

PEMANFAATAN ZEOLIT YANG TERAKTIVASI ASAM KLOORIDA (HCl) SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)

Isna Yustika Fajriani¹, Andi Zulfikar Syaiful², Fitri Ariani³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa

Email : isnayustika28@gmail.com

ABSTRACT

Liquid waste is basically a material that is left over and wasted sourced from human activities, or natural processes. This liquid waste is Pb metal produced by the chemical laboratory of PT. Antam UBPN North Maluku which is very abundant because of the analysis and other research that uses the metal. These heavy metals are dangerous because they tend to accumulate in human body tissues and are toxic. To overcome this, appropriate and environmentally friendly handling is needed, one of which is by using an adsorbent, namely zeolite derived from nature. In addition, the zeolite owned by the Indonesian state is very abundant, but so far it has only been exported in raw form.

This research was conducted to determine the best adsorption capacity of Pb in laboratory wastewater from HCl concentrations of 1, 3, 5 and 7 M; zeolite mass 10, 20 and 30 grams; contact time of 16, 20 and 24 hours. In this study, activation will be carried out using hydrochloric acid (HCl). Further analysis was carried out using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).

The results showed that the best optimum treatment for adsorbent absorption of Pb metal in laboratory wastewater was a contact time of 24 hours with a mass of 30 grams of zeolite. And the best concentration of HCl used for zeolite activation in Pb metal adsorption was 7 M.

Keywords: Adsorption, Waste, Zeolite

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah pada dasarnya merupakan suatu bahan yang tersisa dan terbuang bersumber dari aktivitas manusia, dan proses-proses alam. Pencemaran lingkungan oleh kegiatan yang dilakukan manusia dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari salah satunya dihasilkan oleh limbah laboratorium yang menjadi persoalan penting dan memerlukan penanganan yang tepat serta ramah lingkungan.

Limbah logam merupakan limbah yang

sangat berbahaya dan bersifat toksik, sehingga harus mendapat perhatian khusus. Limbah logam Pb yang dihasilkan laboratorium kimia PT. Antam UBPN Maluku Utara sangat melimpah karena analisa dan penelitian lainnya yang menggunakan logam tersebut. Logam ini berbahaya karena cenderung untuk berakumulasi dalam jaringan tubuh manusia dan menimbulkan berbagai macam keracunan.

Usaha-usaha penanganan limbah logam berat ini telah banyak dilakukan. Untuk mengatasi hal tersebut salah satunya dengan menggunakan adsorben. Salah satu jenis adsorben yang mudah didapat dan memiliki

berbagai macam keunggulan adalah zeolit. Zeolit memiliki bentuk kristal sangat teratur dengan rongga yang saling berhubungan kesegala arah yang menyebabkan luas permukaan zeolit sangat besar.

Cadangan zeolit di Indonesia sebanyak 400 juta ton, namun selama ini hanya di ekspor dalam bentuk mentah. Dewasa ini bangsa Indonesia kurang menyadari dan memanfaatkan kekayaan alam yang memiliki berbagai potensi untuk meningkatkan perekonomian bangsa. Sebagian besar wilayah Indonesia memiliki banyak pegunungan berapi yang berpotensi menjadi sumber terbentuknya batuan-batuan yang beragam, salah satunya berupa zeolit.

Aktivasi zeolit secara kimia seringkali menggunakan aktivator-aktivator asam seperti HCl, HNO₃, H₃PO₄, dan H₂SO₄ dalam berbagai macam manfaatnya. Kemampuan penyerapan logam seng (Zn) dengan zeolit alam Ponorogo yang diaktivasi menggunakan aktivator HCl sebesar 89,60 %, HNO₃ sebesar 81,67%, H₂SO₄ sebesar 88,24%, dan menggunakan aktivator H₃PO₄ sebesar 82,21% (Herald, dkk, 2003). Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa aktivasi dengan menggunakan berbagai macam asam dapat mempengaruhi proses adsorpsi. Proses aktivasi kimia menunjukkan bahwa zeolit yang diaktivasi dengan asam akan menjadikan zeolit lebih polar bila dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi dengan basa (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002).

