel 2 merupakan data konsentrasi Pb(II) sisa yang tidak teradsorpsi dan diperoleh dari hasil pengukuran residu adsorpsi sistem *batch* menggunakan SSA yang hasil akhirnya berupa nilai absorbansi seperti pada Tabel 1. Data absorbansi tidak mengandung satuan sehingga untuk menghitung jumlah Pb(II) yang tidak teradsorpsi maka nilai absorbansi dimasukkan dalam persamaan regresi linier kurva standar Pb(II) sehingga diperoleh konsentrasi Pb(II) yang tidak teradsorpsi dengan satuan mg/g. Data pada Tabel 2 menjadi data acuan untuk menghitung jumlah Pb(II) teradsorpsi pada tiap selang waktu ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Pb(II) teradsorpsi

Waktu kontak (menit)	Berat teradsorpsi, qt (mg/g)			
	Adsorben kontrol	Adsorben teraktivasi NaOH 2 M	Adsorben teraktivasi NaOH 4 M	Adsorben teraktivasi NaOH 6 M
	15	8,277	8,258	8,309
30	8,233	8,288	8,157	8,227
60	8,192	8,284	8,290	8,294
90	8,309	8,285	8,274	8,241
120	8,271	8,313	8,203	8,204

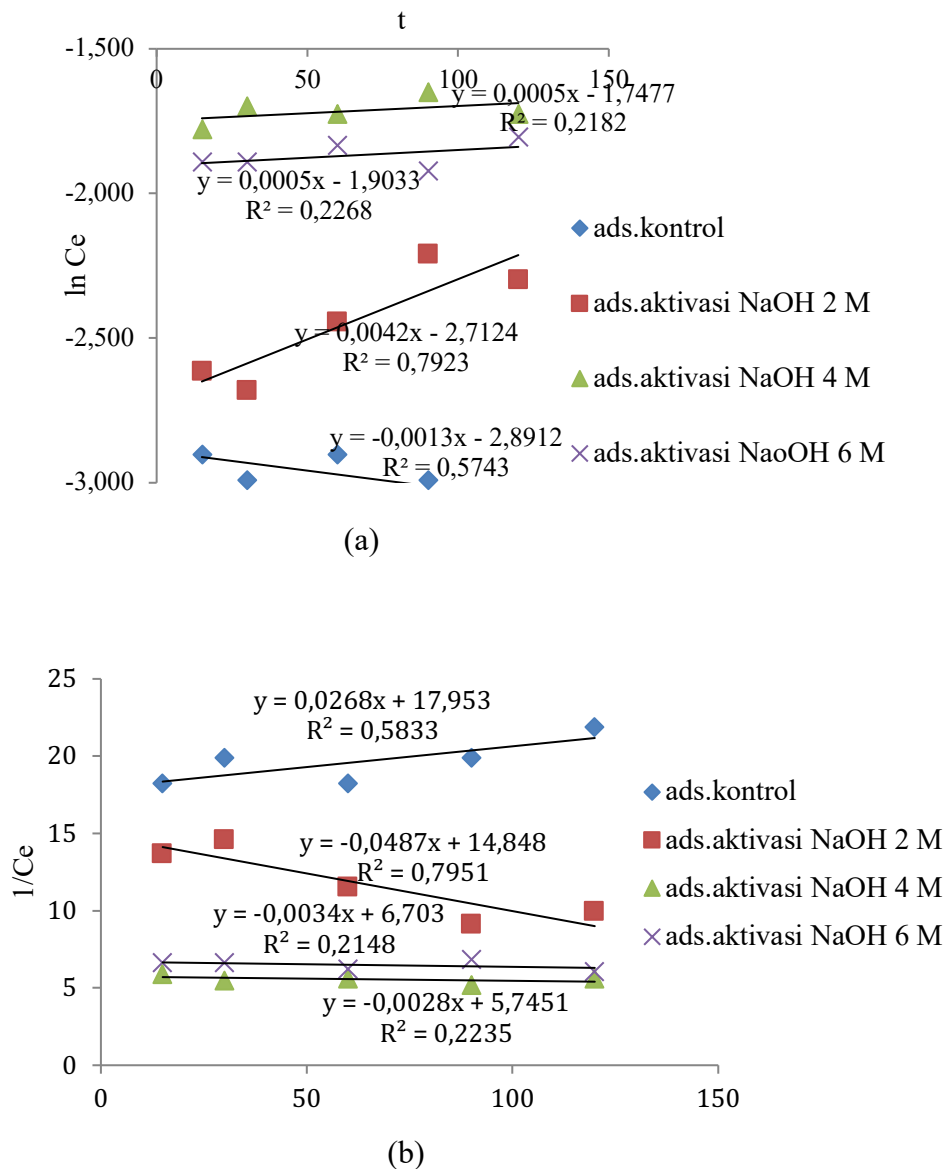
Waktu kontak optimum merupakan waktu kontak dimana terjadi penyerapan tertinggi Pb(II) oleh adsorben. Berdasarkan data pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa waktu kontak optimum penyerapan Pb(II) terjadi pada selang waktu 15 menit untuk pasir yang teraktivasi NaOH 6 M dengan jumlah Pb(II) teradsorpsi sebesar 8,320 mg/g. Jumlah ini merupakan jumlah tertinggi dibandingkan banyaknya penyerapan Pb(II) yang terjadi pada selang waktu lainnya dengan berbagai variasi aktivasi adsorben lainnya.

