

ADSORPSI ION LOGAM Pb^{2+} DAN Cu^{2+} OLEH BENTONIT TERAKTIVASI BASA (NaOH)

Putu Aprilliana Indah Kumala Dewi*, Putu Suarya, dan James Sibarani

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

**Email : aprilliana.indah@gmail.com*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi dari bentonit yang diaktivasi dengan NaOH dalam mengurangi ion Pb^{2+} dan ion Cu^{2+} dalam larutan. Karakterisasi dari Bentonit teraktivasi NaOH dilakukan dengan penentuan luas permukaan spesifik menggunakan metode adsorpsi metilen biru, penentuan jumlah situs aktif dengan metode titrasi asam-basa, dan penentuan basal spacing menggunakan difraksi sinar-X (XRD). Parameter adsorpsi seperti waktu kontak, pH, dan isoterm adsorpsi ditentukan dengan menggunakan metode spektrofotometer serapan atom (SSA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentonit teraktivasi oleh NaOH memiliki luas permukaan dan jumlah situs aktif yang lebih tinggi yaitu sebesar 22,1017 (m^2/g) dan $32,8716 \times 10^{20}$ atom/gram dibandingkan dengan bentonit tanpa aktivasi yaitu sebesar 12,6602 (m^2/g) dan $31,5847 \times 10^{20}$ atom/gram berturut-turut. Kondisi optimal untuk proses adsorpsi Pb^{2+} diperoleh waktu kontak dibawah 5 menit pada pH 3 dengan mengikuti pola isoterm Langmuir sedangkan pada kondisi optimal untuk proses adsorpsi ion logam Cu^{2+} diperoleh pada waktu kontak dibawah 5 menit dengan pH 4 dan mengikuti pola isoterm Langmuir yang berlangsung secara adsorpsi kimia. Kapasitas adsorpsi bentonit teraktivasi untuk ion logam Pb^{2+} dan ion logam Cu^{2+} adalah 185,50 mg/g dan 30,00 mg/g berturut-turut.

Kata kunci : Bentonit teraktivasi NaOH, Kapasitas Adsorpsi, Ion Logam Pb^{2+} , Ion Logam Cu^{2+}

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the adsorption capacity of NaOH activated bentonites in reducing metal ions Pb^{2+} and Cu^{2+} from their solutions. The characterization of the activated bentonites was carried out by determining the specific surface area using methylene blue adsorption method, the numbers of the active site by acid-base titration, and determining the basal spacing using X-ray diffraction (XRD). Adsorption parameters such as contact time, pH, and the isotherm adsorption curves were determined by atomic absorption spectrophotometer (AAS). The specific surface area and the number of active sites of the NaOH-activated Bentonite were 22.1017 m^2/g and 32.8716×10^{20} atoms/g respectively. This value was higher than non-activated ones which were 12.6602 m^2/g and 31.5847×10^{20} atoms/g respectively. The optimum condition of Pb^{2+} adsorption on activated bentonite was obtained at pH 3 with contact time under 5 minutes following the Langmuir isotherm pattern while the optimum condition of Cu^{2+} adsorption was obtained at pH 4 with contact time under 5 minutes following the Langmuir isotherm adsorption suggesting that the adsorption took place by chemical adsorption. The adsorption capacities of Pb^{2+} and Cu^{2+} were 185.50 mg/g and 30.00 mg/g respectively.

Keywords : NaOH-activated Bentonite, Capacity of Adsorption, Metal Ion Cu^{2+} , Metal Ion Pb^{2+}

PENDAHULUAN

Keberadaan logam berat pada suatu lingkungan dalam jumlah yang melebihi ambang batas merupakan salah satu dari bagian dari pencemaran lingkungan, karena sifat toksisitas nya

tersebut dapat mengancam makhluk hidup. Logam Pb pada umumnya sering digunakan dalam industri baterai, cat tembok dan bahan bakar bensin sedangkan logam Cu sering ditemukan dalam industri galangan kapal dan bermacam-macam aktivitas pelabuhan lainnya (Palar, 1994).

Keberadaan logam Pb dan Cu dalam perairan akan berpengaruh buruk terhadap organisme yang hidup di perairan dan apabila logam berat terakumulasi lebih besar akan berdampak pada organisme paling tinggi dalam rantai makanan (Nybakken, 1985).