Berdasarkan kajian tersebut diatas, belum pernah dilakukan adsorpsi logam pada

limbah Laboratorium kimia PT. Antam UBPN Maluku Utara menggunakan zeolit alam. Pada penelitian ini akan dilakukan aktivasi menggunakan asam klorida (HCl) untuk meningkatkan kinerja zeolit alam tersebut. Zeolit alam hasil aktivasi dikarakterisasi menggunakan XRF. Selanjutnya diuji kemampuan adsorpsi logam Pb pada limbah Laboratorium kimia PT. Antam UBPN Maluku Utara.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut diatas, maka diperoleh rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana konsentrasi HCl (asam klorida) optimum yang digunakan untuk aktivasi zeolit dalam adsorpsi logam Pb pada limbah cair laboratorium PT. Antam Tbk, UBPN Maluku Utara?
2. Bagaimana daya serap adsorben zeolit terhadap logam Pb pada limbah cair laboratorium PT. Antam Tbk, UBPN Maluku Utara?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menentukan konsentrasi HCl (asam klorida) optimum yang digunakan untuk aktivasi zeolit dalam adsorpsi logam Pb pada limbah cair laboratorium PT. Antam Tbk, UBPN Maluku Utara.
2. Mengetahui daya serap adsorben zeolit terhadap logam Pb pada limbah cair laboratorium PT. Antam Tbk, UBPN Maluku Utara.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu pengikatan molekul dari suatu fluida baik dalam bentuk cair maupun gas ke permukaan benda padat. Bahan padat yang mempunyai kemampuan mengikat (menjerap) molekul tertentu disebut adsorben, sedangkan zat yang dijerap disebut adsorbat. Proses adsorpsi biasanya dilakukan dengan cara mengontakkan larutan/gas dengan padatan, sehingga komponen larutan/gas dijerap pada permukaan padatan (Kahar 2007)

Proses adsorpsi adalah suatu proses penyerapan suatu fasa (gas atau cair) pada permukaan adsorben yang berupa padatan. Hal ini terjadi karena adanya ketidakseimbangan gaya-gaya molekul pada zat padat, yang cenderung menarik molekul lain yang bersentuhan pada permukaannya. Jumlah berpori dan luas permukaan meningkat dapat menyebabkan ketidakseimbangan gaya-gaya molekul pada adsorben dan meningkatkan kemampuan adsorpsi. Peningkatan kapasitas adsorpsi zeolit alam teraktifasi, dimungkinkan karena meningkatnya luas permukaan. Proses aktifasi dapat membersihkan pengotor, baik pengotor organik maupun mineral, sehingga meningkatkan luas permukaan, maka molekul yang teradsorpsi akan semakin meningkat. Proses adsorpsi larutan secara teoritis umumnya berlangsung lebih lama dibandingkan proses adsorpsi pada gas, uap atau cairan murni (Sukmawati 2013)

2.2 Zeolit

Zeolit merupakan mineral yang terdiri

dari kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensinya. Ion-ion logam tersebut dapat diganti dengan kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara *reversible*.



Gambar 2.2. Zeolit di Alam

Menurut (Nurafifah 2016) Penamaan zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSi}_8\text{O}_{36}\cdot 24\text{H}_2\text{O}$) berasal dari kata “*Zein*” yang berarti mendidih dan “*Lithos*” yang berarti batuan, disebut demikian karena mineral ini mempunyai sifat mendidih atau mengembang bila dipanaskan.

Zeolit merupakan bahan tambang kelompok mineral yang kegunaannya sangat beragam dan merupakan batuan lapuk hasil letusan gunung berapi pada zaman Cenozoicum. Di Indonesia banyak dijumpai di pulau Jawa bagian Selatan, Lampung, dan Sumatera Utara (Said et al. 2012)

2.2.1 Sifat-Sifat Zeolit

Sifat-sifat zeolit meliputi :

- 1) Dehidrasi
- 2) Adsorpsi
- 3) Penukar Ion
- 4) Katalis
- 5) Penyaring atau Pemisah

2.2.2 Jenis – Jenis Zeolit

- a. Zeolit Alam
- b. Zeolit Sintetis

2.2.3 Sifat Fisik dan Kimia Zeolit

Zeolit memiliki sifat fisik dan kimia yaitu:

- a. Hidrasi derajat tinggi
- b. Ringan
- c. Penukar ion yang tinggi
- d. Ukuran saluran yang uniform
- e. Menghantar listrik
- f. Mengadsorpsi uap dan gas
- g. Mempunyai sifat katalitik

Tabel 2.2. Karakteristik Zeolit

Density	1,1 gr/cc
Porositas	0,31
Volume berpori	0,28-3 cc/gr
Surface area	1-20 m ² /gr
Jari-jari makropori	30-100 nm
Jari-jari mikropori	0,5 nm

Sumber : (Said et al. 2012)

