

Pengaruh HCl terhadap Aktifasi Zeolit Alam Clinoptilolit-Ca pada Penyerapan Pb(II)

Zilfa^{1*}, Upita Septiani², Mirawati¹

¹Laboratorium Kimia Analitik Terapan, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Sumatra Barat, Indonesia

²Laboratorium Kimia Material, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Sumatra Barat, Indonesia

Corresponding author:
Zilfa
zilfa@sci.unand.ac.id

Received: June 2020
Accepted: August 2020
Published: September 2020

©Zilfa et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Abstract

Research about the effect of HCl on the activation of clinoptilolite-Ca natural zeolite on Pb(II) absorption has been done. The purpose of this study is to determine the capacity of zeolite clinoptilolite-Ca activation by HCl can be used as an adsorbent. For analysis of the adsorption we used AAS whereas for zeolite characterization were used XRF and XRD. The analysis parameters are the effect of HCl concentration, particle size, adsorbent mass, contact time, total solution volume, concentration of Pb(II), and PH solution. These parameters were studied to determine the optimum conditions in the adsorption process. The optimum conditions absorption of Pb(II) for the acid activation process shows that the zeolite clinoptilolite-Ca can be used as an adsorbent. The adsorption results show that the value of Pb(II) capacity in the activation process with HCl of 0.2 N produces adsorption capacity of 0.0821 mg/g, for particle size 125 μm produces and adsorption capacity 0.0821 mg/g, for an adsorbent mass of 0.1 g produces an adsorption capacity of 0.5110 mg/g, for contact time of 10 minutes is 0.5662 mg/g, for a metal solution volume of 12.5 mL is 0.5493 mg/g, for the concentration of metal ion solution 40 mg/L is 2.608 mg/g, and at pH = 7 is 4.923 mg/g. The output of several parameters can be concluded that the adsorption capacity of zeolite clinoptilolite-Ca to the absorption of Pb(II) is 4.923 mg/g. Characterization of zeolite adsorbents with XRF and XRD shows that the zeolite used is zeolite clinoptilolite-Ca.

Keywords: *natural zeolite, adsorption, AAS, Pb(II)*

Pendahuluan

Zeolit merupakan mineral yang sangat banyak kegunaannya, dalam didapatkan sangat melimpah. Beberapa negara telah banyak menemukan jenis jenis zeolit alam diantaranya klipnotilolit, modernit, phillipsit, chabazit, stilbit. Zeolit clinoptilolit, modernit, chabazit, sangat banyak ditemukan, sedangkan jenis offretit, paulingit, barrerit dan mazzit lebih

sedikit. Zeolit clipnotilolit merupakan zeolit alam yang paling berlimpah dan paling banyak digunakan di dunia^[1]. Menurut Dinas pertambangan dan energi Sumatra Barat bahwa terdapat zeolit di beberapa daerah diantaranya di daerah Solok.

Zeolit yang terbentuk secara alami merupakan mineral aluminosilikat. Rumus umum zeolit adalah $M_{x/n}(Al_xSi_yO_{2(x+y)}) \cdot zH_2O$ (M adalah kation

logam dengan muatan n). Zeolit merupakan material yang penting untuk katalis, penukar ion, adsorben dan aplikasi saringan molekuler. Semua zeolit yang ditemukan di alam selalu mengandung air. Air merupakan molekul polar yang mudah teradsorpsi di permukaan zeolit. Karena ukuran molekulnya yang kecil, air akan mengisi seluruh saluran dan rongga-rongga dalam kristal zeolit^[2].

Struktur zeolit terdiri dari kerangka tiga dimensi SiO_4 dan AlO_4 tetrahedra. Ion aluminium cukup kecil untuk menempati posisi di tengah tetrahedron dari empat atom oksigen, dan penggantian isomorf dari Si^{4+} oleh Al^{3+} menghasilkan muatan negatif dalam kisi. Muatan negative diseimbangkan dengan penukar kation (natrium, kalium, atau kalsium). Kation ini dapat ditukar dengan kation tertentu seperti timbal, kadmium, seng, dan mangan^{[3],[4]}. Fakta bahwa penukar ion zeolit relatif tidak berbahaya (natrium, kalsium, dan kalium ion) hal ini menyebabkan zeolit sangat cocok untuk menyerap ion logam berat berbahaya limbah industri. Salah satu aplikasi yang paling awal penggunaan zeolit alam adalah pada pemurnian cesium dan strontium^[5].