Bentonit merupakan mineral alumina silikat hidrat yang termasuk dalam pilosilikat, atau silikat berlapis. Rumus kimia umum bentonit adalah $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$. Kandungan bentonit terdiri dari *monmorilonite*, *illite*, dan kuarsa dimana 85% dari kandungannya berupa *montmorilonit*. Keunikan sifat bentonit yaitu memiliki kemampuan untuk mengembang dan membentuk koloid jika dimasukkan ke dalam air (Aviantari, 2008). Selain itu bentonit memiliki kemampuan *swelling* yang cukup besar. Kemampuan *swelling* ini menjadikan bentonit sebagai adsorben dengan kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibanding adsorben yang lainnya. Prinsip mengubah permukaan dan pori – pori bentonit adalah dengan melarutkan logam – logam yang terdapat pada pori – pori menjadi lebih luas (Supeno, dan Sembiring, 2007). Meskipun bentonit sangat berguna untuk adsorpsi, namun kemampuan adsorpsinya terbatas. Kelemahan tersebut dapat diatasi melalui proses aktivasi. (Suarya, 2008).

Aktivasi bentonit merupakan proses untuk meningkatkan karakter bentonit sehingga diperoleh sifat yang diinginkan sesuai dengan penggunaannya. Aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan penambahan larutan asam ataupun basa. Pada umumnya asam yang digunakan adalah asam sulfat dan asam klorida, sedangkan basa yang digunakan adalah NaOH. Aktivasi kimia dengan menggunakan NaOH bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan menghomogenkan ukuran pori-pori bentonit. Aktivasi bentonit menggunakan NaOH menyebabkan pori-pori bentonit semakin besar dan sisi aktif permukaan bentonit semakin terbuka, sehingga daya adsorpsi bentonit semakin meningkat (Sahirul, 2001). Oleh sebab itu pada penelitian ini dilakukan aktivasi bentonit dengan NaOH 2M, yang selanjutnya diaplikasikan sebagai adsorben ion logam Pb^{2+} dan Cu^{2+} dalam larutan standar.

MATERI DAN METODE

Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu peralatan gelas, kertas saring, oven, desikator, penggerus porselin, ayakan 250 μm , pengaduk magnetik, termometer, seperangkat alat titrasi, pH meter. Peralatan instrument yang digunakan meliputi XRD-6000, spektrofotometer UV-Vis merk Shimadzu 2600, dan Spektrofotometer Serapan Atom merk Shimadzu AA-7000 series.

Peralatan

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah bentonit yang diperoleh dari PT.BRATACO Yogyakarta, NaOH, HCl 37%, Metilen biru, $Pb(NO_3)_2$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, HNO_3 , dan akuades.

Cara Kerja

Preparasi Sampel

Sampel bentonit diambil sebanyak 200 g kemudian dibersihkan dengan cara dicuci dengan akuades, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C. Kemudian dihancurkan dan digerus sampai halus. Selanjutnya sampel bentonit diayak dengan ayakan 250 μm . Sampel bentonit bersih disimpan dalam desikator.

Aktivasi Bentonit dengan NaOH 2M

Sebanyak 45 g bentonit yang telah dicuci didispersikan ke dalam 450 mL larutan NaOH 2M dalam sebuah gelas beaker 1000 mL. Campuran diaduk dengan pengaduk magnet selama 24 jam. Selanjutnya residu yang didapat dicuci dengan air panas. Pada proses ini dilakukan pencucian sampai terbebas dari ion OH^- (tes negatif terhadap PP). Bentonit yang telah diaktivasi kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110-120°C dan selanjutnya setelah bentonit kering lalu digerus dan diayak dengan ayakan 250 μm . Kemudian bentonit disimpan dalam desikator dan dikarakterisasi dengan XRD dan keasaman permukaan ditentukan dengan cara titrasi asam-basa dan luas permukaan dengan metode adsorpsi metilen biru.

Penentuan Waktu Kontak Adsorpsi bentonit terhadap logam Pb²⁺ dan Cu²⁺

Bentonit yang memiliki keasaman permukaan dan luas permukaan tertinggi dimasukkan masing-masing ke dalam 6 buah Erlenmeyer sebanyak 0,2 g. Kemudian ke dalam masing-masing Erlenmeyer ditambahkan 20 mL larutan Pb²⁺ 50 ppm dan diaduk dengan pengaduk magnet dengan variasi waktu 5 sampai dengan 60 menit. Campuran disentrifugasi dan filtrat yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan AAS untuk mengetahui jumlah Pb²⁺ yang tersisa. Banyaknya jumlah logam yang terserap setiap gramnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$W_{ads} = \frac{(C_1 - C_2) \times V}{1000 B}$$

Untuk mengetahui waktu kesetimbang adsorpsi Pb²⁺, dibuat grafik antara jumlah Pb²⁺ yang teradsorpsi per gram adsorben dengan waktu kontak. Perlakuan yang sama dilakukan juga untuk penentuan waktu kontak optimum logam Cu²⁺.