Untuk memperoleh zeolit dengan kemampuan yang tinggi diperlukan beberapa perlakuan antara lain preparasi, aktivasi dan modifikasi

a. Preparasi

Bertujuan untuk memperoleh ukuran produk yang sesuai dengan tujuan penggunaan. Preparasi ini terdiri dari tahap peremukan (*crushing*) sampai penggerusan (*grinding*).

b. Aktivasi

Dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara fisis dan kimiawi. Aktivasi secara fisis berupa pemanasan zeolit dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga luas permukaan

pori-pori bertambah. Pemanasan dilakukan dalam oven biasa pada suhu 300-400^oC (untuk skala laboratorium) atau menggunakan tungku putar dengan pemanasan selama 5-6 jam (skala besar). Aktivasi secara kimia dilakukan dengan larutan asam H₂SO₄ atau basa NaOH dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan. Pereaksi kimia ditambahkan pada zeolit yang telah disusun dalam tangki dan diaduk dalam jangka waktu tertentu. Zeolit kemudian dicuci dengan air sampai netral dan selanjutnya dikeringkan.

c. Modifikasi

Dengan jalan melapisi zeolit dengan polimer organik vinil piridin, polimer organik alam atau dengan mangan (Said et al. 2012)

2.3 Logam Berat

Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 gr/cm³. Dapat juga dikarenakan sifat toksiknya. Unsur-unsur logam berat adalah unsur yang mempunyai nomor atom dari 22 sampai 92 yaitu sejumlah unsur seperti merkuri (Hg), arsen (As), timbal (Pb). Pencemaran lingkungan akibat logam berat memberikan dampak yang negatif bagi lingkungan perairan (Pamungkasih 2014)

Menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990)

sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokkan ke dalam 3 kelompok, yaitu :

- a. Bersifat toksik tinggi yang terdiri dari atas unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn.
- b. Bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co.
- c. Bersifat toksik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe.

2.4 Logam Pb

Salah satu logam berat yang ditemukan pada limbah air adalah timbal (Pb). Penyerapan Pb oleh tubuh dalam jumlah sedikit sangat membahayakan karena sangat beracun dan tidak terbiodegradasi (Wahyuni 2017). Konsumsi mingguan timbal yang direkomendasikan oleh WHO bagi orang dewasa tidak lebih dari 50 µg/kg berat badan dan untuk bayi atau anak-anak tidak lebih dari 25 µg/kg berat badan. Mobilitas timbal di tanah dan tumbuhan cenderung lambat dengan kadar normalnya pada tumbuhan berkisar 0.5-3 ppm. Kadar dan toksisitas timbal dipengaruhi oleh kesadahan, pH, alkalinitas, dan kadar oksigen. Di perairan timbal membentuk senyawa kompleks yang memiliki sifat kelarutan rendah dengan beberapa anion, misalnya hidroksida, karbonat, sulfida, dan sulfat (Retnaningsih & Hariyati 2013)

2.5 Limbah Cair

Limbah cair atau air buangan merupakan sisa air dibuang yang berasal dari rumah tangga, industri maupun tempat-tempat umum lainnya, dan pada umumnya mengandung bahan-bahan atau zat-zat yang dapat membahayakan bagi kesehatan manusia serta mengganggu lingkungan hidup. Limbah

cair adalah limbah dalam wujud cair yang dihasilkan oleh kegiatan industri yang dibuang ke lingkungan dan diduga dapat mencemari lingkungan (Baryatik 2016). Karakteristik limbah cair bervariasi dipengaruhi oleh lokasi, jumlah penduduk, industri, tataguna lahan, muka air tanah dan tingkat pemisahan antara storm water dan sanitary water. Limbah cair dibagi kedalam 3 kategori : *domestic wastewater* (Limbah cair domestik) meliputi: limbah cair dari dapur, kamar mandi, laundry dan sejenisnya; *sanitary wastewater* meliputi: domestic wastewater, komersial, kantor, dan fasilitas sejenisnya; dan *industrial wastewater* berasal dari industri (sangat bervariasi sesuai dengan jenis industrinya). Sifat-sifat air limbah industri relatif bervariasi tergantung dari bahan baku yg di gunakan, pemakaian air dalam proses, dan bahan aditif yang digunakan selama proses produksi.

tempat yaitu di laboratorium PT. Antam, Tbk

2.6 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometri Serapan Atom merupakan salah satu metode analisis berdasarkan pada pengukuran banyaknya intensitas sinar yang diserap oleh atom-atom bebas dari logam yang dianalisis. Pada umumnya analisis Spektrofotometri Serapan Atom digunakan untuk menetapkan unsur-unsur logam dalam batu-batuan, tanah, tanaman, makanan, minuman, termasuk daging serta bahan-bahan lainnya.

