



Adsorpsi Ion Pb(II) Menggunakan Silika Berbasis Pasir Alam Takari-NTT

[Ion Pb(II) Adsorption Using Silica from Natural Sand of Takari-NTT]

Johnson N. Naat✉

*Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui-Kupang-NTT*

Abstract. This article reported the adsorption of Pb(II) ions using silica extracted from the natural sand of Takari, Timor island, Nusa Tenggara Timur province. The silica was extracted using hydrothermal and coprecipitation methods. The extracted silica was then used for Pb(II) adsorption under several optimization conditions: pH, contact time, concentration, kinetic model, and adsorption isotherm. The determination of Pb(II) concentration used dithizone reagent, forming complexes, and then measured using Uv-Vis. The pH, contact time, and optimum concentration results were 7, 60 minutes, and 80 mg/L, respectively, with an adsorption capacity (q_e) of 0.679 mg/g, 0.745 mg/g, and 18.096 mg/g. The kinetic model followed a pseudo-order-2 with $R^2 = 0.93$, and the adsorption isotherm of Pb(II) metal ions followed the Temkin isotherm model. The results showed that the silica extracted from the natural sand of Takari of Timor island-Nusa Tenggara Timur could adsorb Pb(II) metal ions.

Keywords: silica, adsorption, natural sand of Takari, kinetic, isotherm

Abstrak. Artikel ini melaporkan adsorpsi ion Pb(II) menggunakan silika yang diekstraksi dari pasir alam Takari pulau Timor-NTT. Silika diekstraksi menggunakan metode hidrotermal dan kopresipitasi. Silika hasil ekstraksi selanjutnya digunakan untuk adsorpsi Pb(II) melalui beberapa kondisi optimasi yaitu pH, waktu kontak, konsentrasi, model kinetika dan isotherm adsorpsi. Penentuan konsentrasi Pb(II) menggunakan pereaksi dithizon membentuk kompleks dan diukur menggunakan Uv-Vis. Hasil penelitian untuk pH, waktu kontak dan konsentrasi optimum berturut-turut adalah 7, 60 menit, dan 80 mg/L dengan kapasitas adsorpsi (q_e) 0,679 mg/g; 0,745 mg/g dan 18,096 mg/g. Model kinetika mengikuti pseudo orde 2 dengan $R^2= 0,93$ dan isotherm adsorpsi ion logam Pb(II) mengikuti model isotherm Temkin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa silika yang diekstraksi dari pasir alam Takari-NTT mempunyai kemampuan dalam mengadsorpsi ion logam Pb(II).

Kata kunci: Silika, adsorpsi, pasir alam Takari, kinetika, isotherm.

Diterima: 17 November 2022, Disetujui: 7 Desember 2022

Sitasi: Naat, J. N. (2022). Adsorpsi Ion Pb(II) menggunakan Silika berbasis Pasir Alam Takari-NTT. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 8(3): 266-279.

LATAR BELAKANG

Beberapa tahun terkakhir, pencemaran air yang disebabkan oleh oleh logam berat cukup pesat oleh adanya pertumbuhan industri

(Nuray, 2022). Akibat proses industri maka dihasilkan limbah cair yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran air yang disebabkan oleh pengaruh logam berat (Briffa *et al.*, 2020). Timbal adalah satu logam berat yang ditemukan dalam limbah cair di

✉ Corresponding author
E-mail: johnson_naat@staf.undana.ac.id

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2022.v8.i3.16143>



lingkungan perairan (Ali *et al.*, 2021), logam ini tidak mengalami penguraian sehingga berbahaya bagi kesehatan manusia (Briffa *et al.*, 2020). Berdasarkan Permenkes tahun 2010 bahwa nilai ambang batas Pb dalam air minum adalah 0,01 mg/L (Irfandi dkk., 2013). Bahaya yang ditimbulkan jika melebihi ambang batas dalam tubuh manusia adalah keracunan kronis, kerusakan otak, kejang-kejang, kardiovaskular, anemia dan kematian (Irianti dkk., 2017). Banyak metode yang dikembangkan untuk menghilangkan timbal dalam air yaitu pengendapan (Ningsih dkk., 2016), ekstraksi elektro (Demcak *et al.*, 2017), penukaran ion dengan menggunakan resin (Said, 2010; Ningsih dkk., 2016), filtrasi (Wiyono dkk., 2017) dan adsorpsi (Kwon *et al.*, 2010). Adsorpsi adalah metode ramah lingkungan yang banyak digunakan untuk menghilangkan timbal dari lingkungan. Keunggulan adsorpsi adalah penggunaan reagen yang rendah, operasinya sederhana, *rapid action*, efisiensi tinggi, dan biaya murah (Awual *et al.*, 2016; Mohammad *et al.*, 2020).

Penggunaan adsorben yang baik dan akurat dalam upaya penanggulangan tentu akan meningkatkan hasil adsorpsi yang baik pula. Adsorben yang sudah dilaporkan dan digunakan dalam proses adsorpsi adalah arang kulit kopi (Puspitasari dkk., 2017), karbon aktif (Zhang *et al.*, 2021), abu sekam padi (Yusmaniar *et al.*, 2017), zeolit (Mukti, 2015), dan silika (Pratomo dkk., 2013; Paramitha dkk., 2019). Silika dengan formula umum SiO_2 merupakan senyawa hasil polimerisasi asam silikat yang tersusun dari rantai satuan SiO_4 tetrahedral yang dapat ditemukan dalam bahan alam seperti abu vulkanik (Simatupang dkk., 2017), dan sekam padi (Nurhasni dkk., 2014; Geetah *et al.*, 2016) dan pasir alam (Zainuri,

2013). Pemanfaatan silika sebagai adsorben dikarenakan memiliki kemampuan penyerapan yang tinggi, memiliki gugus aktif yaitu Si-O-Si (siloksan) dan Si-OH (silanol) pada permukaannya serta adanya empat atom oksigen yang mempunyai sifat cukup ionik sehingga dapat berfungsi sebagai situs aktif untuk mengikat ion logam (Hardyanti dkk., 2017). Penggunaan silika sebagai adsorben selama ini masih banyak menggunakan silika hasil sintesis sedangkan penggunaan silika yang bersumber dari alam khususnya pasir belum banyak dilakukan, sehingga artikel ini akan membahas silika yang diekstraksi dari pasir alam Takari pulau Timor-NTT yang digunakan untuk mengadsorpsi ion Pb(II). Hal ini yang menjadi keterbaruan yang dilaporkan dalam artikel ini. Berdasarkan analisis awal yang sudah dilakukan bahwa kandungan silika hasil ekstraksi menghasilkan kadar silika sebesar 97,8% (Naat *et al.*, 2018), sehingga sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai adsorben logam berat. Silika yang bersumber dari pasir alam perlu diekstraksi dari pasir alam sehingga efektif digunakan sebagai adsorben.