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa pada waktu 30, 60, 90 dan 120 menit jumlah Pb(II) yang teradsorpsi cenderung lebih rendah dibandingkan pada waktu kontak 15 menit. Hal ini karena adsorben pasir yang digunakan untuk mengadsorpsi Pb(II) memiliki batas kemampuan adsorpsi sehingga meskipun waktu kontak terus ditingkatkan. Berdasarkan data pada Tabel 3, meskipun pada tiap selang waktu terjadi peningkatan jumlah Pb(II) yang teradsorpsi namun jumlah tersebut tidak melebihi jumlah Pb(II) yang teradsorpsi pada waktu kontak 15 menit. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa pada waktu 15 menit adsorben pasir telah jenuh,

sehingga waktu 15 menit ini merupakan waktu kontak optimum dari adsorben pasir dalam mengadsorpsi Pb(II) (Prasdiatika & Kusumawardani, 2019).

Kinetika adsorpsi

Berdasarkan data pengujian pengaruh waktu kontak terhadap jumlah Pb(II) yang teradsorpsi pada setiap variasi adsorben dilakukan kajian kinetika adsorpsi menggunakan model kinetika orde 1, orde 2, pseudo orde-1 dan pseudo orde-2. Adanya data jumlah ion logam Pb(II) (dilihat pada Tabel 2) maka dilakukan Persamaan regresi linier dengan melakukan interpolasi ($\ln C_e$ terhadap t) untuk orde satu dan grafik ($1/C_e$ terhadap t) untuk orde dua. Hasil interpolasi ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva kinetika (a) orde satu; (b) orde dua

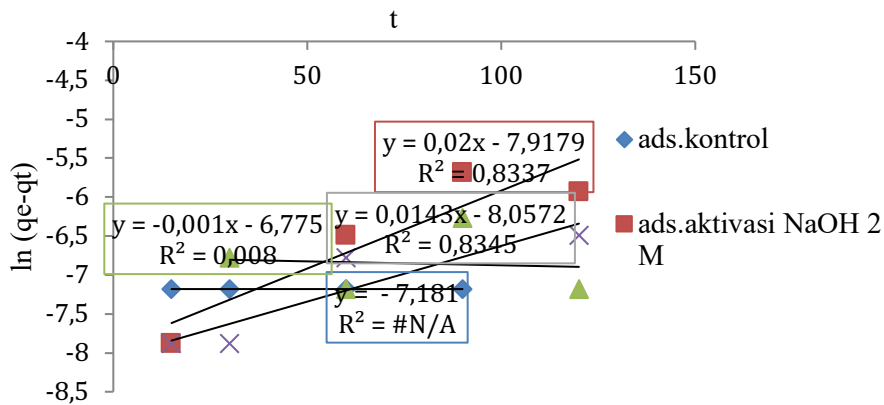
Model kinetika orde satu mengasumsikan bahwa kecepatan penyerapan hanya bergantung pada salah satu zat yang bereaksi atau sebanding dengan salah satu pangkat reaktannya. Model kinetika orde kedua mengasumsikan bahwa kecepatan proses penyerapan adsorbat oleh adsorben berbanding lurus dengan dua zat yang bereaksi (adsorbat dan adsorben) atau hanya bergantung pada salah satu zat yang berpangkat dua. Berdasarkan hasil interpolasi data $\ln C_e$ terhadap t untuk kinetika orde satu dan $1/C_e$ terhadap t untuk kinetika orde dua diperoleh nilai parameter kinetik yang dijabarkan dalam Tabel 4. Pada Gambar 2, interpolasi data kurva kinetik orde satu dan orde dua menunjukkan bahwa linieritas yang dihasilkan rendah sehingga model kinetika ini tidak dapat digunakan untuk menjelaskan pola kinetika adsorpsi (Jatto, E.O.; Asia, I.O.; Ogbemor, C; Ewansiha, 2017).