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di dua

UBPN Maluku Utara site Moronopo dan Pabrik pada bulan September hingga Desember 2021.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain: spektrofotometer serapan atom (SSA), oven, ayakan 200 mesh, timbangan analitik, kertas saring, corong dan gelas kimia.

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: zeolit batuan alam yang diambil dari Site Pertambangan PT. Antam Tbk UBPN Maluku Utara (Site Moronopo) dan limbah cair laboratorium Kimia PT. Antam Tbk UBPN Maluku Utara.

3.3 Prosedur Penelitian

1. Persiapan Bahan Baku

Tahapan persiapan bahan dilakukan dengan cara menghaluskan zeolit dengan *crusher* dalam bentuk bongkahan menjadi lebih kecil dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Setelah itu menghaluskan dengan ukuran lebih kecil menggunakan *purverizer* lalu diayak dengan ayakan 200 mesh.

2. Aktivasi Zeolit

Sebanyak 50 gram zeolit yang sudah dipreparasi dimasukkan kedalam 100 mL (1:2 b/v) larutan HCl dengan konsentrasi yang berbeda-beda yaitu (1, 3, 5 dan 7 M), kemudian diaduk dengan waktu kontak 4 jam. Selanjutnya zeolit yang telah diaktivasi disaring dan dicuci dengan aquades sampai pH filtrat netral ± 7 . Selanjutnya dikeringkan pada suhu 105 °C selama 12 jam (Eddy, dkk, 2003

dan Srihapsari, 2009)

3. Penentuan daya serap zeolit terhadap logam Pb dalam limbah cair

Zeolit masing-masing di timbang sebanyak 10 g, 20 g, dan 30g kedalam gelas kimia, kemudian di tambahkan sampel limbah yang telah diketahui konsentrasinya sebanyak 20 ml. Campuran diaduk dan di diamkan selama 24 jam, kemudian di saring dengan kertas saring whattman. Filtratnya dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom (SSA/AAS).

4. Pengukuran dengan AAS

a) Pembuatan Larutan Standar

Dari larutan induk 1000 ppm diencerkan menjadi 100 ppm, 50 ppm, 25 ppm, 10 ppm, dan 2 ppm. Proses pengenceran dilakukan dengan cara memipet sejumlah larutan induk kemudian dimasukkan kedalam labu ukur lalu dihomogenkan.

b) Pengoperasian Spectrofotometer Serapan Atom (AAS)

Menghidupkan mesin AAS kemudian menunggu hingga status alat pada monitor ready, mengatur metode analisis untuk logam yang akan dianalisa, melakukan optimasi standar yang akan digunakan sehingga mendapatkan grafik yang linear, kemudian mengukur konsentrasi sampel.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Pendahuluan

Tahap penelitian pendahuluan adalah pemeriksaan air limbah dari laboratorium kimia PT. Antam Tbk UBPN Maluku Utara

yaitu meliputi pengukuran Pb menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) dan pemeriksaan zeolit alam yang diambil dari area penambangan PT. Antam Tbk UBPN Maluku Utara yaitu pengukuran SiO₂ dan Al₂O₃ menggunakan X-ray Fluorescence (XRF).

Hasil pengukuran kadar logam Pb pada limbah laboratorium kimia PT. Antam Tbk UBPN Maluku Utara menggunakan AAS yaitu: Pb 29.40 ppm dan hasil pengukuran kadar SiO₂ dan Al₂O₃ pada zeolit alam yang diambil dari area penambangan menggunakan X-ray Fluorescence yaitu 37.65 % dan 3.26 %.