Beberapa metode ekstraksi silika dari bahan alam telah digunakan, yaitu metode sol-gel, alkalifusi, hidrotermal, dan kopresipitasi (Buhani *et al.*, 2013; Munasir dkk., 2013). Penelitian ini menggunakan metode hidrotermal dan metode kopresipitasi untuk mensintesis silika dari pasir alam, setelah silika diperoleh dari ekstraksi pasir alam pulau Timor-NTT, selanjutnya diuji kemampuannya sebagai adsorben dalam mengadsorpsi ion logam Pb(II).

Pada artikel ini akan dilaporkan parameter optimum dari pH, waktu kontak, dan konsentrasi serta model kinetika dan model

isotherm adsorpsi ion logam Pb(II) menggunakan adsorben silika hasil ekstraksi dari pasir alam. Tujuan pengoptimasian adalah untuk mengetahui kondisi paling sesuai interaksi antara adsorben dan adsorbat. Lima model kinetika yang akan disajikan yaitu model kinetika *pseudo* orde satu, *pseudo* orde dua, Elovich, Bangham dan difusi intrapartikel. Persamaan, bentuk linear dan plot grafik ditampilkan pada Tabel 1. Delapan model *isotherm* yang digunakan untuk menjelaskan data percobaan *isotherm* adsorpsi yaitu *isotherm* Langmuir, Freundlich, BET, Dubinin Kaganer Radushkevich (DKR), Temkin, Harkin-Jura, Redlich-Peterson dan *isotherm* Jovanovic (Ayewai *et al.*, 2017; Neolaka *et al.*, 2019; Qi *et al.*, 2019).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan penelitian meliputi pasir alam Takari, Larutan standar $Pb(NO_3)_2$ *pro analyse* (Merck 107398), NaOH (Merck 106498), Aquades, HNO_3 69% (Merck 1.01799), HCl 37% *pro analyse* (Merck), Dithizon (1,5-diphenylthiocarbazone) (Merck 1.03092.0025), kalium sianida (KCN) (Merck Germany) dan kloroform (Merck 1.02445.2500).

Peralatan yang digunakan yaitu peralatan gelas, timbangan analitik, termometer, *wise stirrer*, *diskmill*, seperangkat alat refluks, seperangkat alat titrasi, pH meter, mortal, oven, *magnetic stirrer*, ayakan 200 mesh, desikator, pemanas listrik, dan Spektrofotometer Ultra Violet-Visible (UV-Vis) *Agilent Cary 100 PG Instrument T60*.

Prosedur Penelitian

Preparasi sampel

Preparasi sampel pasir alam Takari menggunakan metode yang dilakukan oleh

Naat *et al.*, (2018). Secara ringkas preparasi sampel pasir alam Takari sebanyak 400 gram, di cuci dan di *wise stir* selama 5 menit sampai bersih. Pasir alam Takari dikeringkan dalam oven selama 2 jam, suhu 105 °C dan dihaluskan, diayak sampai lolos ayakan 200 mesh. Sampel pasir 50 g, direndam dengan HCl 2 M, 200 mL, 12 jam dan dicuci hingga pH netral. Sampel pasir disaring dan dikeringkan dalam oven 105 °C selama 2 jam. Sampel pasir digerus sehingga didapatkan ukuran homogen.

Ekstraksi silika (SiO_2) dari pasir alam

Metode yang digunakan dalam mengekstraksi silika menggunakan metode hidrotermal dan kopresipitasi. Ekstraksi silika dilakukan menggunakan metode yang dilakukan oleh Naat *et al.*, (2018). 16 gram serbuk 200 mesh dilarutkan dalam NaOH 7 M bervolume 240 mL dan direfluks pada suhu 105 °C selama 6 jam. Campuran hasil refluks berupa natrium silikat ditambahkan 240 mL aquades, didiamkan 24 jam dan dipisahkan. Filtrat dititrasi dengan HCl 2 M hingga pH 5 sambil terus diaduk sampai ada endapan putih. Endapan putih didiamkan dan dicuci sampai bersih menggunakan air panas, disaring, dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 5 jam. Hasil yang diperoleh berupa silika (Naat *et al.*, 2018).

Pembuatan reagen ditizon

Ditizon sebanyak 0,005 gram dilarutkan dalam kloroform menggunakan labu ukur 100 mL. Larutan diatur pH hingga 8,5 dengan menggunakan larutan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M.

Pembuatan larutan standar Pb(II)

$Pb(NO_3)_2$ 1,598 gram dilarutkan dengan aquades dan ditambahkan 3 tetes HNO_3 dalam

labu takar bervolume 1000 mL dan ditambahkan aquades sampai tanda.

Penentuan pH optimum

Variasi pH yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10. Konsentrasi Pb(II) yang digunakan adalah 5 mg/L bervolume 100 mL. Masing-masing larutan diatur pada Suasana asam dan basa pada larutan diatur dengan menambahkan HCl dan NaOH 0,1 M kemudian diencerkan dengan aquades hingga tanda batas. Selanjutnya masing-masing larutan Pb(II) 5 ppm pada pH tertentu diambil sebanyak 25 mL dan dipindahkan ke dalam gelas kimia dan kemudian masing-masing gelas kimia ditambahkan 0,1 gram silika, setelah itu campuran diaduk selama 50 menit. Campuran disaring, filtrat yang diperoleh diambil 3 mL dan direaksikan dengan 7,5 mL larutan ditizon 0,005%, 7,5 ml larutan KCN 10%, 7,5 mL larutan NaOH 0,5 M dan ditambahkan aquades dalam labu ukur 50 mL sampai tanda batas. Kemudian dicampur dalam corong pisah dan dikocok selama 30 detik lalu didiamkan selama 5 menit dan terbentuk dua lapisan, lapisan merah mudah/lapisan bawah dipisahkan dan diukur kandungan Pb(II) pada panjang gelombang 515 nm menggunakan Uv-vis.

Penentuan waktu kontak optimum

Variasi waktu kontak yang divariasi adalah 20, 40, 60, 80, dan 100 menit. Prosedur penentuan jumlah ion Pb(II) sama dengan penentuan pH optimum diatas.

Penentuan konsentrasi optimum

Variasi konsentrasi dalam penelitian ini adalah 20, 40, 60, 80, 110, dan 120 mg/L pada pH optimum 7 dan waktu kontak optimum 60 menit. Prosedur penentuan jumlah Pb(II) dilakukan sama seperti penentuan pH.

Efisiensi dan kapasitas adsorpsi

Perhitungan efisiensi adsorpsi digunakan Persamaan 1 (Tran *et al.*, 2017):

$$\% \text{ Efisiensi adsorpsi} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \dots\dots(1)$$

Keterangan:

C_0 (mg/L) = konsentrasi awal larutan (mg/L)

C_e (mg/L) = konsentrasi analit pada waktu t (menit).