Tabel 4. Parameter kinetik orde satu dan orde dua

Parameter	Adsorben kontrol	Adsorben aktivasi NaOH 2 M	Adsorben aktivasi NaOH 4 M	Adsorben aktivasi NaOH 6 M
Orde satu				
R ²	0,5743	0,7923	0,2182	0,2268
Slope	-0,0013	0,0042	0,0005	0,0005
Intersep	-2,8912	-2,7124	-1,7477	-1,9033
k	0,0013	0,0042	0,0005	0,0005
Orde dua				
R ²	0,5833	0,7951	0,2235	0,2148
Slope	0,0268	-0,0487	-0,0028	-0,0034
Intersep	17,953	14,848	5,7451	6,703
k	0,0268	0,0487	0,0028	0,0034

Menurut data pada Tabel 4, menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) tidak menunjukkan linieritas yang tinggi dilihat dari nilai $R^2 < 1$. Tingkat linieritas berdasarkan nilai R^2 menunjukkan kesesuaian data penelitian berdasarkan regresi hubungan $\ln C_e$ terhadap t dan $1/C_e$ terhadap t . Semakin tinggi tingkat linieritas akan menunjukkan bahwa pemodelan secara matematika dapat memprediksi pola adsorpsi logam berat Pb(II) oleh adsorben pasir putih. Rendahnya nilai R^2 maka pemodelan matematika dengan orde satu dan orde dua tidak dapat digunakan untuk menginformasikan pola adsorpsi logam berat Pb(II) oleh adsorben pasir putih kontrol maupun teraktivasi NaOH (Huang & Liu, 2017).

Untuk dapat menjelaskan pola penyerapan logam berat Pb(II) secara akurat maka dilakukan kajian lanjutan dengan menggunakan pendekatan matematis kinetika pseudo orde satu. Grafik pseudo orde satu diinterpolasi antara $\ln (q_e - qt)$ pada sumbu x dan t pada sumbu y seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva kinetika pseudo orde satu

Penerapan kinetika pseudo orde satu dapat diterima jika nilai R^2 cukup tinggi mendekati 1 dan terdapat kedekatan nilai antara $q_{e,exp}$ dan $q_{e,hit}$. Model penyerapan pseudo orde satu menggambarkan penyerapan terjadi pada waktu awal adsorpsi dan tidak untuk keseluruhan waktu kontak sehingga penyerapan hanya terjadi pada permukaan adsorben. Hal ini akan menunjukkan bahwa pada waktu awal adsorpsi akan terjadi penyerapan dengan sangat cepat. Adsorbat akan mengalami penetrasi ke bagian dalam adsorben ketika permukaan adsorben telah mengalami kejenuhan pada proses awal adsorpsi. Namun, berdasarkan grafik pada Gambar 3 diketahui bahwa nilai R^2 sangat rendah untuk masing-masing pola kinetika adsorpsi sehingga model kinetika pseudo orde satu tidak dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena adsorpsi yang terjadi. Beberapa parameter kinetika pseudo orde satu dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter kinetika pseudo orde satu