Berdasarkan bentuk strukturnya, zeolit merupakan senyawa yang mempunyai pori teratur, luas permukaan yang besar berbentuk tetrahedral, selektifitas yang tinggi. Oleh karena itu maka zeolit banyak digunakan sebagai penukar ion, penyerap, penyaring molekul dan katalis^[6].

Zeolit alam memiliki potensi yang cukup baik dalam pengolahan air dan limbah. Terdapat aplikasi zeolit sebagai penyerap atau adsorpsi serta kemampuan pertukaran ion pada pengolahan air dan limbah. Selain itu karena ketersediaannya di alam yang berlimpah dan bisa digunakan dengan sistem teknologi yang sederhana menjadikan zeolit sebagai salah satu bahan penyerap yang banyak digunakan^{[7],[8]}.

Semakin pesatnya perkembangan industri semakin banyak terbentuknya limbah logam berat yang berbahaya, dimana nantinya limbah ini akan mengalir kepermukiman yang akan membahayakan penduduk. Adapun limbah

logam yang berbahaya berasal dari bermacam macam limbah pabrik seperti pabrik tekstil, kertas, emas yang menghasilkan limbah seperti Pb, Cu, Mg dan Cd. Apabila logam ini masuk keperairan akan terkumulasi dengan senyawa organik yang berada diperairan. Logam yang tertakumulasi ini tidak dapat diuraikan oleh mikroba yang ada diperairan. Air yang tercemar oleh logam berat ini apabila dikonsumsi oleh masyarakat akan menimbulkan dampak buruk yaitu akan merusak saluran pencernaan dan pernapasan.

Oleh karena zeolit adalah salah satu mineral yang sifatnya dapat sebagai adsorben, maka dapat digunakan untuk penyerapan atau penanggulangan limbah logam yang berbahaya ini.

Pada penelitian ini telah dilakukan penyerapan zeolit alam jenis clinoptilolit-Ca asal kabupaten Solok yang diaktifasi dengan HCl untuk penyerapan logam Pb(II). Disini dapat dilihat sejauh mana kemampuan zeolit alam jenis clinoptilolit asal Solok, Sumatra Barat dapat menyerap logam Pb(II).

Metodologi Penelitian

Bahan kimia

Zeolit alam di sekitar perbukitan solok HCl, akuades, HCl 37%, NaNO_3 teknis, CH_3COOH glasial 100%, NH_4OH p.a 25%, PbCl_2 , titrisol 1000 mg/L, kertas saring dan aluminium foil.

Peralatan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain : alat-alat gelas, neraca analitik, pH-meter, AAS (AAS, Varian SpectrAA-400 Spectrometer), XRF, XRD ayakan mikro (125, 180, 250 μm), alat *shaker* dan peralatan gelas laboratorium lainnya.

Prosedur penelitian

Preparasi sampel

Bongkahan zeolit alam dikering anginkan dan dihaluskan dengan lumpang. Diayak dengan ayakan mikro berukuran 125, 180 dan 250 μm

Pengaruh aktivasi asam

Zeolit dengan ukuran partikel 250 mesh ditimbang 100 g, kemudian direndam dengan HCl 0.1, 0.2, dan 0.3 M masing-masingnya selama satu jam. Dibilas dengan akuades sampai netral (pH=7). Dibilas dengan akuades sampai netral (pH=7). Dipanaskan dalam oven pada suhu 105 °C. Ke dalam erlenmeyer dimasukkan masing-masing sebanyak 10 mL larutan ion logam Pb(II), ditambahkan 1 g adsorben 250 µm. Pengadukan dilakukan dengan kecepatan 250 rpm dengan waktu pengadukan selama 10 menit. Larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan AAS.

Pengaruh ukuran partikel

1 g bubuk zeolit yang diaktifasi dengan HCl konsentrasi optimum yaitu 0.2 M dimasukkan ke dalam erlenmeyer dengan variasi ukuran partikel 150, 180 dan 250 µm. Kemudian ditambahkan larutan ion logam Pb(II) dengan konsentrasi 10 mg/L sebanyak 10 mL dan diatur pH=3, dilakukan pengadukan dengan kecepatan 250 rpm dengan waktu pengadukan 10 menit. Larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan AAS.