Kapasitas adsorpsi (q_e) menyatakan jumlah adsorbat (ion Pb(II)) yang terserap pada silika pada waktu (t) tertentu, dimana secara matematis dinyatakan dalam Persamaan 2 (Neolaka *et al.*, 2020):

$$q_e = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

C_0 (mg/L) = konsentrasi awal larutan,

C_t (mg/L) = konsentrasi analit pada waktu t,

V (L) = volume larutan yang digunakan,

m (g) = massa adsorben silika.

Penentuan model kinetika ion logam Pb(II)

Lima model kinetika yang digunakan untuk mempelajari adsorpsi ion logam Pb(II) pada adsorben silika dari pasir alam Takari ditampilkan pada Tabel 1. Data kinetika diplotkan dalam bentuk grafik sesuai dengan Tabel 1 dan nilai R^2 dari model yang paling mendekati 1 (Neolaka *et al.*, 2021) merupakan model kinetika adsorpsi Pb(II) pada adsorben silika.

Penentuan model isotherm ion logam Pb(II)

Model *isotherm* adsorpsi ion logam Pb(II) menggunakan silika digunakan persamaan Langmuir, Freundlich, BET, Dubinin Kagarner Radushkevich (DKR), Temkin, Harkin-Jura, Redlich-Peterson, dan persamaan Jovanovic. Model matematika isotherm adsorpsi disajikan dalam Tabel 2. Nilai R^2 dari setiap model yang paling mendekati 1 merupakan model *isotherm* dari adsorpsi Pb(II).

Tabel 1. Model-model persamaan matematika dalam mempelajari kinetika adsorpsi Pb(II) pada adsorben silika dari pasir alam

Model Kinetika	Bentuk Linear	Plot Grafik	Referensi
Pseudo orde 1	$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t$	$\ln(q_e - q_t)$ vs t	Wang & Guo (2020)
Pseudo orde 2	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$	t/q_t vs t	Tran <i>et al.</i> (2017); Wang & Guo (2020)
Elovich	$q_t = \left(\frac{1}{\beta}\right) \ln(a\beta) + \left(\frac{1}{\beta}\right) \ln t$	q_t vs $\ln t$	Tran <i>et al.</i> (2017); Wang & Guo (2020)
Bangham	$\log\left(\log\frac{C_o}{C_o - q_t \cdot m}\right) = \log\left(\frac{k_m}{2,303 V}\right) + a \log t$	$\log\left(\log\frac{C_o}{C_o - q_t \cdot m}\right)$ vs $\log t$	Neolaka <i>et al.</i> (2020)
Weber-Morris difusi intrapartikel	$q_t = k_p \sqrt{t} + C$	q_t vs \sqrt{t}	Tran <i>et al.</i> (2017)

Tabel 2. Model matematika dari setiap model *isotherm* yang digunakan.

Model Isotherm	Bentuk Linear	Plot Grafik	Referensi
Langmuir Hanes-Woolf (tipe 1)	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{Q_o} + \frac{1}{bQ_o C_e}$	$\frac{C_e}{q_e}$ vs C_e	Neolaka <i>et al.</i> , (2020)
Freundlich	$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$	$\log q_e$ vs $\log C_e$	Ayewai <i>et al.</i> , (2017); Neolaka <i>et al.</i> , (2020)
Brenauer Emmet Teller (BET)	$\frac{C_e}{q_e(C_s - C_e)} = \frac{1}{q_s C_{BET}} + \frac{C_{BET} - 1}{q_s C_{BET}} \frac{C_e}{C_s}$	$\frac{C_e}{q_e(C_s - C_e)}$ vs $\frac{C_e}{C_s}$	Neolaka <i>et al.</i> , (2020)
Dubin-Kaganer Raduskevich (DKR)	$\ln q_e = \ln q_s - K_{DKR} \epsilon^2$	$\ln q_e$ vs ϵ^2	Neolaka, <i>et al.</i> , (2020)
Temkin	$q_e = \left(\frac{RT}{b_T} \ln A_T\right) + \left(\frac{RT}{b_T} \ln C_e\right)$	q_e vs $\ln C_e$	Pillai <i>et al.</i> , (2020)
Harkin-Jura	$\frac{1}{q_e^2} = \frac{B}{A} - \left(\frac{1}{A}\right) \log C_e$	$\frac{1}{q_e^2}$ vs $\log C_e$	Ayewai <i>et al.</i> , (2017)
Redlich-Peterson	$\ln \frac{C_e}{q_e} = \beta \ln C_e - \ln A$	$\ln C_e/q_e$ vs $\ln C_e$	Ayewai <i>et al.</i> , (2017)
Jovanovic	$\ln q_e = \ln q_{max} - K_J C_e$	$\ln q_e$ vs C_e	Ayewai <i>et al.</i> , (2017)

Keterangan:

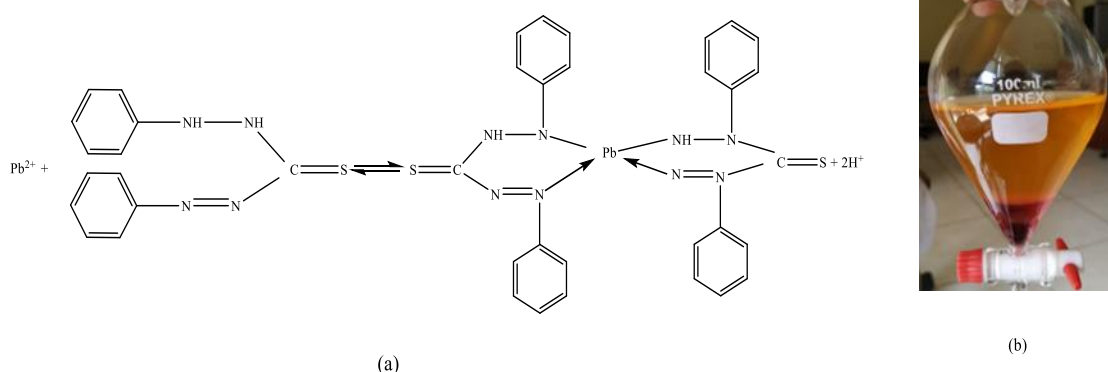
Q_o = kapasitas adsorpsi (mg/g), C_e = konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (mg/L), b = konstanta isotherm Langmuir (dm³/mg), q_e adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada adsorben saat kesetimbangan (mg/g), K_F adalah konstanta Freundlich yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi (mg/g)/(mg/L)ⁿ, n = parameter intensitas Freundlich yang menunjukkan besarnya gaya penggerak adsorpsi, C_{BET} adalah konstanta isotherm BET yang berhubungan energi interaksi permukaan (L/mg), q_s adalah kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g), C_s atau C_o adalah konsentrasi jenuh dari monolayer adsorbat (mg/L), K_{DKR} adalah konstanta yang terkait dengan energi penyerapan (mol²/kJ²), ϵ = potensial polanyi, E = energi adsorpsi rata-rata (kJ/mol), R = konstanta gas (8,314 J/mol K), T = suhu (K), b_T = konstanta isotherm Temkin, A_T = konstanta kesetimbangan isotherm Temkin yang berhubungan dengan energi maksimum antara adsorbat dengan adsorben (L/g), B dan A = konstanta Harkin-Jura, β adalah eksponen yang nilainya harus berada diantara 0 dan 1, q_{max} = serapan maksimum adsorbat dan K_J = konstanta Jovanovic.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Interaksi Kompleks Pb(II) dan Ditizon

