

ADSORPSI ION LOGAM Fe^{3+} DALAM AIR ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN NANO ZEOLIT ALAM

¹⁾Yulianis*, ²⁾Riskal Husna, ³⁾Novita Devi Irviani Zulva dan ⁴⁾Mahidin

¹Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Kementerian ESDM

^{2,3,4}Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala,

Artikel masuk : 11-04-2022 , Artikel diterima : 29-08-2022

Kata kunci: zeolit alam, partikel nano, adsorpsi, air asam tambang, isothermal adsorpsi, kinetika adsorpsi

Keywords: *natural zeolite; nano particle; adsorption; acid mine drainage; isotherm study; kinetic study*

Abstrak

Penelitian ini memanfaatkan bahan galian tambang yaitu zeolit alam yang diperoleh dari Kabupaten Aceh Barat Daya, Provinsi Aceh sebagai adsorben untuk pengolahan limbah air asam tambang dengan metode adsorpsi, sehingga biaya yang diperlukan menjadi lebih rendah dibandingkan adsorben komersial serta menguntungkan bagi pelaku usaha di bidang pertambangan. Dalam penelitian ini menggunakan air asam tambang dari kegiatan usaha pertambangan bijih besi. Logam berat yang dominan dalam air asam tambang pada lokasi pertambangan bijih besi tersebut adalah tembaga (Cu^{2+}), besi (Fe^{3+}), mangan (Mn^{2+}) dan seng (Zn^{2+}). Pada penelitian ini dilakukan proses adsorpsi ion logam besi (Fe^{3+}) dari limbah artifisial dan air asam tambang dengan menggunakan adsorben nano zeolit teraktivasi. Variabel tetap penelitian ini adalah ukuran partikel zeolit, kecepatan putaran, volume limbah artifisial logam besi (Fe^{3+}) dan air asam tambang, konsentrasi ion logam, berat adsorben, pH dan temperatur percobaan. Sedangkan variabel berubah dalam penelitian ini adalah waktu kontak. Zeolit alam terlebih dahulu dilakukan pengecilan ukuran sampai ukuran nanopartikel, selanjutnya diaktivasi secara fisika dan kimia. Penelitian ini memberikan informasi tentang kemampuan adsorben nano zeolit alam yang telah diaktivasi dalam menyerap ion logam berat dalam air asam tambang. Hasil dari Penelitian ini, pada limbah artifisial didapatkan waktu kesetimbangan yaitu 75 menit dengan kapasitas serta efisiensi penyerapan ion logam besi (Fe^{3+}) sebesar 7,59 mg/g dan 98,64 %. Pada limbah air asam tambang didapatkan waktu kesetimbangan pada 135 menit dengan kapasitas serta efisiensi penyerapan ion logam besi (Fe^{3+}) sebesar 3,14 mg/g dan 97,46 %.

*Penulis Koresponden : yulianispratama@gmail.com

Doi : <https://doi.org/10.36986/impj.v4i1.51>

Abstract

This research is using the available natural resources (natural zeolite) obtained from Aceh Barat Daya Regency, Aceh Province as an adsorbent for treating acid mine drainage by the adsorption method, so that the required cost becomes lower than commercial adsorbent so it is profitable for business actors in the mining sector. This research used acid mine drainage from iron ore mining activities. The dominant heavy metals in acid mine drainage in this location are copper (Cu^{2+}), iron (Fe^{3+}), manganese (Mn^{2+}) and zinc (Zn^{2+}). This research carried out the process of adsorption of ferrous metal ions (Fe^{3+}) from artificial waste and acid mine drainage by using activated nano zeolite adsorbent. The fixed variables of this study were zeolite particle size, rotational velocity, the volume of artificial waste (Fe^{3+}) and acid mine drainage, metal ion concentration, the weight of adsorbent, pH of waste and experimental temperature. While the variable changed in this research was the contact time. The zeolite used in this study firstly upgraded its performance by reducing the size to the nano particle size, then physically and chemically activated. This research is expected to provide information about the ability of natural nano zeolite adsorbent to be activated in absorbing heavy metal ions in acid mine drainage. The result of this research was the adsorption of ferrous metal ions (Fe^{3+}) from artificial waste finally achieved an equilibrium time that is 75 minutes and capacity and also efficiency of 7,587 mg/g and 98,64%. The adsorption of ferrous metal ions (Fe^{3+}) in acid mine drainage finally got equilibrium time of 135 minutes and capacity and also efficiency of 3,14 mg/g and 97,46%.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negeri yang kaya akan sumber daya alam mineral baik mineral logam, bukan logam, batubara maupun radioaktif. Bahan galian tersebut dapat diperoleh dengan cara penambangan. Kegiatan usaha pertambangan selain dapat meningkatkan perekonomian dan terpenuhinya kebutuhan masyarakat juga dapat menimbulkan dampak terhadap kerusakan lingkungan seperti gangguan ekologi, kerusakan flora dan fauna alam,

polusi udara, air dan tanah, ketidakstabilan massa tanah dan batu, degradasi *landscape*, dan pemanasan global (Gutti dkk, 2012).