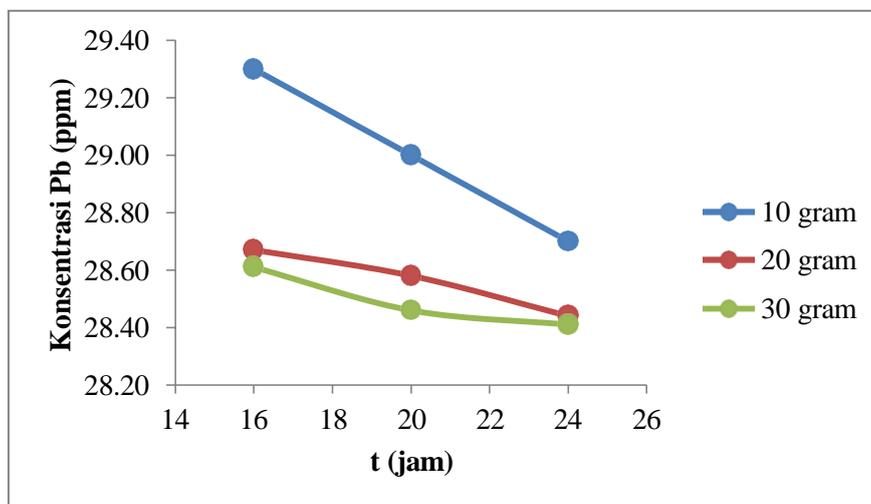
4.2 Hasil Penelitian

Tabel 4.2. Adsorpsi Kadar Pb dalam Air Limbah

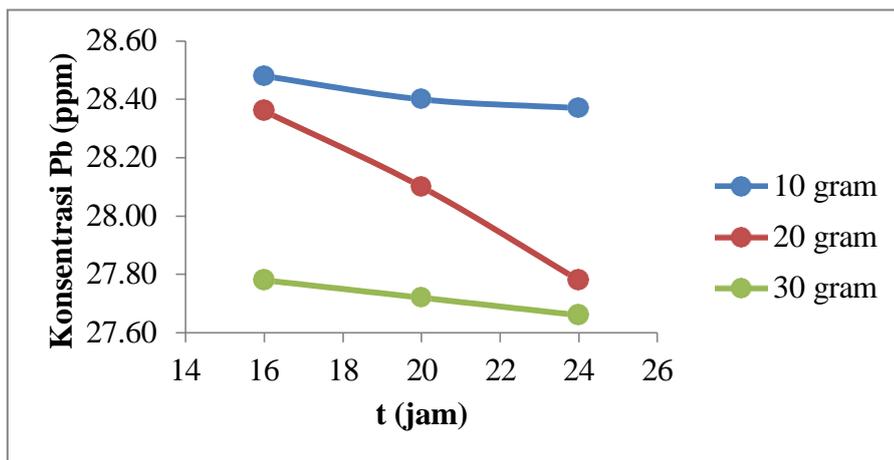
Massa (g)	Waktu Kontak (jam)	Konsentrasi Pb (ppm) limbah cair setelah kontak Zeolit			
		Konsentrasi (M)			
		1	3	5	7
10	16	29.3	28.48	27.98	26.5
	20	29	28.4	27.67	26.3
	24	28.7	28.37	27.24	26.26
20	16	28.67	28.36	26.87	23.98
	20	28.58	28.1	26.71	21.19
	24	28.44	27.78	25.79	19.60
30	16	28.61	27.78	25.76	19.06
	20	28.46	27.72	25.43	19.10
	24	28.41	27.66	25.4	18.18

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi limbah Pb setelah diadsorpsi menggunakan zeolit alam yang telah teraktivasi asam klorida (HCl). Semakin tinggi konsentrasi HCl maka

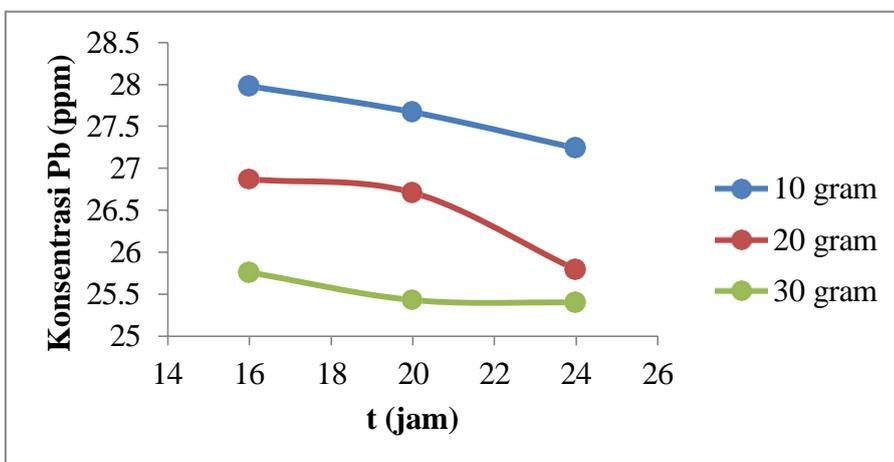
semakin efektif juga dalam menghilangkan pengotor-pengotor pada permukaan zeolit, sehingga menyebabkan luas permukaannya semakin meningkat dan daya serapnya semakin meningkat pula.