Pengaruh massa adsorben

Bubuk zeolit dengan aktifasi HCl 2 M dan ukuran partikel 125 µm ditimbang 0.1, 0.5, 1, 1.5 dan 2 g, ditambahkan larutan ion logam Pb(II) 10 mg/L sebanyak 10 mL pH 3, dilakukan pengadukan dengan kecepatan 250 rpm selama 10 menit. Larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan AAS.

Pengaruh waktu kontak

Zeolit dengan massa 0.1 g konsentrasi HCl 2 M dan ukuran partikel 125 µm ditimbang, ditambahkan larutan ion logam Pb(II) 10 mg/L sebanyak 10 mL pH 3, dilakukan pengadukan dengan kecepatan 250 rpm selama 5, 10, 20, 30 dan 40 menit. Larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan AAS.

Pengaruh volume larutan logam

Zeolit dengan massa 0.1 g konsentrasi HCl 2 M dan ukuran partikel 125 µm, waktu kontak 10 menit ditambahkan larutan ion logam Pb(II) konsentrasi 10 mg/L sebanyak 5, 7.5, 10, 12.5 dan 15 mL pH 3, dilakukan pengadukan dengan kecepatan 250 rpm dengan waktu optimum. Larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan AAS.

Pengaruh konsentrasi logam larutan

Zeolit dengan massa 0.1 g konsentrasi HCl 2 M dan ukuran partikel 125 µm, waktu kontak 10 menit dan volume larutan Pb(II) 12.5 mL, ditambahkan larutan ion logam Pb(II) 5, 10, 20, 30, 40 dan 50 mg/L pH 3, dilakukan pengadukan dengan kecepatan 250 rpm dengan waktu optimum. Larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan AAS.

Pengaruh variasi pH

Zeolit dengan massa, massa 0.1 g konsentrasi HCl 2 M dan ukuran partikel 125 µm, waktu kontak 10 menit dan volume larutan Pb(II) 12.5 mL ditambahkan larutan ion logam Pb(II) konsentrasi dan volume optimum pH 3, 4, 5, 6, 7 dan 8 dilakukan pengadukan dengan kecepatan 250 rpm dengan waktu optimum. Larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan AAS.

Hasil dan Diskusi

Pengaruh aktivasi menggunakan asam HCl

Aktivasi dengan menggunakan asam untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang ada pada zeolit dan membuka pori-pori serta meningkatkan luas permukaan adsorben. Aktivasi akan melarutkan kandungan Al₂O₃ sehingga menyebabkan rasio Si/Al meningkat, semakin banyak gugus SiO₂ maka akan meningkatkan gugus Si-OH pada permukaan adsorben. Selain itu aktivasi dengan asam mineral dapat melarutkan garam-garam mineral yang menutupi permukaan adsorben seperti Ca⁺, K⁺, Mg⁺ dan Na⁺ sehingga memperluas permukaan adsorben.

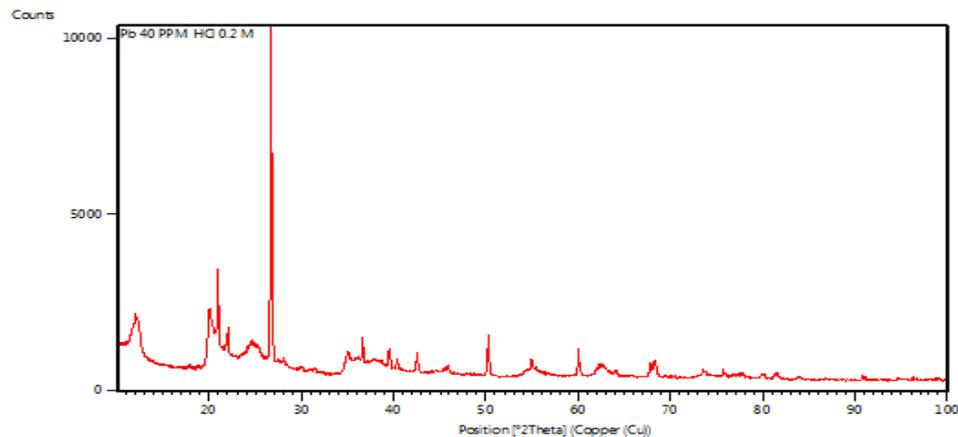
Hasil karakterisasi zeolit ini dengan XRF menunjukkan bahwa zeolit alam daerah Solok ini mengandung $\text{Al}_2\text{O}_3 = 33.896\%$ dan $\text{SiO}_2 = 62.243\%$. Disini terdapat perbandingan $\text{Si}/\text{Al} = 5$. Begitu juga data XRF dengan rasio Si/Al yaitu 2:1 menunjukkan bahwa mineral ini merupakan jenis zeolit clinoptilolit- Ca ^[8].