Penambahan ditizon bertujuan sebagai agen pengompleks yang dapat membentuk kompleks yang stabil dengan ion logam Pb(II) karena ditizon memiliki atom S dan N pada gugus fungsi $-SH$ dan $-NH$ yang berfungsi sebagai donor pasangan elektron (Ntoi, 2016). Ditizon dipilih sebagai ligan untuk adsorpsi

karena sangat selektif untuk logam Pb(II) (Mudasir *et al.*, 2008). Ion OH^- dalam suasana basa akan berikatan dengan ion H^+ pada ditizon sehingga membentuk kompleks Pb(II)-ditizonat yang stabil (lapisan merah muda)(Gambar 1.b) (Rajesh & Manikandan, 2008). Reaksi pembentukan kompleks Pb(II)-ditizonat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. (a). Reaksi logam Pb(II) dengan ditizon, (b). Hasil pembentukan kompleks Pb(II)-ditizon

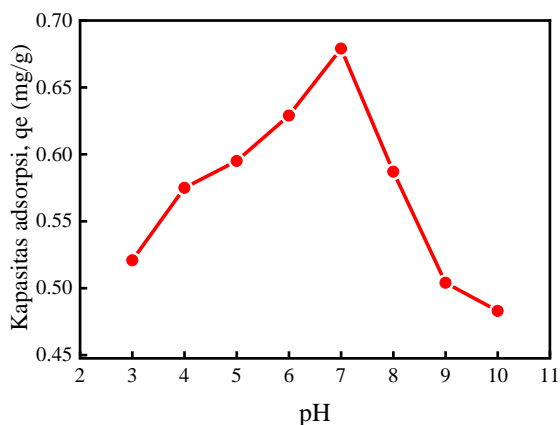
pH Optimum Adsorpsi

Peningkatan kapasitas adsorpsi terjadi dari pH 3 hingga 6 dan optimum di pH 7 serta menurun kembali pada pH di atas 7 (Gambar 2). Perubahan kapasitas adsorpsi pada variasi pH merupakan peran ion-ion H^+ dan OH^- . Pada pH 3-6, permukaan adsorben dikelilingi oleh ion H^+ (karena gugus fungsi yang terdapat pada adsorben terprotonasi), sehingga terjadi persaingan antara ion logam Pb(II) dengan ion H^+ dalam berikatan dengan gugus aktif yang ada pada adsorben silika. Pada kondisi asam permukaan adsorben juga bermuatan positif, yang akan menyebabkan terjadi tolakan antara permukaan adsorben dengan ion logam sehingga adsorpsinya rendah (Sembiring, 2009). Pada pH 7 dengan kapasitas adsorpsi 0,679 mg/g, berada pada keadaan netral sehingga ion Pb(II) akan berinteraksi dengan silika dan kondisi ini berada pada keadaan optimum. Pada pH di atas 7, jumlah ion logam

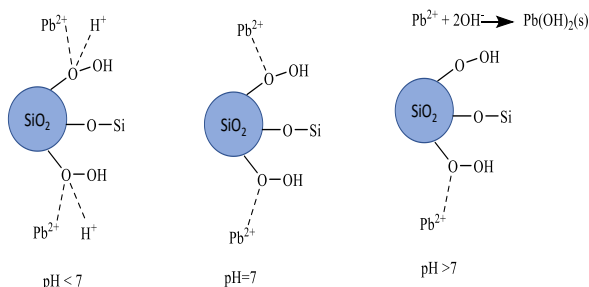
yang teradsorpsi mengalami penurunan. Hal ini karena terdapat banyak ion OH^- yang terkandung dalam larutan sehingga ion-ion logam Pb(II) akan berinteraksi dengan basa (OH^-) sehingga mengendap membentuk $Pb(OH)_2$. Dapat ditarik kesimpulan bahwa pH berpengaruh pada adsorpsi Pb(II) menggunakan adsorben silika dari pasir alam Takari. Model interaksi adsorben silika dan ion logam Pb(II) disajikan dalam Gambar 3.

Waktu Kontak Optimum

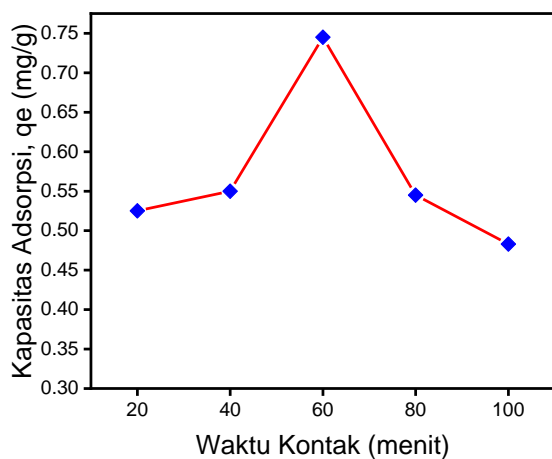
Penentuan waktu kontak optimum adsorpsi ion Pb(II) menggunakan silika pada variasi waktu 20-100 menit dengan rentang 20 menit dan pH 7 (pH optimum). Variasi waktu kontak ini bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penyerapan optimum ion Pb(II) oleh silika. Hasil adsorpsi pada variasi waktu kontak dengan adsorben silika disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 2. Grafik variasi pH adsorpsi ion logam Pb(II) menggunakan adsorben silika



Gambar 3. Model interaksi silika dan Pb(II) pada beberapa kondisi pH



Gambar 4. Grafik variasi waktu kontak adsorpsi Pb(II)

Gambar 4 menunjukkan variasi waktu kontak adsorpsi Pb(II) menggunakan adsorben silika dari pasir alam Takari. Waktu kontak berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi Pb(II). Grafik menunjukkan adsorpsi Pb(II) mengalami peningkatan pada waktu kontak 20

hingga 60 menit, kemudian mengalami penurunan dari 60 hingga 100 menit. Waktu kontak optimum adsorpsi Pb(II) pada 60 menit dengan kapasitas adsorpsi 0,745 mg/g. Pada waktu kontak 20 hingga 40 menit terjadi peningkatan ion Pb(II) yang teradsorpsi. Pada waktu kontak sebelum 60 menit, belum ada keseimbangan jumlah adsorbat Pb(II) dengan adsorben atau kesetimbangan proses adsorpsi belum tercapai. Pada saat mencapai waktu kontak 60 menit, sudah tercapai keseimbangan adsorpsi Pb(II) dan silika sebagai adsorben. Hal ini karena semua gugus aktif pada adsorben telah terisi oleh Pb(II), namun dimungkinkan terjadi pada bagian yang kosong. Setelah waktu kontak 60 menit, proses adsorpsi mengalami kejenuhan karena tidak ada lagi situs aktif dan ruang kosong pada silika untuk menjerap ion Pb(II) yang ditandai dengan menurunnya kapasitas adsorpsi Pb(II).