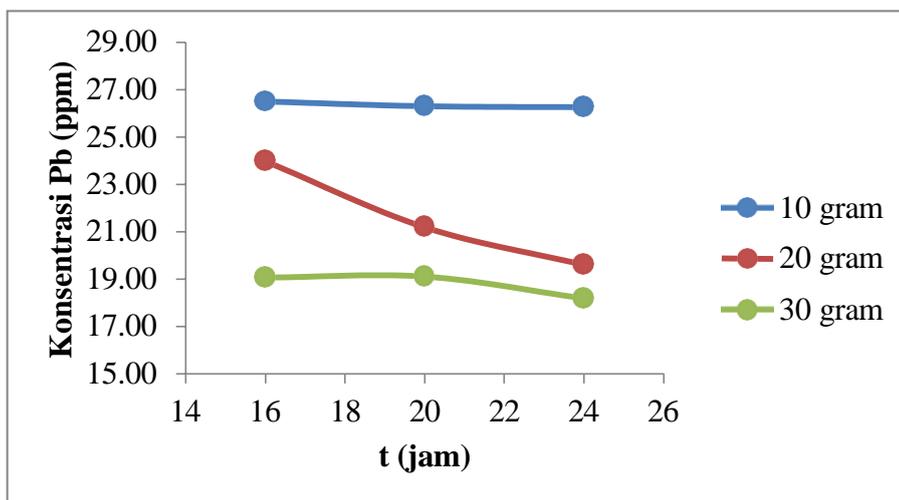
Gambar 4.2.1. Grafik Hubungan antara waktu dan konsentrasi Pb dengan konsentrasi HCl 1 M



Gambar 4.2.2. Grafik Hubungan antara waktu dan konsentrasi Pb dengan konsentrasi HCl 3 M



Gambar 4.2.3. Grafik Hubungan antara waktu dan konsentrasi Pb dengan konsentrasi HCl 5 M

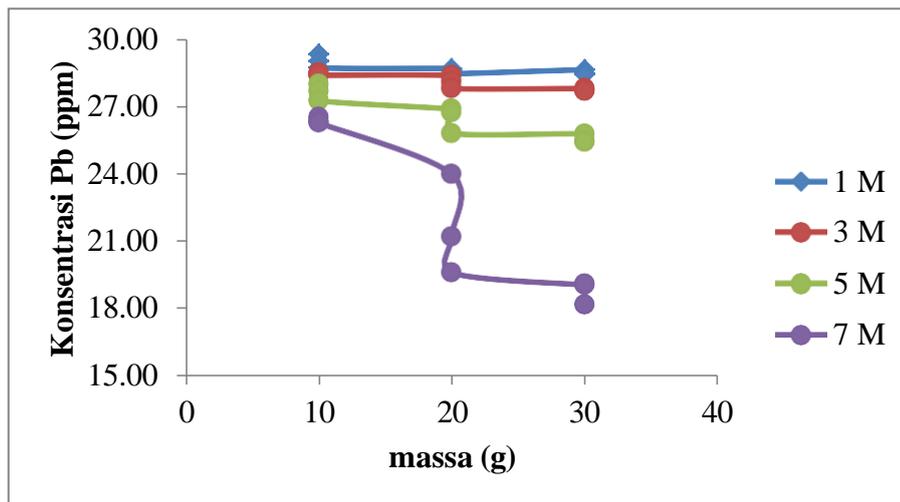


Gambar 4.2.4. Grafik Hubungan waktu dan konsentrasi Pb dengan konsentrasi HCl 7 M

Pembahasan :

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak zeolit dengan air limbah semakin sedikit jumlah Pb yang

terdapat dalam air limbah Laboratorium Kimia PT. Antam Tbk UBPN Maluku Utara. Waktu optimum proses adsorpsi adalah pada waktu 24 jam dengan daya serap 18,18 ppm.