Penentuan pH Optimum pada Adsorpsi terhadap Logam Pb²⁺ dan Cu²⁺

Sebanyak 0,2 g bentonit yang mempunyai keasaman permukaan dan luas permukaan yang tertinggi dimasukkan ke dalam masing-masing 6 buah Erlenmeyer dan ditambahkan masing-masing 20 mL larutan standar Pb²⁺ dengan konsentrasi 50 ppm. Kemudian pH larutan diatur menjadi 1 sampai 6 dengan menambahkan HNO₃ 0,1 M atau NaOH 0,1 M. Selanjutnya 20 mL larutan standar Pb²⁺ dengan konsentrasi 50 ppm pada pH 1, 2, 3, 4, 5, 6. Pada masing-masing campuran diaduk pada waktu kontak optimum yang telah didapatkan. Kemudian campuran disentrifugasi dan filtrat yang didapat selanjutnya dianalisis dengan AAS.

Banyaknya logam yang terserap oleh setiap gramnya dapat ditentukan dengan Persamaan di atas. Untuk mengetahui pH optimum

yang didapat, dibuat grafik antara jumlah logam yang teradsorpsi per gram adsorben dengan pH yang dilakukan. Perlakuan yang sama dilakukan untuk penentuan pH optimum pada logam Cu²⁺.

Penentuan Isoterm Adsorpsi Bentonit terhadap Logam Pb²⁺ dan Cu²⁺

Ke dalam masing-masing erlenmeyer dimasukkan masing-masing 0,2 g sampel bentonit dengan keasaman dan luas permukaan tertinggi. Selanjutnya ditambahkan 20 mL larutan standar Pb²⁺ Dengan variasi konsentrasi 10 sampai dengan 50 ppm pada kondisi pH optimum yang telah didapat dan diaduk dengan waktu kontak optimum yang didapat. Kemudian campuran disentrifugasi dan filtrat yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan AAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