Gambar 1 memperlihatkan bahwa zeolit alam daerah Solok menunjukkan jenis clinoptilolit dan dari spektrum XRD juga menunjukkan bahwa zeolit ini berbentuk kristalin ini ditandai dengan terdapat tiga puncak tajam di 2θ yaitu pada 26.7347° , 20.9614° dan 19.9751° dimana rasio I/I_0 masing-masingnya yaitu 100, 28.99 dan 16.57. Tiga puncak lainnya lebih lemah terlihat

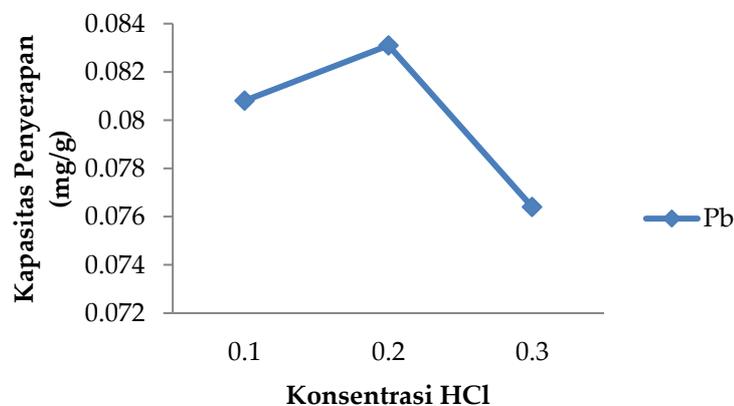
dari 2θ pada 50.2126° , 22.0530° , 36.6301° dan 12.1163° dengan I/I_0 masing-masingnya 12.21, 11.49, 10.88 dan 10.45. Berdasarkan data ICDD 96-900-8265 puncak tertinggi dari pola XRD mengindikasikan mineral clinoptilolite- Ca dengan klasifikasi sistem kristal Bravais memiliki kisi kristal monoklinik^[8].

Pengaruh aktivasi menggunakan asam HCl terhadap penyerapan Pb(II)

Aktivasi dengan menggunakan asam untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang ada pada zeolit dan membuka pori-pori serta meningkatkan luas permukaan adsorben. Hasil penyerapan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Spektrum XRD zeolit alam yang telah diaktivasi dengan HCl 0.2 M.



Gambar 2. Pengaruh variasi konsentrasi asam terhadap kapasitas penyerapan ion Pb(II).

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi asam maka semakin murni adsorben yang dihasilkan karena semakin banyak pengotor yang dilarutkan oleh asam, adanya perbedaan konsentrasi HCl optimum untuk masing-masing logam. Hasil penyerapan terbesar adalah 0.0821 mg/g yaitu mencapai 92.26% dengan konsentrasi HCl 0.2 M. Selanjutnya dilakukan penyerapan menggunakan HCl dengan konsentrasi lebih besar namun kapasitas penyerapannya menjadi kecil yaitu 0.0751 mg/g dengan konsentrasi HCl 0.3 M disebabkan karena semakin besar konsentrasi asam akan merusak struktur dari zeolit sehingga daya serap zeolit sebagai adsorben semakin kecil.

Pengaruh ukuran partikel terhadap penyerapan Pb(II)

Semakin banyak jumlah pori yang dimiliki, semakin besar luas permukaan total yang dimiliki zeolit. Luas permukaan internal zeolit dapat mencapai puluhan bahkan ratusan kali lebih besar dibanding bagian permukaan luarnya. Hasil penyerapan dapat dilihat pada gambar 3.