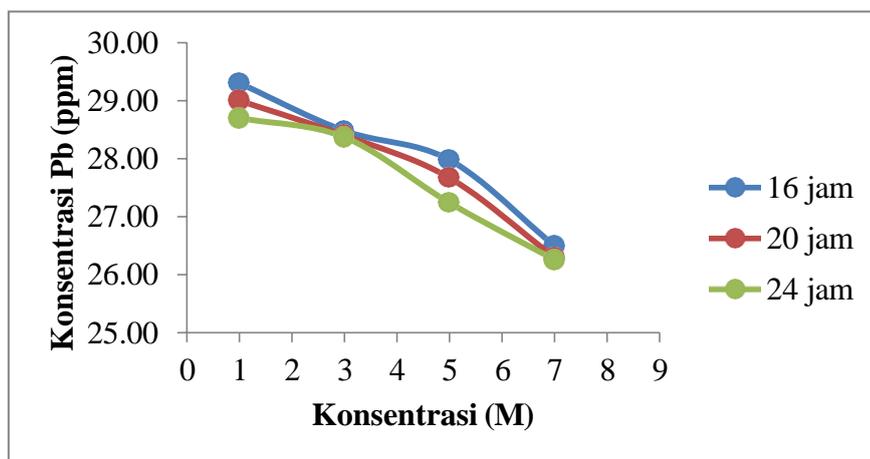


Gambar 4.2.5. Grafik Hubungan massa dan konsentrasi Pb

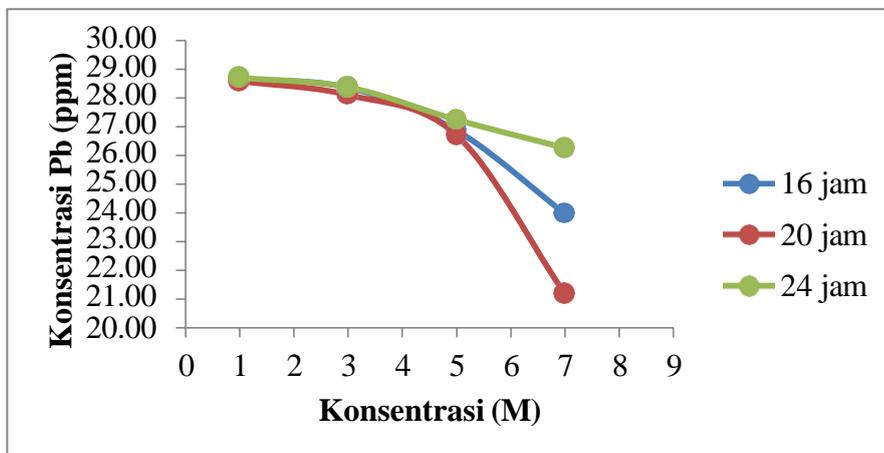
Pembahasan :

Dari Grafik 4.2.5 menunjukkan bahwa semakin banyak zeolit yang ditambahkan pada air limbah maka konsentrasi logam dari limbah makin

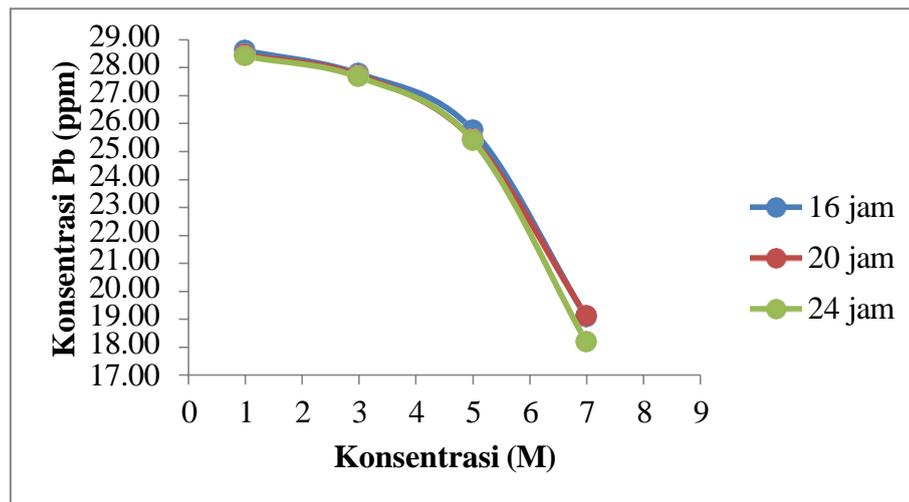
menurun, hal ini disebabkan dari proses aktivasi dengan penambahan larutan HCl yang bertujuan untuk memperbesar ukuran dan distribusi pori serta memperluas permukaan adsorben.