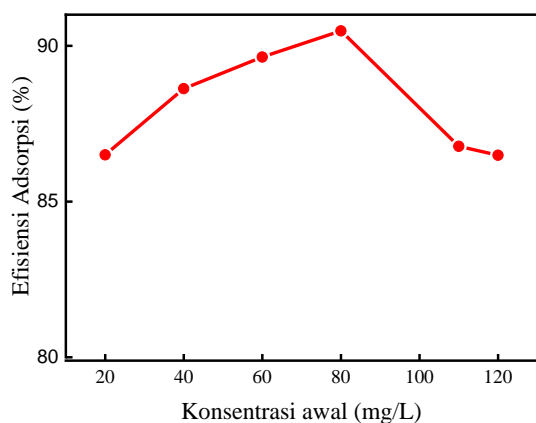
Konsentrasi Optimum dan Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Pb(II)

Penentuan konsentrasi optimum yaitu untuk mengetahui besarnya konsentrasi adsorbat ion logam Pb(II). Gambar 5 dan Tabel 3 menyajikan efisiensi adsorpsi Pb(II) yang optimum pada konsentrasi 80 mg/L dengan nilai sebesar 90,479% dan kapasitas adsorpsi 18,096 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa setelah mencapai kesetimbangan maka peningkatan konsentrasi Pb(II) tidak lagi merubah banyak ion logam Pb(II) yang teradsorpsi secara signifikan. Pada konsentrasi larutan di bawah 80 mg/L yaitu 20, 40 dan 60 mg/L, jumlah spesi ion Pb(II) yang berada dalam larutan lebih sedikit dibandingkan jumlah situs aktif (gugus pengikat) pada adsorben silika sehingga adsorpsi Pb(II) terus mengalami peningkatan. Ketika konsentrasi larutan di atas 80 mg/L, yaitu 110 mg/L dan 120 mg/L, terjadi

penurunan efisiensi penyerapan atau melemahnya kemampuan adsorpsi.

Tabel 3. Efisiensi adsorpsi Pb(II) pada silika

Konsentrasi awal (mg/L)	Jumlah zat teradsorpsi (mg/g)	Efisiensi Adsorpsi (%)
20	4,32	86,50
40	8,86	88,62
60	13,44	89,63
80	18,09	90,47
110	23,86	86,77
120	25,94	86,48



Gambar 5. Kurva efisiensi adsorpsi Pb(II) oleh silika (SiO_2)

Penurunan efisiensi adsorpsi disebabkan karena jumlah ion Pb(II) yang ada dalam larutan lebih banyak dibandingkan dengan jumlah gugus aktif (gugus pengikat) pada adsorben silika sehingga mengalami kejenuhan. Artinya adsorben tidak mampu lagi menyerap ion logam Pb(II) secara lebih maksimal. Peningkatan konsentrasi tidak lagi berpengaruh setelah konsentrasi optimum karena permukaan adsorben telah jenuh oleh ion-ion logam (Lestari & Sanova, 2011).

Kinetika Adsorpsi Ion Logam Pb(II) Menggunakan Silika dari Pasir Alam

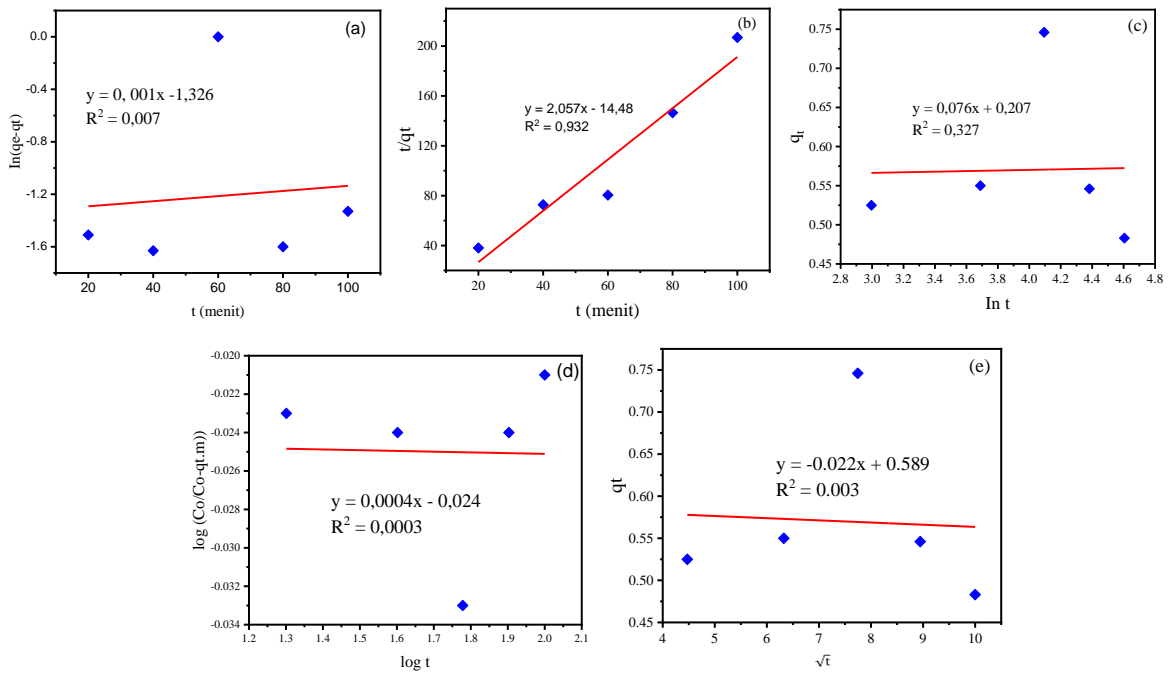
Kinetika adsorpsi menggambarkan tingkat adsorpsi adsorbat terhadap waktu kontak

adsorpsi. Terdapat lima model kinetika yang digunakan dalam penelitian ini yaitu model kinetika *pseudo* orde satu, kinetika *pseudo* orde dua, model kinetika *pseudo* orde dua termodifikasi, model kinetika *pseudo* orde dua-2 termodifikasi, model kinetika Elovich, model kinetika Bangham dan model kinetika difusi intrapartikel. Grafik kelima model kinetika disajikan dalam Gambar 6 dan nilai parameter kinetika untuk masing-masing model kinetika ditampilkan pada Tabel 4.