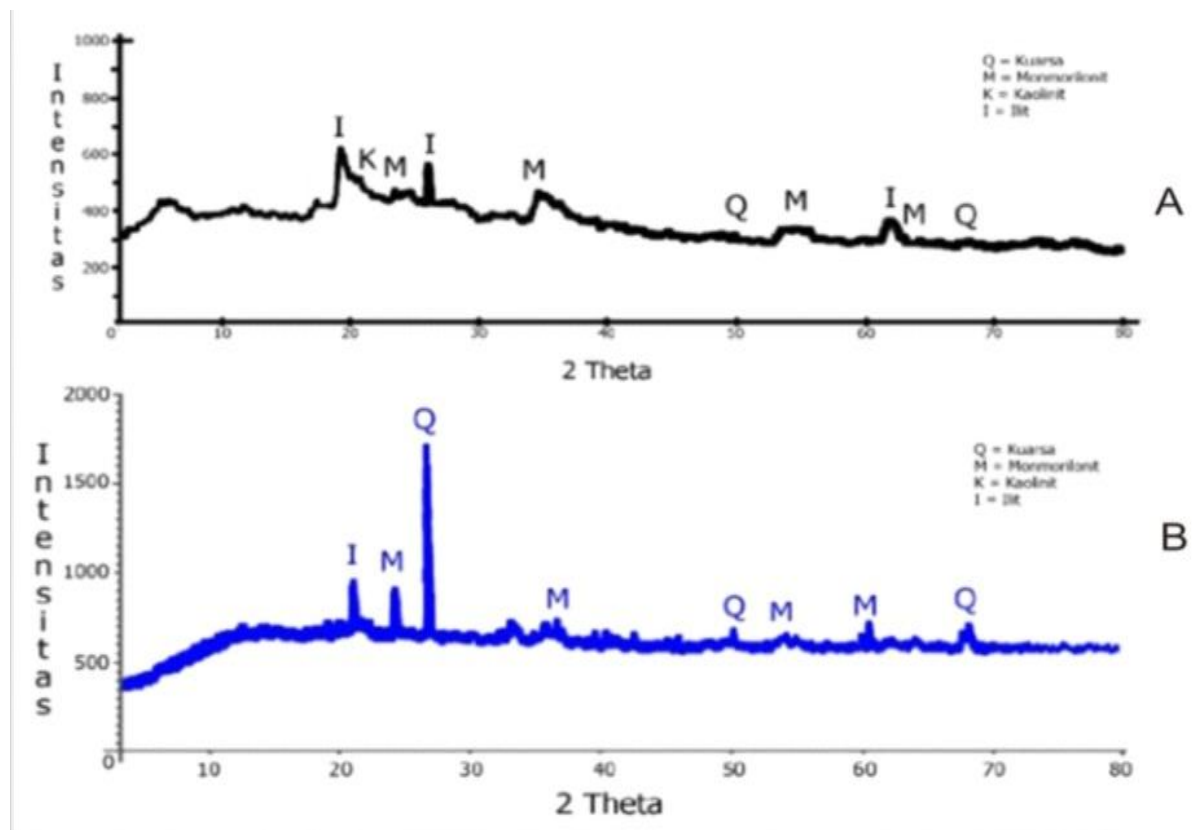
Karakterisasi basal spacing

Karakterisasi *basal spacing* ini dilakukan dengan menggunakan metode XRD, hasil yang diperoleh dapat menentukan besarnya pergeseran jarak antar lapis bentonit. Aktivasi bentonit menggunakan NaOH tidak mengubah struktur khas dari bentonit dimana puncak dari *monmorillonit*, kuarsa dan illit masih terbentuk.

Berdasarkan Tabel 1. terjadi penurunan nilai *d* (*basal spacing*) dibandingkan dengan bentonit tanpa aktivasi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh bentonit tanpa aktivasi memiliki kandungan ion-ion lain yang lebih beragam sehingga memberikan jarak interlayer yang lebih besar. Selain itu pada spektra bentonit yang telah diaktivasi dengan NaOH menghasilkan puncak-puncak yang semakin tajam. Hal ini menandakan kiralinitas dari mineral-mineral yang ada pada bentonit semakin baik atau murni. (Dee, 2012).

Tabel 1. Puncak difraktogram pada Bentonit tanpa aktivasi dengan aktivasi NaOH

Karakteristik	Data base kandungan bentonit		Bentonit tanpa aktivasi		Bentonit aktivasi NaOH			
	d (Å)	I/I	d (Å)	I/I	d (Å)	I/I 25		
Illit	4,33	30	21,00	4,24	49	21,05	4,22	
Kuarsa	1,81	17	50,15	1,81	14	20,26	1,81	11
Kuarsa	1,38	11	68,21	1,37	12	68,44	1,36	13
Monmorilonit	2,56	18	24,04	3,69	21	24,17	3,67	23
	1,69	20	55,80	1,64	20	50,26	1,81	11



Gambar 1. Spektra XRD a. bentonit tanpa aktivasi dan b. bentonit aktivasi NaOH

Karakterisasi Luas Permukaan Spesifik Bentonit

Analisis luas permukaan ini dilakukan dengan menggunakan metode metilen biru, dimana banyaknya metilen biru yang dapat diadsorpsi sebanding dengan luas permukaan adsorben. Luas permukaan adsorben dari bentonit tanpa aktivasi dengan bentonit yang diaktivasi dengan NaOH 2M dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Luas permukaan bentonit

Sampel	s (m ² /g)
Bentonit tanpa aktivasi	12,6602
Bentonit aktivasi NaOH 2M	22,1017

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa bentonit yang diaktivasi NaOH 2 M mempunyai keasaman permukaan dan jumlah situs aktif lebih besar dibandingkan dengan adsorben tanpa aktivasi. Peningkatan keasaman permukaan ini

terjadi karena adanya aktivasi dengan NaOH. Selain itu aktivasi dengan NaOH dapat mengurangi pengotor-pengotor yang menyumbat pori-pori bentonit sehingga pori menjadi lebih terbuka. (Sahirul, 2001).

Jumlah Situs Aktif

Penentuan keasaman permukaan ini dilakukan dengan cara kualitatif menggunakan metode titrimetri yaitu dengan titrasi asam basa. Situs-situs asam dari adsorben direaksikan dengan NaOH berlebih dan sisa OH⁻ yang tidak bereaksi dengan situs-situs asam dari adsorben ditentukan dengan titrasi menggunakan HCl 0,1 M. Keasaman adsorben dihitung dari selisih jumlah HCl untuk mentitrasi blanko dengan jumlah HCl untuk titrasi adsorben.

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa bentonit yang diaktivasi NaOH 2M mempunyai keasaman permukaan dan jumlah situs aktif lebih besar dibandingkan dengan adsorben tanpa

aktivasi. Peningkatan keasaman permukaan ini terjadi karena adanya aktivasi dengan NaOH.

Tabel 3. Jumlah situs aktif dari bentonit tanpa aktivasi dengan bentonit aktivasi NaOH 2M.

Adorben	Jumlah Situs Aktif (atom/gram)
Bentonit tanpa aktivasi	$31,5847 \times 10^{20}$
Bentonit aktivasi NaOH 2M	$32,8716 \times 10^{20}$

Selain itu aktivasi dengan NaOH dapat mengurangi pengotor-pengotor yang menyumbat pori-pori bentonit sehingga pori menjadi lebih terbuka. (Sahirul, 2001).