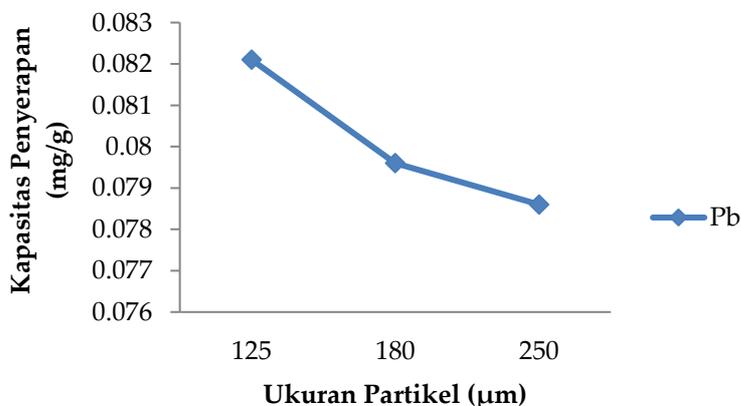
Gambar 3 memperlihatkan bahwa semakin besar ukuran partikel semakin kecil kapasitas penyerapan zeolit. Dimana untuk penyerapan 10 mL Pb 10 mg/L kapasitas penyerapan paling besar adalah pada ukuran partikel 125 mikrometer dengan kapasitas penyerapan yaitu

0.0821 mg/g. Untuk ukuran partikel lebih besar yaitu 250 mikrometer kapasitas penyerapan adalah 0.0786 mg/g. Hal ini disebabkan karena ukuran partikel semakin besar tingkan penyerapannya kecil karena adsorben tidak bisa menahan larutan dengan ukuran besar^{[9],[10]}.

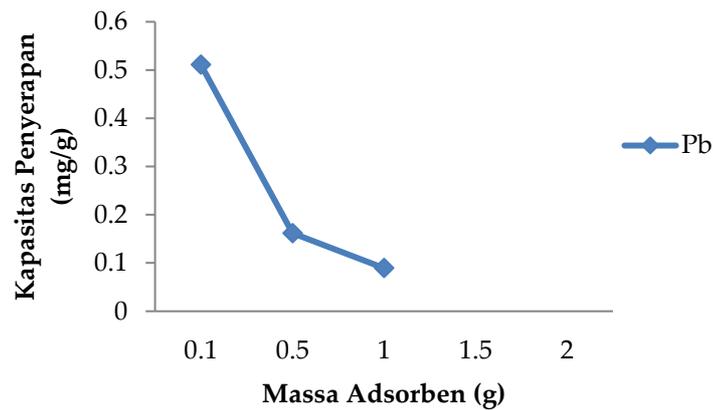
Pengaruh massa adsorben terhadap penyerapan Pb(II)

Semakin besar jumlah adsorben ditambahkan, maka konsentrasi ion logam yang terserap akan semakin kecil. Hasil dapat dilihat pada gambar 4. pada penelitian ini diambil batas minimum massa adsorbennya sebesar 0.1 g dan massa adsorben maksimum sebesar 2 g.

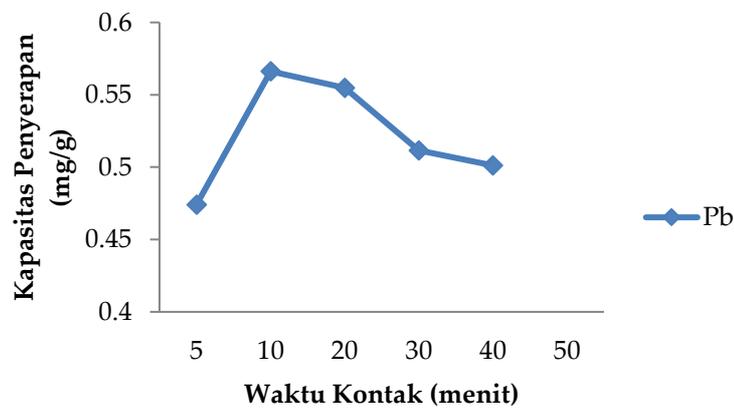
Pengaruh massa adsorben berbanding terbalik dengan nilai kapasitas penyerapan logam dapat kita lihat pada gambar 4 bahwa kapasitas penyerapan terbesar adalah pada masa adsorben 0.1 g, kapasitas penyerapan 0.3998 mg/g, sedang masa adsorben 1 g kapasitas penyerapan paling rendah yaitu 0.0725 mg/g. Ini disebabkan karena pada masa adsorben 0.1 g kapasitas penyerapn sudah mencapai mendekati 100 % dengan kata lain larutan sudah terserap sempurna namun semakin besar masa adsorben tingkat kejenuhan larutan hasil serapan semakin besar sehingga larutan menjadi keruh yang mengakibatkan absorban larutan menjadi besar sehingga konsentrasi seolah menjadi rendah^{[10],[11]}.