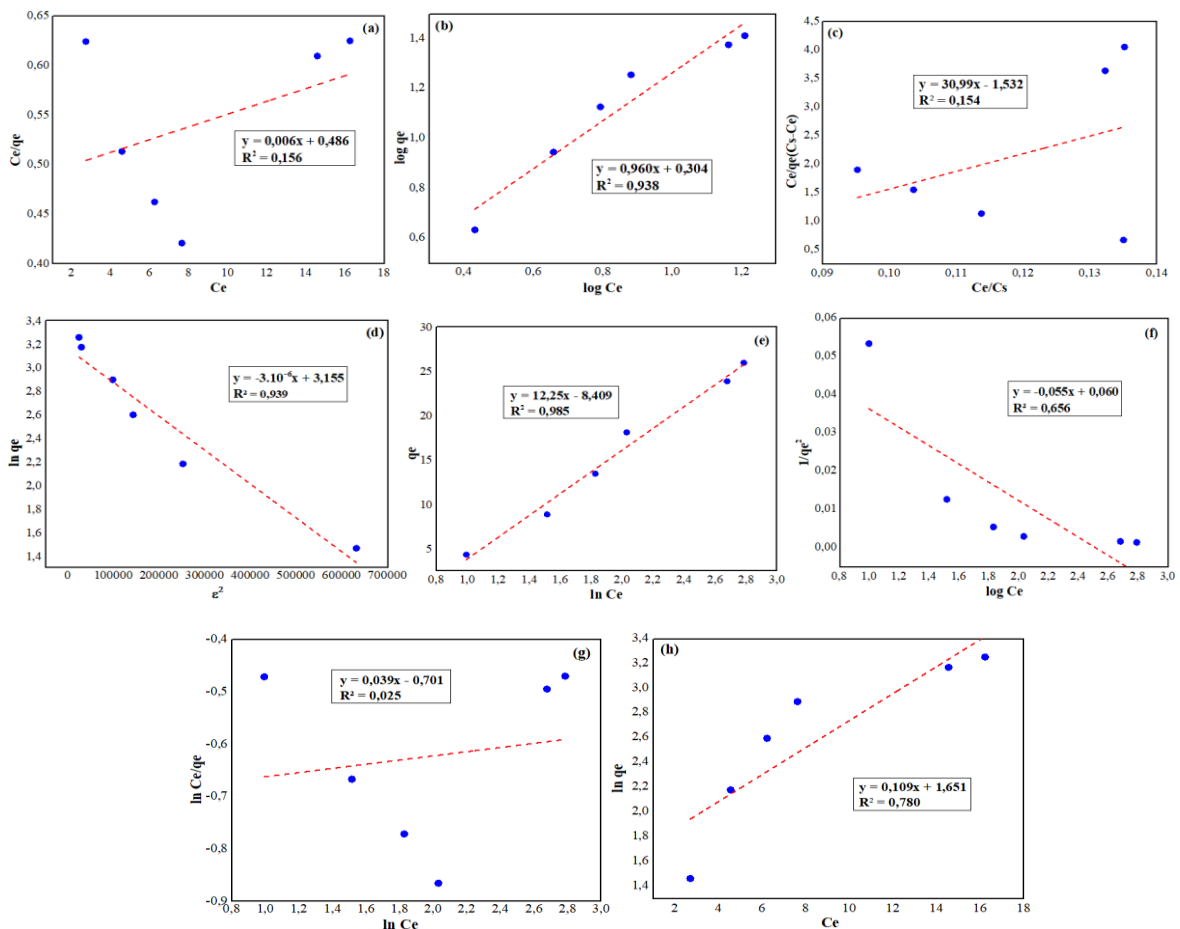
Berdasarkan Gambar 6 dan Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa adsorpsi logam Pb(II) menggunakan adsorben silika mengikuti model kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua. Hal ini dilihat dari nilai R^2 yang mendekati satu, yang mana model kinetika ini diperoleh nilai R^2 sebesar 0,932. Model kinetika adsorpsi ini mengindikasikan bahwa kapasitas adsorpsi proporsional terhadap jumlah situs aktif dari adsorben. Konstanta laju adsorpsinya yaitu $-0,292 \text{ g.mg}^{-1}.\text{menit}$, artinya $-0,292$ gram adsorben mampu mengadsorpsi 1 mg adsorbat dalam waktu 1 menit. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa silika yang diekstraksi dari pasir alam Takari pulau Timor dapat dijadikan sebagai adsorben dapat mengadsorpsi logam-logam berat tanpa harus dimodifikasi.

Isotherm Adsorpsi Ion Logam Pb(II) Menggunakan Silika dari Pasir Alam

Grafik model isotherm Langmuir, Freundlich, Brunauer Emmet Teller (BET), Dubinin Kaganer Radushkevich (DKR), Temkin, Harkin-Jura, Redlich-Peterson, dan model isotherm Jovanovic ditunjukkan pada Gambar 7 dan nilai parameter setiap model *isotherm* disajikan dalam Tabel 5.



Gambar 6. Kurva model kinetika adsorpsi Ion Pb(II) pada silika: (a). Pseudo orde 1, (b). pseudo orde 2, (c). Elovic, (d). Bangham, (e). Weber-Morris difusi intrapartikel



Gambar 7. Grafik model *isotherm* (a) Langmuir Hanes-Woolf (tipe 1), (b) Freundlich, (c) Brunauer Emmet Teller (BET), (d) Dubinin Kaganer Radushkevich (DKR), (e) Temkin, (f) Harkin-Jura, (g) Redlich-Peterson dan (h) Jovanovic

Tabel 4. Nilai parameter kinetika adsorpsi ion logam Pb(II) pada adsorben silika

No.	Model Kinetika	Parameter
1	<i>Pseudo orde satu</i>	$y = 0,001x - 1,326$ $R^2 = 0,007$ $K_1 = 0,001 \text{ menit}^{-1}$ $q_e = 0,266 \text{ mg/g}$
2	<i>Pseudo orde dua</i>	$y = 2,057x - 14,48$ $R^2 = 0,932$ $K_2 = -0,292 \text{ g/mg.menit}$ $q_e = 0,486$
3	Elovich	$y = 0,076x + 0,207$ $R^2 = 0,327$ $\beta = 13,157 \text{ g/mg.menit}$ $\alpha = 0,077 \text{ mg/g.menit}$
4	Bangham	$y = -0,0004x + 0,024$ $R^2 = 0,0003$ $k_m = 0,056 \text{ mg/L}$
5	Weber-Morris difusi intrapartikel	$y = -0,002x + 0,589$ $R^2 = 0,003$ $K_p = -0,002 \text{ mg/g.menit}^{1/2}$ $C = 0,589 \text{ mg/g}$