Waktu Setimbang Adsorpsi Bentonit terhadap Logam Pb^{2+} dan Cu^{2+}

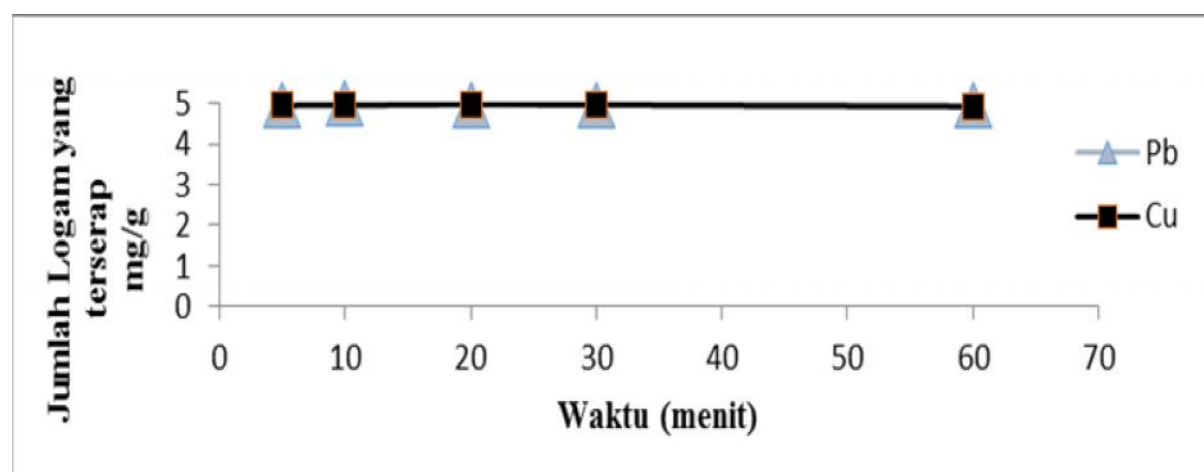
Penentuan waktu kontak optimum dilakukan pada konsentrasi 50 ppm dengan memvariasikan waktu kontak yaitu 0, 5, 10, 20, 30, 60 menit. Berdasarkan Gambar 2. dapat dijelaskan bahwa waktu optimum tidak dapat ditentukan karena proses adsorpsi yang berlangsung cepat dan waktu kontak optimum berada di bawah 5 menit.

Pada Gambar 2 menjelaskan bahwa waktu kontak optimum dari daya serap bentonit terhadap

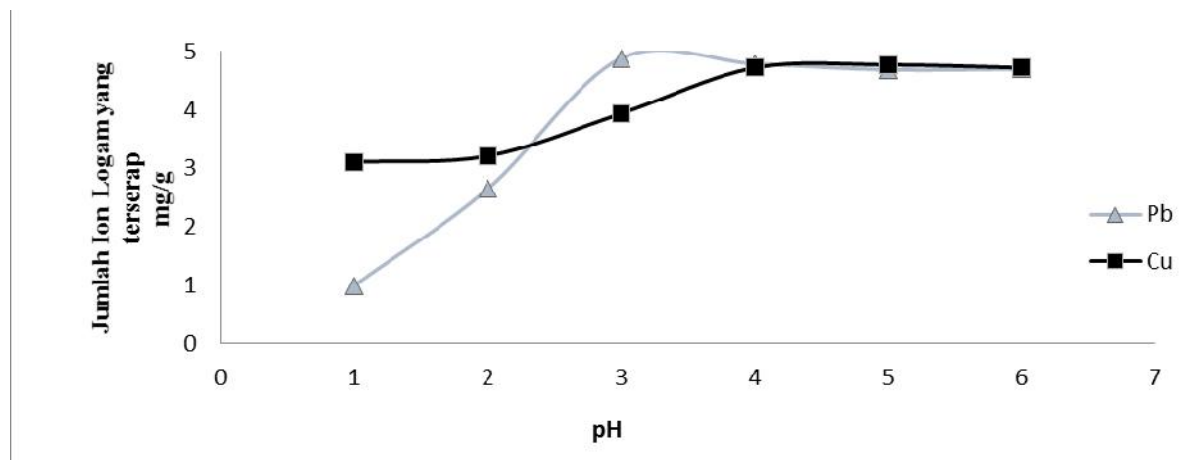
ion logam Cu^{2+} tidak dapat ditentukan karena proses adsorpsi yang berlangsung sangat cepat dan waktu kontak optimum berada dibawah 5 menit sama seperti yang terjadi pada penentuan waktu kontak pada logam Pb^{2+} . Waktu kontak optimum berada dibawah 5 menit dengan jumlah ion logam Cu^{2+} yang dapat diserap sekitar 5,0 mg/g.