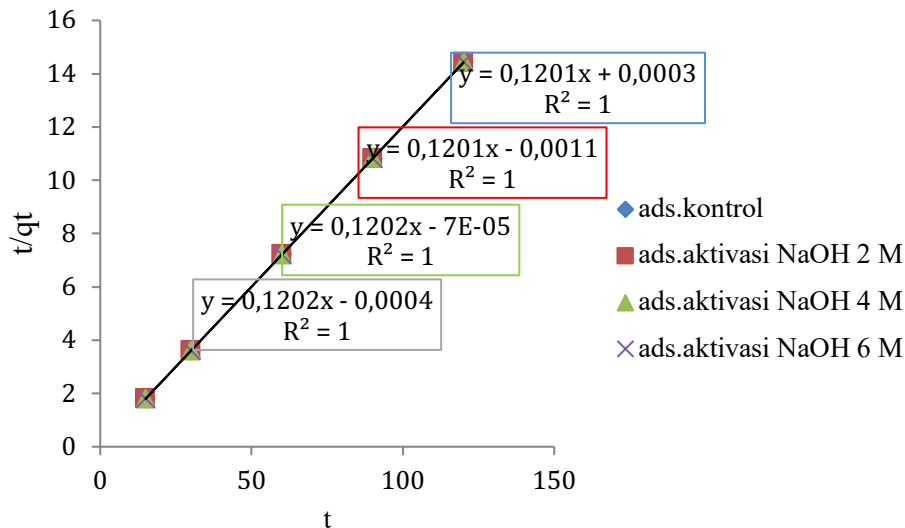
Jenis adsorben	R^2	k (min^{-1})	$q_{e,exp}$ (mg/g)	$q_{e,hit}$ (mg/g)
Kontrol	-	-	8,309	$7,61 \times 10^{-4}$
Aktivasi NaOH 2 M	0,8337	0,046	8,313	$3,64 \times 10^{-4}$
Aktivasi NaOH 4 M	0,008	0,0023	8,309	$1,14 \times 10^{-3}$
Aktivasi NaOH 6 M	0,8345	0,0329	8,320	$3,17 \times 10^{-4}$

$$\text{Persamaan pseudo orde satu } \ln (q_e - q_t) = \ln q_e - \frac{k_1}{2,303} t$$

Dengan slope = $\frac{k_1}{2,303}$ dan intersep = $\ln q_e$, dengan memasukkan nilai slope dan intersep dari persamaan garis maka data nilai k_1 dan $q_{e,hit}$ untuk penyerapan Pb(II) tiap jenis adsorben dapat diketahui. Berdasarkan data parameter kinetic pada Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi tidak cukup tinggi mendekati 1 dan nilai kapasitas adsorpsi Pb(II) oleh berbagai variasi adsorben, $q_{e,exp}$ berbeda jauh dengan nilai $q_{e,hit}$ (Nafi'ah, 2016). Dengan Lantanida Journal, 12(1): 16-28

demikian maka pola penyerapan kinetika pseudo orde satu belum dapat menjelaskan dengan baik penyerapan Pb(II) oleh berbagai variasi adsorben yang aplikasikan.

Nilai koefisien determinasi (R^2) untuk model kinetika orde satu, orde dua dan orde satu semu menunjukkan tingkat linieritas yang rendah sehingga perlu dilakukan kajian lanjutan untuk kinetika pseudo orde dua. Hasil interpolasi data untuk model kinetika pseudo orde dua ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva kinetika pseudo orde dua

Berdasarkan data pada Gambar 4 menunjukkan bahwa tiap variabel adsorben menunjukkan tingginya linearitas. Kinetika pseudo orde dua persamaan Ho mengasumsikan bahwa pola penyerapan terjadi antara adsorbat dan adsorben berlangsung secara kemisorpsi yakni terjadi interaksi secara kimia antara adsorbat dan adsorben. Kinetika pseudo orde dua memiliki beberapa parameter kinetika yang dijabarkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter kinetika pseudo orde dua

Jenis adsorben	R^2	k ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}$)	$q_{e, \text{exp}}$ (mg/g)	$q_{e, \text{hit}}$ (mg/g)
Kontrol	1	48,281	8,309	8,326
aktivasi NaOH 2 M	1	13,155	8,313	8,319
aktivasi NaOH 4 M	1	206,921	8,309	8,319
aktivasi NaOH 6 M	1	36,115	8,320	8,319