Tabel 5. Nilai Parameter *isotherm* adsorpsi ion Pb(II) menggunakan silika

No	Model Isotherm	Parameter
1	Langmuir Hanes-Woolf (tipe 1)	$R^2 = 0,156$ $Q_o = 166,667 \text{ mg/g}$ $b = 0,012 \text{ L/mg}$
2	Freundlich	$R^2 = 0,938$ $n = 1,042$ $K_F = 1,355 \text{ mg/g}$
3	Brunauer Emmet Teller (BET)	$R^2 = 0,154$ $C_{BET} = -19,236$ $q_s = 0,034 \text{ mg/g}$
4	Dubinini Raduskevich (DKR)	$R^2 = 0,939$ $q_s = 23,453 \text{ mg/g}$ $K_{DKR} = 0,000003 \text{ mol}^2/\text{kJ}^2$
5	Temkin	$R^2 = 0,985$ $b_T = 205,644$ $A_T = 0,503 \text{ L/g}$
6	Harkin-Jura	$R^2 = 0,656$ $A = 18,182$ $B = 1,091$
7	Redlich-Peterson	$R^2 = 0,025$ $\beta = 0,039$ $A = 2,016 \text{ L/g}$
8	Jovanovic	$R^2 = 0,780$ $K_J = -0,109$ $q_{\max} = 5,212 \text{ mg/g}$

Delapan model grafik pada Gambar 7 menunjukkan bahwa model *isotherm* adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi ion Pb(II) oleh silika yaitu model *isotherm* Temkin. Persamaan regresi yang diperoleh dari plot q_e vs $\ln C_e$ adalah $y = 12,25x - 8,409$ dengan nilai R^2 sebesar 0,985 (Tabel 5). *Isotherm* Temkin menjelaskan bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan heterogen yang mempunyai sifat *irreversible* (Tran *et al.*, 2017). Molekul adsorben (silika) dan energi adsorpsi terdistribusi secara heterogen dengan membentuk lapisan monolayer diatas permukaan adsorben dan tidak lagi terjadi perpindahan zat dari adsorbat ke adsorben. *Isotherm* Temkin juga menjelaskan potensi adsorpsi dari adsorben ke adsorbat berkaitan dengan interaksi secara tidak langsung antara adsorbat dan adsorben. Hal ini menyebabkan distribusi energi ikat yang seragam dan mengarah pada peningkatan energi ikat maksimum (Pillai *et al.*, 2020).

KESIMPULAN

Silika diekstraksi dari pasir alam menggunakan metode hidrotermal dan kopresipitasi. Silika hasil ekstraksi digunakan untuk mengadsorpsi ion Pb(II) melalui beberapa kondisi optimum yaitu pH, waktu kontak, konsentrasi, model kinetika dan *isotherm* adsorpsi. Penentuan konsentrasi Pb(II) menggunakan pereaksi dithizon membentuk kompleks dan diukur menggunakan UV-VIS. Hasil penelitian untuk pH, waktu kontak dan konsentrasi optimum berturut-turut adalah 7, 60 menit dan 80 mg/L dengan kapasitas adsorpsi (q_e) 0,679 mg/g; 0,745 mg/g dan 18,096 mg/g. Model kinetika yaitu pseudo orde 2 dengan $R^2 = 0,93$ dan *isotherm* adsorpsi yang sesuai yaitu model

isotherm Temkin. Penelitian ini memberikan informasi yang menarik bahwa silika yang diekstraksi dari pasir alam NTT mempunyai kemampuan dalam mengadsorpsi logam Pb(II).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada "Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi atas dukungan dana melalui skema PKPT dengan kontrak induk nomor: 041/E5/PG.02.00.PT/2022 dan nomor kontrak turunan: 55/UN15.19/SP2H/LT/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Alharthi, S., Ahmad, B., Naz, A., Khan, I., & Mabood, F. (2021). Efficient Removal of Pb(II) from Aqueous Medium Using Chemically Modified Silica Monolith. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(22), <https://doi.org/10.3390/molecules26226885>.
- Awual, R., Hasan, M., Eldesoky, G. E., Khaleque, A., Rahman, M. M., & Naushad, M. (2016). Facile mercury detection and removal from aqueous media involving ligand impregnated conjugate nanomaterials. *Chemical Engineering Journal*, 290, 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.01.038>.
- Ayewai, N., Ebelegi, A. N., dan Wankasi, D. (2017). Modelling and interpretation of adsorption Isotherms. *Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2017/3039817>.
- Buhani. Suharso. dan Fitriyani, A. Y. (2013). Comparative study of adsorption ability of Ni(II) and Zn(II) ionic imprinted amino-silica hybrid toward target metal in solution. *Asian Journal of Chemistry*. 25(5): 2875-2880. <https://dx.doi.org/10.14233/ajchem.2013.14166>.
- Briffa, J., Sinagra, E., and Blundell, R., (2020). Heliyon heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans, *Heliyon*, 6, e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>.

- Demcak, S., Balintova, M., dan Demcakovam. (2017). Study of heavy metals removal from model solutions by wooden materials. *1st International Conference on Advance in Environmental Engineering (AEE 2017)*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/92/1/012008>
- Geetha, D., Ananthi, A., Ramesh, P. S. (2016). Preparation and characterization of silica material from rice husk ash-an economically viable method. *Chem. Mater, Res.*, 8(6): 1-7.
- Hardyanti, I. S., Nurani, I., Hardjono, D. S., Apriliani, E., dan Wibowo, E. A. P. (2017). Pemanfaatan silika (SiO₂) dan bentonit sebagai adsorben logam berat Fe pada limbah batik. *Jurnal Sains Terapan*, 3(2). <https://doi.org/10.32487/jst.v3i2.257>.
- Irfandi, A., Ashar, T., dan Chahaya, I. (2013). Analisis kandungan kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Air Sumur Gali penduduk di sekitar industri daur ulang aki dan gangguan kesehatan pada masyarakat desa Bandar Khalipah kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara.
- Irianti, T. T., Kuswandi., Nuranto, S., dan Budiyaniti, A. (2017). Logam berat dan kesehatan. Universitas Gadja Mada.
- Kwon, J-S., Yun, T-S., Lee, J-W., Kim, S-O., dan Jo, H. Y. (2010). Removal of divalent heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and arsenic(III) from aqueous solutions using scoria: kinetic and equilibria of sorption. *Journal of Hazardous Materials*, 174: 307-313. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.052>
- Lestari, I., dan Sanova, A. (2011). Penyerapan logam kadmium (Cd) menggunakan kitosan hasil transformasi kitin dari kulit udang (*Penaeus sp*), 13: 9-14.
- Mohammad, A., Hendi, A. H., & Saleh, A. (2020). Simultaneous adsorption of dye and toxic metal ions using an interfacially polymerized silica/polyamide nanocomposite: Kinetic and thermodynamic studies. 314. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113640>.
- Mudasir, Raharjo, G., Tahir, I., & Wahyuni, E. T. (2008). Immobilization of Dithizone onto Chitin Isolated from Prawn Seawater Shells (*P. merguensis*) and its Preliminary Study for the Adsorption of Cd(II) Ion. *Journal of Physical Science*, 19(1), 63–78.
- Munasir, Triwikantoro, Zainuri, M., dan Darmianto. (2013). Ekstraksi dan sintesis nanosilika berbasis alam pasir bancar dengan metode basah. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*, 3(2): 12-17. <https://doi.org/10.26740/jpfa.v3n2.p12-17>.
- Mukti, R. R. (2015). Characteristics of heavy metals adsorption Cu, Pb and Cd using synthetic zeolite ZSM-5. *20(2)*, 77–83. <https://doi.org/10.5400/jts.2015.20.2.77>.
- Naat, J. N., Lapailaka, T., Sabarudin, A., & Tjahjanto, R. T. (2018). Synthesis and characterization of chitosan-silica hybrid adsorbent from the extraction of Timor-East Nusa Tenggara synthesis and characterization of chitosan-silica hybrid adsorbent from the extraction of Timor-East Nusa Tenggara island silica and its app. *Rasayan Journal Of Chemistry*, 11(4), 1467–1476. <https://doi.org/10.31788/RJC.2018.1144055>.
- Ntoi, L. L. A. (2016). Multiple Chromisms Associated with Dithizone. [Doctoral dissertation], University of the Free State.
- Nuray, S. (2022). Adsorption of Pb (II), Cu(II), Cd (II), Ni(II), and Co(II) ions by newly synthesized 2-(20-Hydroxyphenyl) Benzothiazole-functionalized silica. 348. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118388>.
- Nurhasni, Hendrawati, dan Saniyah, N. (2014). Sekam padi untuk menyerap ion logam tembaga dan timbal dalam air limbah. (4)1: 130-138.
- Ningsih, D. A., Said, I., dan Ningsih, P. (2016). Adsorpsi logam timbal (Pb) dari larutannya dengan menggunakan adsorben dari tongkol jagung. *J. Akad. Kim* 5(2): 55-60.
- Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J. N., Riwu, A. A. P., Iqbal, M., Darmokoesoemo, H., & Kusuma, H. S. (2020). The adsorption of Cr(VI) from water samples using graphene oxide-magnetic (GO-Fe₃O₄) synthesized from natural cellulose-based graphite (kusambi wood or *Schleichera oleosa*): Study of kinetics, isotherms and thermodynamics. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 6544–6556. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.040>.
- Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J., Riwu, A. A. P., Darmokoesoemo, H., Widyaningrum, B. A., Iqbal, M., & Kusuma, H. S. (2021). Indonesian Kesambi wood (*Schleichera oleosa*) activated with pyrolysis and H₂SO₄ combination methods to produce mesoporous activated