pH Optimum Adsorpsi Bentonit terhadap Logam Pb^{2+} dan Cu^{2+}

Penentuan pH optimum merupakan salah satu parameter penting dalam proses adsorpsi yang mempengaruhi ion logam dalam larutan. Penentuan pH terhadap kapasitas adsorpsi bertujuan untuk mengetahui nilai pH yang memberikan adsorpsi maksimum dari bentonit teraktivasi NaOH terhadap logam Pb^{2+} dan Cu^{2+} . Proses penyerapan dilakukan pada pH 1-6. Menurut Sukarjo (1990) penyerapan pada pH tinggi ($pH > 6$) lebih cenderung memberikan hasil yang kurang sempurna, karena terbentuknya senyawa oksidasi dari unsur-unsur lebih besar sehingga akan menutupi permukaan adsorben dan menghalangi proses penyerapan partikel-partikel terlarut dalam adsorben. Dari hasil penelitian pengaruh pH terhadap penyerapan Pb^{2+} oleh bentonit teraktivasi NaOH terdapat pada Gambar 3.



Gambar 2. Grafik waktu kontak terhadap adsorpsi ion logam Pb^{2+} dan Cu^{2+} dengan jumlah ion logam yang terserap dalam 50 ppm.



Gambar 3. Pengaruh pH terhadap adsorpsi Pb²⁺ dan Cu²⁺ 50 ppm

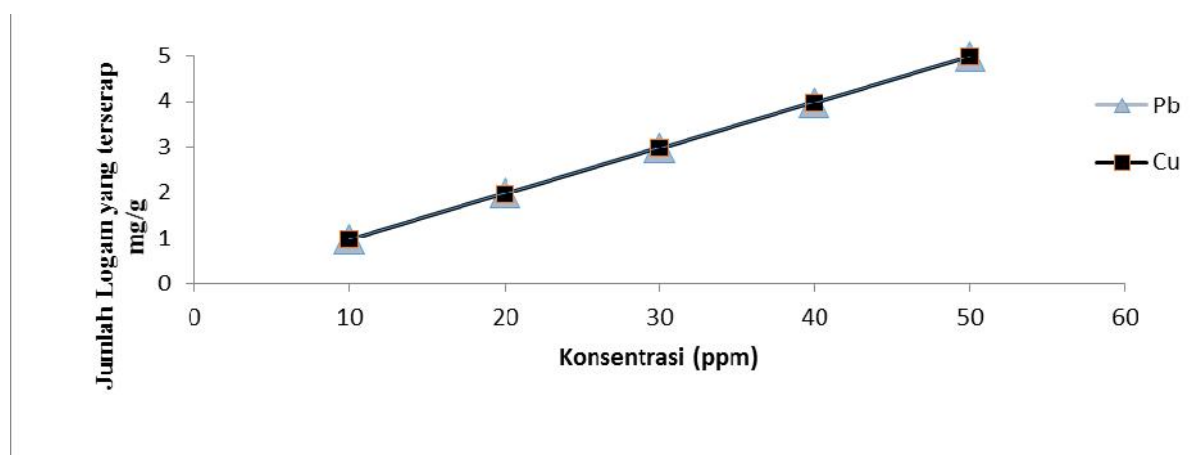
Berdasarkan gambar tersebut pH optimum penyerapan logam Pb²⁺ terdapat pada pH 3 dengan jumlah Pb²⁺ yang terserap sebesar 4,8882 mg/g. Pada pH 1-3 kemampuan adsorpsi dari adsorben meningkat, sedangkan pada kondisi pH 3-6 konstan atau sudah tidak ada perubahan. Seperti yang dijelaskan pada Gambar 3. pada pH kurang dari 5 ion logam Pb dalam bentuk Pb²⁺ sedangkan lebih dari 5 logam Pb dalam bentuk Pb(OH)⁺ oleh karena itu dipilih pH 3 sebagai pH optimum.

Sedangkan pada penyerapan logam Cu²⁺ pada pH optimum terdapat pada pH 4 dengan jumlah Cu²⁺ yang terserap sebesar 4,7251 mg/g. Dipilihnya pH 4 sebagai pH optimum disebabkan karena logam Cu dominan dalam bentuk Cu²⁺.