Gambar 3. Pengaruh ukuran partikel terhadap kapasitas Pb(II).



Gambar 4. Pengaruh massa adsorben terhadap kapasitas penyerapan Pb(II).



Gambar 5. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan ion Pb(II).

Pengaruh waktu kontak

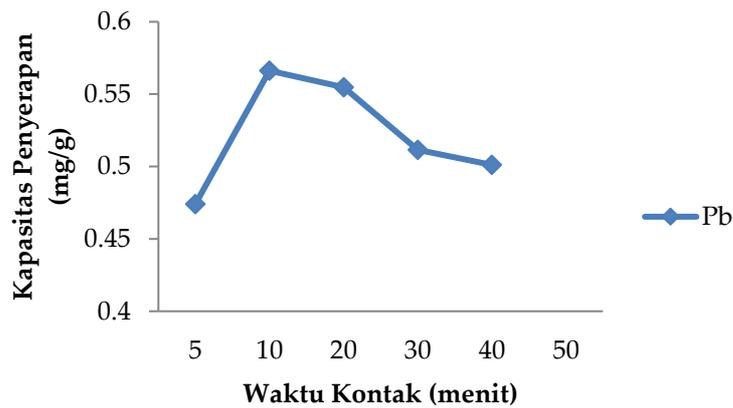
Pada proses adsorpsi, waktu kontak sangat mempengaruhi nilai efisiensi penyerapan ion logam oleh adsorben. Apabila waktu kontakannya cukup lama akan memungkinkan terjadinya proses pertukaran ion dalam kerangka zeolit sehingga nilai kapasitas penyerapannya semakin besar. Hasil penyerapan dapat dilihat pada gambar 5.

Semakin lama waktu kontak, maka semakin besar nilai kapasitas penyerapan yang didapatkan. Karena semakin banyak ion logam yang terikat oleh adsorben. Dan ikatan antara ion logam dengan adsorben akan lepas jika

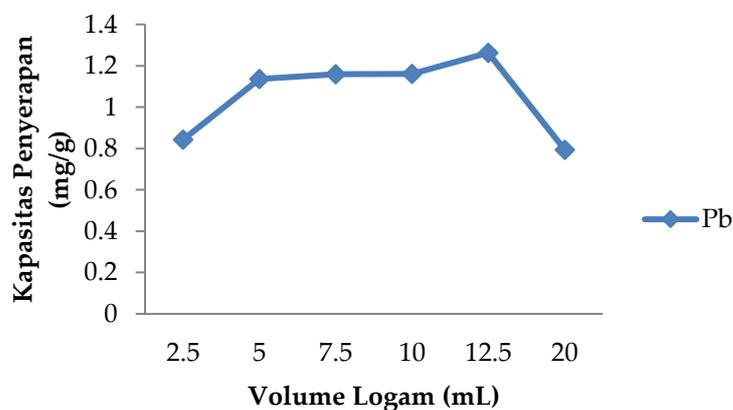
sudah berada pada titik jenuh sehingga ion logam yang semulanya terikat dengan adsorben akan terlepas. Pada gambar 4 dapat dilihat waktu kontak ion logam Pb(II) selama 10 menit yaitu 0.5662 mg/g.