Berdasarkan Tabel 5, nilai koefisien korelasi ($R^2 = 1$) menunjukkan tingkat linieritas yang sangat tinggi berarti bahwa adsorpsi logam berat Pb(II) oleh adsorben pasir putih kontrol maupun yang teraktivasi basa mengikuti pola kinetika penyerapan pseudo orde dua. Selain

linieritas R^2 , data lain yang mendukung kinetika penyerapan Pb(II) dengan pemodelan matematik pseudo orde dua dapat ditinjau dari perbandingan nilai $q_{e, \text{exp}}$ dan $q_{e, \text{hit}}$. Data pada Tabel 5 menunjukkan bahwa kedua nilai tersebut memiliki kedekatan nilai dan perbedaan yang sangat kecil atau dapat dikatakan nilai $q_{e, \text{exp}}$ dan $q_{e, \text{hit}}$ sama. Adanya kesamaan dari nilai $q_{e, \text{exp}}$ dan $q_{e, \text{hit}}$ menunjukkan bahwa pemodelan matematika pseudo orde dua menjadi model persamaan yang paling sesuai untuk memberikan informasi pola penyerapan Pb(II) oleh adsorben (Nafi'ah, 2016).

Model matematik pseudo orde dua mengasumsi bahwa proses penyerapan Pb(II) oleh adsorben pasir putih berlangsung secara kemisorpsi. Proses kemisorpsi antara Pb(II) dengan adsorben pasir putih diprediksi terbentuk melalui sisi asam mineral (asam Bronsted dan asam Lewis) pada pasir dengan ion Pb(II) melalui gaya Van der Waals karena adanya interaksi dipol-dipol yang bermuatan. Selain itu, dimungkinkan adanya pertukaran kation antara kation-kation logam alkali dan alkali tanah pada adsorben dengan ion logam Pb(II) (Naat, 2021).

Berdasarkan data pada Tabel 5, menunjukkan nilai k yang yang berbeda. Perbedaan nilai k berarti bahwa terdapat perbedaan cepat lambatnya proses penyerapan Pb(II) oleh adsorben. Nilai k terendah terdapat pada penyerapan Pb(II) oleh adsorben pasir teraktivasi NaOH 2M yakni 13,155 g/mg.jam yang artinya pada tiap gram adsorben mampu menyerap 13,155 mg adsorbat dalam waktu 1 jam. Demikian juga untuk nilai k tertinggi pada adsorben pasir teraktivasi NaOH 4M sebesar 206.921 g/mg.jam yang artinya pada tiap gram adsorben mampu menyerap 206.921 mg adsorbat dalam waktu 1 jam. Sehingga semakin besar nilai k maka laju penyerapan adsorbat akan semakin cepat.

Cepat lambatnya penyerapan adsorbat oleh adsorben dipengaruhi oleh luas permukaan dan situs asam Bronsted dan Lewis yang terbentuk melalui proses aktivasi adsorben oleh NaOH. Pada adsorben teraktivasi NaOH 4M diprediksi mampu melarutkan ion logam alkali dan alkali tanah sebagai ion pengotor yang terdapat dalam adsorben pasir sehingga situs asam Bronsted dan Lewis yang tertutup menjadi terbuka. Adsorben teraktivasi NaOH 2M memiliki nilai k yang kecil dikarenakan NaOH 2M diprediksi belum dapat melarutkan pengotor logam alkali dan alkali tanah yang terdapat dalam adsorben dan dimungkinkan aktivator NaOH ikut menutupi situs aktif asam Bronsted dan Lewis (Naat, 2022). Dengan demikian, kemampuan penyerapan menjadi menurun dan secara kuantitatif terlihat pada nilai k yang lebih rendah.