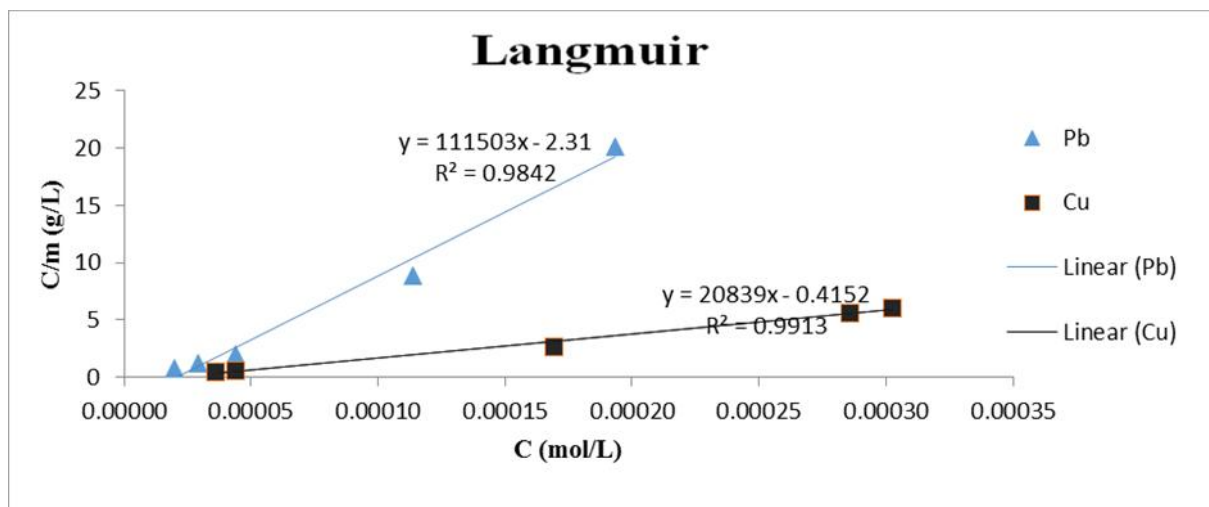
Untuk pH diatas 4 yaitu pada pH 5-6 jumlah Cu yang terserap menurun karena pada pH tersebut Cu²⁺ cenderung membentuk Cu(OH)₂. Sedangkan, pada pH di bawah 4, jumlah Cu²⁺ yang terserap lebih sedikit, ini disebabkan adanya jumlah H⁺ yang besar sehingga kation logam berkompetisi dengan H⁺ untuk berikatan dengan situs-situs aktif adsorben. (Gambar 3). (Benelli *et al.*, 2013).

Penentuan Isoterm Adsorpsi

Adsorpsi Pb²⁺ dilakukan pada pH 3 dengan waktu kontak 10 menit. Data hasil analisis variasi konsentrasi Pb²⁺ terhadap banyaknya Pb²⁺ yang teradsorpsi disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Grafik konsentrasi terhadap adsorpsi ion logam Pb²⁺ dan Cu²⁺ dengan jumlah ion logam yang terserap



Gambar 5. Pola isoterm adsorpsi Langmuir logam Pb^{2+} dan Cu^{2+} pada adsorben bentonit aktivasi

Berdasarkan pada Gambar 4. konsentrasi terus mengalami peningkatan sehingga diperoleh nilai kapasitas adsorpsi diatas dari kapasitas adsorpsi yang didapat. Sama halnya yang terjadi pada logam Pb^{2+} Dari Gambar 4. dapat dilihat bahwa berat adsorben yang teradsorpsi berbanding lurus dengan konsentrasi Cu, dimana dari konsentrasi 10-50 ppm daya serap adsorben meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa belum jenuhnya situs aktif bentonit teraktivasi NaOH 2M oleh molekul adsorben (Cool dan Vansant,1988).

Penentuan isotherm adsorpsi Langmuir dapat diperoleh dengan membuat grafik pola isotherm adsorpsi. Pola isotherm masing-masing dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada isotherm Langmuir terjadi proses adsorpsi bersifat monolayer. Sesuai dengan persamaan isotherm Langmuir maka didapatkan kapasitas adsorpsi sebesar 185,8169 mg/g dengan nilai K sebesar 482,71. Dari kapasitas adsorpsi sebesar 185,8169 mg/g maka adsorben bentonit yang diaktivasi memiliki nilai kapasitas adsorpsi lebih besar dari adsorben zeolit alam yang diaktivasi oleh asam klorida yang memiliki nilai kapasitas adsorpsi 27,027 mg/g (Anggara *et al.*, 2013).