Pengaruh volume larutan ion logam 10 mg/L

Variasi volume bertujuan untuk melihat sejauh mana larutan logam yang dibutuhkan dapat terserap oleh adsorben. Semakin banyak ion logam dalam larutan maka semakin banyak terjadi penyerapan oleh adsorben dan nilai kapasitas penyerapan akan semakin tinggi. Hasil penyerapan ini dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 5. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan ion Pb(II).



Gambar 6. Pengaruh volume larutan ion logam terhadap kapasitas penyerapan ion Pb(II).

Pengaruh volume larutan terjadi pada volume 5 mL sampai 12.5 mL. Dimana kapasitas penyerapan berkisar antara 0.2358 mg/g sampai 0.5493 mg/g, namun setelah dinaikkan volume larutan kapasitas penyerapan menurun hal ini disebabkan karena sebagian dari logam Pb tidak terserap karena sudah keluar bersama pelarut yang banyak sehingga yang terserap sesuai dengan kapasitas adsorben yang ada.

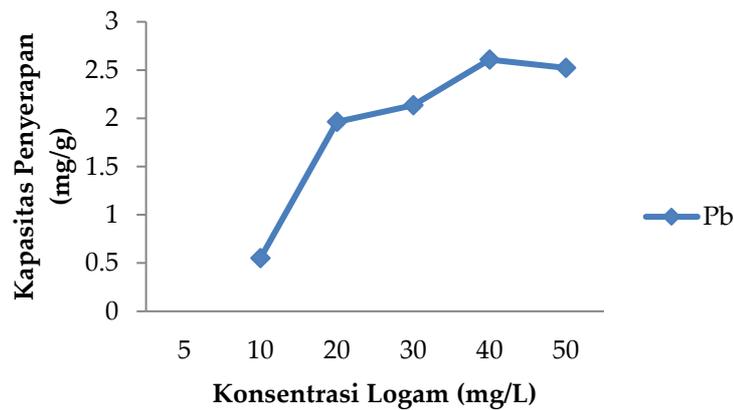
Pengaruh konsentrasi larutan ion logam

Pengaruh konsentrasi ion logam Pb(II) diawali dari konsentrasi 10 mg/L. Variasi ini penting untuk melihat seberapa besar komposisi ion logam dalam larutan mempengaruhi jumlah kapasitas yang diserap oleh adsorben.

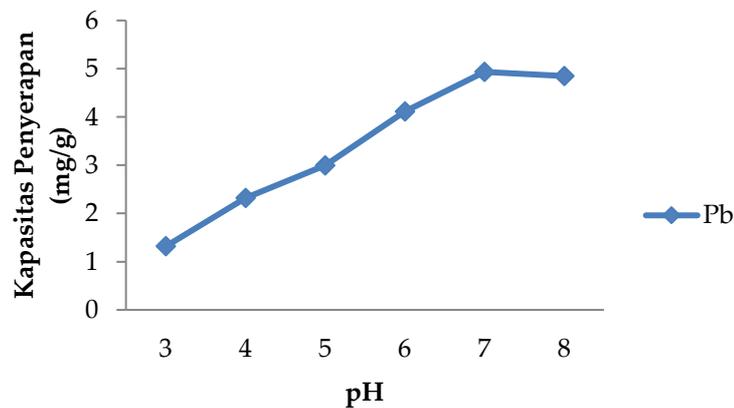
Pada konsentrasi optimum 40 mg/L ion logam Pb(II) banyak menempati pori-pori dari adsorben sehingga banyak mengalami pertukaran ion dengan adsorben sehingga menghasilkan nilai kapasitas penyerapan optimum. Setelah melewati konsentrasi 40 mg/L nilai kapasitas penyerapan menurun dikarenakan ion logam yang mulanya banyak terikat dengan adsorben mulai terlepas karena mengalami titik jenuh.

Pengaruh pH

Variasi pH mempengaruhi kondisi penyerapan ion logam karena akan menentukan bagaimana kondisi dari muatan permukaan pada adsorben dan tingkat ionisasi ion logam (adsorbat).



Gambar 7. Pengaruh konsentrasi larutan ion logam terhadap kapasitas penyerapan ion Pb(II).



Gambar 8. Pengaruh pH larutan ion logam terhadap kapasitas penyerapan ion Pb(II).