KESIMPULAN

Pola penyerapan Pb(II) telah dipelajari dengan menggunakan model kinetika orde pertama, orde kedua, persamaan Lagergren orde pertama semu, dan persamaan Ho orde kedua semu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serapan Pb(II) oleh adsorben pasir dengan berbagai variasi baik kontrol maupun teraktivasi NaOH 2, 4 dan 6 M mengikuti kinetika adsorpsi orde dua semu dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 1. Selain itu, berdasarkan kajian kinetika pseudo orde kedua tidak terdapat perbandingan nilai antara $q_{e,exp}$ sebesar 8,309 mg/g dan $q_{e,hit}$ sebesar 8,319 mg/g. Nilai k tertinggi terdapat pada adsorben pasir aktif NaOH 4 M yaitu sebesar 206,921 g/mg.jam yang menunjukkan laju penyerapan adsorbat oleh adsorben lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Huang, M.-L., & Liu, S.-Q. (2017). *Adsorption of Chromium from Aqueous Solution Using Activated Carbon Coated Sand*. 94(Icsd 2016), 42–46. <https://doi.org/10.2991/icsd-16.2017.8>
- Irena kostova. (2023). Toxic metals and antidotes. *Journal of Clinical Images and Medical Case Reports*, 4(1), 1–8.
- Jadaa, W., & Mohammed, H. (2023). Heavy Metals – Definition, Natural and Anthropogenic Sources of Releasing into Ecosystems, Toxicity, and Removal Methods – An Overview Study. *Journal of Ecological Engineering*, 24(6), 249–271. <https://doi.org/10.12911/22998993/162955>
- Jatto, E.O; Asia, I.O.; Ogbedor, C; Ewansiha, J. . (2017). Adsorption And Kinetic Studies Of Lead (II) Ion Using Powdered. *SAU Sci-Tech. J*, 2(1), 60–68.
- Karbeka, M., Nuryono, & Suyanta. (2020). Coating of mercapto modified silica on iron sand magnetic material for Au(III) adsorption in aqueous solution. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 823(1), 0–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/823/1/012031>
- Kostova, I. (2024). Survey of Main Group Metals and Metalloids in Cancer Treatment. *Inorganics*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/inorganics12010029>
- Martasiana Karbeka, Faryda Veronica Lamma Koly, N. M. T. (2020). Karakterisasi Sifat Kemagnetan Pasir Besi Pantai Puntaru Kabupaten Alor-NTT. *Lantanida Journal*, 8(2), 108–116.
- Mohamed F.Cheira, Ibrahim H.Zidan, E. A. M. (2014). Potentiality of white sand for the purification of wet process phosphoric acid from some metallic elements (U, Zn, Cd). *Chemical Technology An Indian Journal*, 9(6), 224–233. <https://doi.org/10.1038/177861a0>
- Naat, J. N. (2022). Adsorpsi Ion Pb(II) Menggunakan Silika Berbasis Pasir Alam Takari-NTT. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 8(3), 266–279. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2022.v8.i3.16143>

- Naat, J. N., Neolaka, Y. A. B., Lapailaka, T., Rachmat Triandi, T., Sabarudin, A., Darmokoesoemo, H., & Kusuma, H. S. (2021). Adsorption of Cu(II) and Pb(II) using silica@mercapto (hs@m) hybrid adsorbent synthesized from silica of Takari sand: Optimization of parameters and kinetics. *Rasayan Journal of Chemistry*, 14(1), 550–560. <https://doi.org/10.31788/RJC.2021.1415803>
- Nafi'ah, R. (2016). Kinetika Adsorpsi Pb(II) dengan Adsorben Arang Aktif dari Sabut Siwalan. *Jurnal Farmasi Sains Dan Praktis*, 1(2), 1–10.
- Prasdiatika, R., & Kusumawardani, Y. (2019). Kondisi Optimum Adsorpsi Pb(II) Menggunakan Nanomaterial asir Besi Pantai Kendal terlapis Silika-Triamin. *Seminar Nasional Edusaintek 2019*, 1i, 213–221.
- Putrinesia, M. I., & Rahmalia, W. (2018). Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry Adsorption of Pb (II) by Polyaniline/Silica Gel Composite: Kinetics And Isotherm Studies. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 1(3), 91–97.
- Rahmani, A., Nazemi, F., Barjasteh Askari, F., & Davoudi, M. (2018). Preparation, Characterization, and Application of Silica Aerogel for Adsorption of Phenol: An In-Depth Isotherm Study. *Health Scope*, 7(3), 1–12. <https://doi.org/10.5812/jhealthscope.15115>
- Rettob, A. L., & Karbeka, M. (2019). Pengaruh Konsentrasi Larutan HF Pada Proses Preparasi Terhadap Kadar Unsur Bahan Magnetik Pasir Besi. *Walisongo Journal of Chemistry*, 2(1), 6–9.
- Sekewael, S. J., Tehubijuluw, H., & Reawaruw, D. R. (2013). Kajian Kinetika dan Isoterm Adsorpsi Logam Pb Pada Lempung Asal Desa Ouw Teraktivasi Garam Ammonium Nitrat. *Ind. J. Chem. Res*, 1, 38–46.
- Zaini, H., & Sami, M. (2016). Kinetika Adsorpsi Pb (II) Dalam Air Limbah Laboratorium Kimia Menggunakan Sistem Kolom Dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2016, November 2016*, 1–9.