Pada logam Cu^{2+} didapatkan nilai kapasitas adsorpsi logam Cu^{2+} yang terserap sebesar 30 mg/g dengan nilai K sebesar 5020,08. Dengan didapatkannya nilai kapasitas adsorpsi logam Cu^{2+} sebesar 30,0 mg/g adsorben bentonit

memiliki nilai kapasitas adsorpsi yang tidak jauh berbeda dibandingkan daripada adsorben bentonit yang teraktivasi oleh asam yang memiliki nilai kapasitas adsorpsi sebesar 32,17 mg/g (Eren, 2007). Berdasarkan dari nilai tetapan kesetimbangan adsorpsi logam Pb^{2+} dan Cu^{2+} tersebut proses adsorpsi ini berlangsung dengan sangat cepat dan jenis ikatan adsorpsi yang terjadi adalah ikatan secara kimia bisa dilihat dari waktu kontak yang telah dilakukan proses adsorpsinya yang berlangsung di bawah 5 menit.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Karakterisasi bentonit tanpa aktivasi dengan aktivasi diperoleh nilai d (*basal spacing*) berturut-turut sebesar 3,69 Å dan 3,67 Å, Luas permukaan bentonit tanpa aktivasi dengan bentonit aktivasi sebesar 12,6602 dan 22,1017 s (m^2/g), sedangkan jumlah situs aktif berturut-turut adalah $31,5847 \times 10^{20}$ dan $32,8716 \times 10^{20}$ atom/gram.
2. Waktu kontak yang diperoleh pada logam Pb^{2+} dan Cu^{2+} dibawah 5 menit sedangkan pH optimum logam Pb^{2+} pada pH 3 dan pH 4 untuk logam Cu^{2+} . Proses adsorpsi mengikuti pola isotherm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi logam Cu^{2+} sebesar 185,8169 mg/g dengan nilai K sebesar 482,71 dan kapasitas adsorpsi logam

Pb²⁺ sebesar 30 mg/g dan nilai K sebesar 5020,08.

Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian, maka perlu dilakukan variasi konsentrasi NaOH pada saat proses aktivasi sehingga didapatkan jarak antar lapis yang maksimal sehingga didapatkan kapasitas adsorpsi yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui jurnal ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Ibu Ir. Wahyu Dwijani S., M.Kes, Ibu Ida Ayu Gede Widihati, S.Si., M.Si., dan Bapak I Wayan Sudiarta, S.Si., M.Si. atas masukan dan sarannya sehingga tulisan ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, P.A., Wahyuni, S., dan Prasetya, A.T., 2013, Optimalisasi Zeolit Alam Wonosari dengan Proses Aktivasi secara Fisis dan Kimia, *Indo. J. Chem. Sci*, 2 (1) : 72-77
- Aviantari, Megawati., 2008, Pembuatan & Pemisahan Membran Bentonit –Zeolit Untuk pemisahan Ion Cu²⁺ Dalam Larutan, *Skripsi*, ITB, Bandung
- Benelli, C., Elisa, B., Mauro, F., Vieri, F., Luca G., Eleonora, M., Mauro, M., Paola, P., and Patrizia, R., 2013, Di-Maltol-Polyamine Ligands to Form Heterotrinnuclear Metal Complexes: Solid State, Aqueous Solution and Magnetic Characterization, *Journal for inorganic, organometalic and bioinorganic chemistry*, 42 : 5848-5859
- Cool, P., and Vansant, E.F., 1998, *Pillared Clays: Preparation, Characterization and Applications*, Laboratory of Inorganic Chemistry, University of Antwerp, USA
- Dee, R.P., 2012, Modifikasi Bentonit Terpilar Al dengan Kitosan untuk Adsorpsi Ion Logam Berat, *Skripsi*, Univeritas Indonesia, Depok
- Eren, E., and Afsin, B., 2007, An investigation of Cu(II) Adsorption by Raw and Acid-Activated Bentonite: A Combined Potentiometric, Thermodynamic, XRD, IR, DTA Study, *Journal of Hazardous Materials*, 151 : 682–691
- Nyabakken, W.J., 1985, *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*, P.T. Gramedia, Jakarta
- Palar, H., 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Penerbit Rineka Cipta, Jakarta
- Sahirul, R. H. A. 2001. Bahan-bahan Berpori, Sintesis, Struktur dan Beberapa Aplikasinya, *Jurnal Kimia*, 3 (5) : 1-8
- Suarya, P., 2008, Adsorpsi Pengotor Minyak Daun Cengkeh oleh Lempung Teraktivasi Asam, *Jurnal Kimia*, 2 (1) : 19-24
- Supeno, M dan Sembiring, S. B., 2007, *Bentonit Alam Terpilar Sebagai Material Katalis/Co-katalis Pembuatan Gas Hidrogen dan Oksigen dari Air*, *Disertasi*, USU, Medan
- Sukardjo., 1990, *Kimia Anorganik*, Rineka Cipta, Jakarta