- carbon for Pb(II) adsorption from aqueous solution. *Environmental Technology and Innovation*, 24, 101997. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101997>.
- Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J. N., Riwu, A. A. P., Darmokoesoemo, H., Supriyanto, G., Holdsworth, C. I., Amenaghawon, A. N., dan Kusuma H. S. (2019). A Cr(VI)-imprinted-poly(4-VP-Co-EGDMA) sorbent prepared using precipitation polymerization and its application for selective adsorptive removal and solid phase extraction of Cr(VI) ions from electroplating industrial wastewater. *Reactive and Functional Polymers* 147, 104451. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2019.104451>.
- Paramitha, T., Saputra, T. R., Aliah, A. N., Tarigin, A. V., dan Ghozali, M. (2019). Karakterisasi silika dari abu ampas tebu, *Kovalen*, 5(3): 290-298. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2019.v5.i3.14309>.
- Puspitasari, A.A., Sumarni, N.K., Musafira. (2017). Kajian kapasitas adsorpsi arang kulit kopi robusta teraktivasi zncl₂ terhadap ion Pb (II). *Kovalen*, 3(2):134-141.
- Pillai, P., Dharaskar, S., dan Pandian, S., (2020). Rice husk derived silica nano doped on calcium peroxide for fluoride: performance, characterization, kinetic, isotherm, and groundwater treatment. *Journal Environmental Technology & Innovation* 19 100901. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.10091>
- Pratomo, I., Wardhani, S., dan Purwonugroho, D. (2013). Pengaruh teknik ekstraksi dan konsentrasi hcl dalam ekstraksi silika dari sekam padi untuk sintesis silika xerogel. *Kimia Student Journal*, 2(1): 358-364.
- Qi, J., Li, Y., Majeed, H., Goff, H. D., Rahman, M. R. T., dan Zhong, F. (2019). Adsorption mechanism modeling using lead (Pb) sorption data on modified rice bran-insoluble fiber as universal approach to assess other metals toxicity. *International Journal of Food Properties*, 22(1): 1397-1410, <https://doi.org/101080/10942912.2019.1650764>
- Rostamian, R., Najafi, M., Rafati, A. (2011). Synthesis and characterization of thiol functionalized silica nano hollow sphere as a novel adsorbent for removal of poisonous heavy metal ions from water: kinetics, isotherms and error analysis. *Chemical Engineering Journal*, 171(3): 1004-11. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.04.051>.
- Rajesh, N., Manikandan S., (2008). Spectrophotometric Determination of Lead After Preconcentration of Its Diphenylthiocarbazono Complex on an Amberlite XAD-1180 Column. *Spectrochim Acta*, Vol. 70: 754-757. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2007.09.007>
- Said, N. I. (2010). Metode penghilangan logam berat (As, Cd, Ag, Cu, Pb, Ni dan Zn) didalam air limbah industri. *Jurnal air Indonesia*. 6(2): 136-148. <https://doi.org/10.29122/jai.v6i2.2464>.
- Simatupang, Lisnawaty, Oktavia, Putri, D., dan Maryati, D. (2017). Adsorpsi logam berat Pb(II) oleh adsorben berbasis silika dari abu vulkanik sinabung. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 09(02): 330-335.
- Sembiring, Z., Buhani, Suharso, Surnadi. (2009). Isoterm adsorpsi ion Pb(II), Cu(II), dan Cd(II) pada biomassa *nannochloropsis sp* yang dienkapsulasi akuagel silika. *Indonesian Journal of Chemistry*, 9(1): 1-5.
- Tran, H. N., You, S. J., Hosseini-Bandegharai, A., & Chao, H. P. (2017). Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review. *Water Research*, 120, 88-116. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.014>.
- Wang, J., & Guo, X. (2020). Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications, and solving methods. *Journal of hazardous materials*, 390, 122156. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122156>
- Wiyono, N., Faturrahman, A., dan Syauqiah, I. (2017). Sistem pengolahan air minum sederhana, 6(1).
- Yusmaniar., Purwanto, A., Putri, E. A., Rosyidah, D. (2017). Adsorption of Pb(II) using silica gel composite from rice husk modified 3-aminopropyltriethoxysilane (aPTES)-activated carbon from coconut shell. *Int. Conf. Chem. Process Eng.* <https://DOI.10.1063/1.4978107>.

Zainuri, M. (2013). Sintesis silika dari pasir alam tuban. *Jurnal Teknik Pomits*, 1(1): 1-3.
<http://dx.doi.org/10.12962/j23373520.v3i1.5721>.

Zhang, Z., Wang, T., Zhang, H., Liu, Y., and Xing, B., 2021, Science of the total environment adsorption of Pb (II) and Cd (II) by magnetic activated carbon and its mechanism, *Sci. Total Environ.*, 757, 143910.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143910>.