Gambar 4.2.6. Grafik Hubungan konsentrasi HCl dan konsentrasi Pb dengan massa 10 gram



Gambar 4.2.7. Grafik Hubungan konsentrasi HCl dan konsentrasi Pb dengan massa 20 gram



Gambar 4.2.8. Grafik Hubungan konsentrasi HCl dan konsentrasi Pb dengan massa 30 gram

Pembahasan :

Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa semakin banyak zeolit yang ditambahkan pada air limbah maka konsentrasi logam dari limbah makin menurun, hal ini disebabkan dari proses aktivasi dengan penambahan larutan HCl. Sehingga semakin tinggi konsentrasi HCl yang digunakan dalam aktivasi kimia mempengaruhi kapasitas adsorpsi.

Semakin tinggi konsentrasi activator yang digunakan pada zeolit alam maka semakin turun kadar logam Pb yang terdapat pada sampel limbah Laboratorium Kimia PT. Antam Tbk UBPN Maluku Utara. Konsentrasi terbaik HCl yang digunakan untuk aktivasi zeolit dalam adsorpsi logam Pb pada limbah cair laboratorium adalah HCl konsentrasi 7 M dengan waktu 24 jam. Hal ini disebabkan adanya aktivasi asam yang dapat mengurangi pengotor-pengotor dari permukaan struktur zeolit sehingga luas permukaannya semakin tinggi.

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan antara lain yaitu:

1. Konsentrasi terbaik HCl yang digunakan untuk aktivasi zeolit dalam adsorpsi logam Pb pada limbah cair laboratorium adalah HCl konsentrasi 7 M dengan waktu 24 jam.
2. Massa zeolit yang memiliki daya serap adsorben optimum terbaik terhadap logam Pb pada limbah cair laboratorium adalah 30 gram.

5.2 Saran

Disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan suhu dan variabel yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M. & Ramli, A.F., 2017. *Pemanfaatan Cangkang Kerang Dan Cangkang Kepiting Sebagai Adsorben Logam Cu, Pb Dan Zn Pada Limbah Industri Pertambangan Emas.*

- Apriliani, A., 2010. *Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd , Cr , Cu Dan Pb Dalam Air Limbah*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Banvalvi. 2011. *Logam Pb (Timbal)*. Kimia. Universitas Negeri Sebelas Maret. Surakarta
- Baryatik, P., 2016. *Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi Sebagai Adsorben Logam Kromium (Cr) Pada Limbah Cair Batik*. Universitas Jember.
- Kahar, A., 2007. *Pengertian Adsorpsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta.
- Nurafifah, S., 2016. *Pengaruh Kombinasi Kiambang (Salvinia Molesta) Dan Zeolit Terhadap Penurunan Logam Berat Kadmium (Cd)*. Universitas Airlangga, Surabaya.
- Nurchayaningsih, W. & Iswanto, A., 2016. *Penurunan Kadar Logam Timbal Pada Limbah Cair Percetakan Dengan Zeolit Alam Teraktivasi (Studi Pada Limbah Cair Percetakan X Jember)*.
- Palar, Ahmad. 2004. *Limbah Logam Berat Pb (Timbal)*. Universitas Indonesia : Jakarta
- Pamungkasih, L., 2014. *Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Di Air Dan Sedimen Di Perairan Pelabuhan Kejawanan, Cirebon*.
- Retnaningsih, T. & Hariyati, R., 2013. *Potensi Mikroalga Sebagai Agen Bioremediasi Dan Aplikasinya Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Berat Pada Instalasi Pengolah Air Limbah Industri*, Semarang.
- Said, M., Prawati, A.W. & Murenda, E., 2012. *Aktifasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Pada Adsorpsi Larutan Iodium*. *Teknik Kimia*, 15(No. 4), pp.50–55.
- Saryati, dkk., 2010. *Aktivasi Zeolit Asam*. Universitas Diponegoro : Semarang.
- Sugiyanto, K.H. dan Suyanti, R.D. 2010. *Kimia Anorganik Logam Edisi Pertama*. : Yogyakarta.
- Sukmawati, H., 2013. *Adsorpsi Logam Berat Pb (Timbal) dengan Menggunakan Silika Gel*, Yogyakarta.
- Syaputra, A., Yenti, S.R. & Sunarno, 2010. *Keseimbangan Adsorpsi Cd²⁺ Dengan Menggunakan Zeolit Teraktivasi*. *Teknik Kimia*, 1(No.2), pp.1–8.
- Wahyuni, A., 2017. *Sintesis Nanopartikel Mangan Dioksida (MNO₂) Secara Sonokimia Sebagai Adsorben Ion Logam Timbal (Pb²⁺)*. Universitas Islam Negeri Alauddin.