Pada variasi ini akan dilihat pada pH berapa nilai kapasitas penyerapan optimum ion logam. Proses yang terjadi antara adsorben dan analit adalah pertukaran ion, dimana pada sisi aktif dan gugus aktif adsorben akan mempertukarkan ion logam Pb(II).

Pada pH rendah (3-4), permukaan dari adsorben dipenuhi muatan positif dari ion H^+ . Terjadinya kompetisi antara ion H^+ dengan ion logam mengakibatkan ion logam terbatas untuk masuk dan berikatan pada sisi aktif adsorben, sehingga kapasitas penyerapannya kecil. Sedangkan, pada pH optimum, permukaan adsorben bermuatan negatif, akibat kompetitor ion H^+ semakin berkurang, sehingga ion logam banyak yang teradsorpsi pada pH tersebut^{[11],[12]}.

Kesimpulan

Zeolit clinoptilolit-Ca dapat digunakan sebagai bahan penyerap. Hasil penyerapan menunjukkan bahwa nilai kapasitas Pb(II) adalah pada proses aktivasi dengan asam sebesar 0.2 N kapasitas penyerapan 0.0821 mg/g ukuran partikel 125, kapasitas penyerapan 0.0821 mg/g massa adsorben 0.1 g, kapasitas penyerapan 0.5110 mg/g waktu kontak selama 10 menit, 0.5662 mg/g, volume larutan logam 12.5 mL, 0.5493 mg/g konsentrasi larutan ion logam 40 mg/L 2.608 mg/g dan pada pH=7 4.923 mg/g. Dari beberapa parameter yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kapasitas penyerapan zeolit clinoptilolit terhadap penyerapan Pb(II) 4.923 mg/g. Karakterisasi

adsorben zeolit dengan XRF dan XRD menyatakan bahwa zeolit yang dipakai merupakan zeolit clinoptilolit-Ca.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih peneliti sampaikan untuk analisis laboratorium kimia analitik terapan, laboratorium kimia material dan laboratorium sentral pengukuran yang bersedia meminjamkan ruang dan peralatan di laboratorium demi kelancaran penelitian sampai selesai.

Daftar Pustaka

1. Wang, S. & Peng, Y., Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chem. Eng. J.*, **156(1)**: 11–24 (2010).
2. Badillo-Almaraz, V., Trocellier, P. & Dávila-Rangel, I., Adsorption of aqueous Zn (II) species on synthetic zeolites. *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, **210**: 424–428 (2003).
3. Barrer, R. M., *Zeolites and clay minerals as sorbents and molecular sieves*. (1978).
4. Breck, D. W., Crystalline molecular sieves. *J. Chem. Educ.*, **41(12)**: 678 (1964).
5. Hafez, M., Nazmy, A., Salem, F. & Eldesoki, M., Fixation mechanism between zeolite and some radioactive elements. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **47(1–2)**: 115–119 (2007).
6. Setiawan, D. & Handoko, P., Preparasi katalis Cr/zeolit melalui modifikasi zeolit alam. *J. Ilmu Dasar*, **3(1)**: 15–23 (2002).
7. Ackley, M. W., Rege, S. U. & Saxena, H., Application of natural zeolites in the purification and separation of gases. *Microporous Mesoporous Mater.*, **61(1–3)**: 25–42 (2003).
8. Zilfa., Rahmayeni., Septiani, U., Jamarun, N. & Fajri, M. L., Utilization natural zeolite from West Sumatera for Tio₂ support in degradation of congo red and a waste simulation by photolysis. *Der Pharm. Lett.*, **9(5)**: 1–10 (2017).
9. Tim Bidang Geologi., *Laporan evaluasi bahan galian non logam di Kabupaten Solok Pemerintah Provinsi Sumatera Barat Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral*. (2011).
10. Dyer, A., *An introduction to zeolite molecular sieves*. (1988).
11. Susetyaningsih, R., Kismolo, E. & Prayitno., Karakterisasi zeolit alam pada reduksi kadar chrom dalam limbah cair. in *Seminar Nasional V SDM Nuklir*, 741–748 (2009).
12. Hymore, F. K., Effects of some additives on the performance of acid-activated clays in the bleaching of palm oil. *Appl. Clay Sci.*, **10(5)**: 379–385 (1996).