Salah satu dampak dari kegiatan pertambangan yang tidak dikelola dengan baik adalah air limbah asam tambang. Air asam tambang berasal dari reaksi geokimia mineral-mineral sulfida yang terpapar berinteraksi dengan air dan udara. Dalam penelitian ini sampel air asam tambang diperoleh pada salah satu tambang logam mineral bijih besi di Provinsi Aceh. Kemudian dilakukan pengujian sampel di Laboratorium Baristand Banda Aceh. Berdasarkan hasil uji, kandungan logam Fe sebesar 16 ppm dengan pH 4. Konsentrasi logam Fe tersebut melebihi baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan oleh Pemerintah yaitu Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 21 Tahun 2009 tentang baku air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pertambangan bijih besi dan baku mutu logam besi pada peraturan ini sebesar 5 ppm. Upaya yang harus dilakukan adalah melakukan pengolahan air limbah agar diperoleh hasil keluaran yang memenuhi baku mutu lingkungan sehingga tidak mencemari lingkungan sekitarnya.

Besarnya konsentrasi air asam tambang melebihi baku mutu lingkungan menyebabkan dampak yang sangat serius bagi masyarakat dan lingkungan sekitar. Maka kandungan air asam tambang harus dikurangi hingga mencapai nilai baku mutu lingkungan agar tidak mencemari lingkungan. Beberapa teknik yang telah dikembangkan dalam pengolahan limbah yang mengandung logam berat adalah presipitasi, penukar ion, teknologi membran, elektrokimia (Luptakova dkk, 2012), elektrolisis (Buzzi dkk, 2011), proses biologi (Kumar dkk, 2013), dan adsorpsi (Mohan dan Chander, 2006; Williams dan Roberts, 2008). Diantara metode tersebut, proses adsorpsi paling diminati karena ekonomis, efisien, efektif dan murah (Masukume dkk, 2014). Panigrahi dkk. (2013) dalam penelitiannya menggunakan *fly ash* yang dimodifikasi sebagai adsorben untuk adsorpsi logam berat dalam air asam tambang. Hasil dari penelitiannya proses adsorpsi menggunakan adsorben *fly ash* yang dimodifikasi mampu menurunkan konsentrasi logam berat dalam air asam tambang. Adsorpsi merupakan proses

suatu komponen dapat bergerak atau berpindah dari suatu fasa menuju permukaan lain sehingga dapat terjadi perubahan konsentrasi pada permukaan. Zat yang menyerap disebut sebagai adsorben dan zat yang diserap disebut adsorbat (Treybal, 1981).

Dalam penelitian ini menggunakan metode adsorpsi sebagai metode yang simpel, mudah, murah bagi kalangan pengusaha kelas menengah kebawah, memanfaatkan bahan tambang zeolit alam dari Kabupaten Aceh Barat Daya. Zeolit alam dilakukan modifikasi terlebih dahulu dengan mengecilkan ukuran sampai ukuran nanopartikel, selanjutnya diaktivasi fisika dan kimia untuk meningkatkan *performance* dari zeolit alam.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh zeolit alam yang telah diaktivasi terhadap penyisihan ion logam berat Fe (besi) dalam limbah artifisial dan air asam tambang, mengetahui pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas dan efisiensi adsorpsi logam berat dalam limbah artifisial dan air asam tambang, mengetahui isothermal adsorpsi dan kinetika adsorpsi ion logam berat Fe (besi) dalam limbah artifisial dan air asam tambang dengan menggunakan adsorben nanopartikel zeolit teraktivasi.

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu memberikan kontribusi terhadap perkembangan teknologi adsorpsi dengan menggunakan bahan galian tambang zeolit alam yang ada di daerah Aceh Barat Daya dapat mengolah air asam tambang sehingga hasil olahan tersebut dapat dibuang dengan konsentrasi yang rendah sesuai dengan baku mutu lingkungan.

METODOLOGI PENELITIAN

Adsorben Zeolit Alam

Zeolit alam yang digunakan merupakan zeolit yang berasal dari Blang Pidie Kabupaten Aceh Barat Daya, Provinsi Aceh. Zeolit alam dilakukan pengecilan ukuran hingga menjadi ukuran nano kemudian diaktivasi secara fisika dan kimia. Nano zeolite alam yang telah diaktivasi dilakukan uji karakterisasi menggunakan XRD, XRF, FTIR, dan SEM menunjukkan bahwa nano zeolit yang teraktivasi ini mampu menyisihkan logam Cu^{2+} dengan baik dibandingkan dengan nano zeolit yang belum diaktivasi (yulianis, dkk 2018).

Persiapan Larutan Sampel

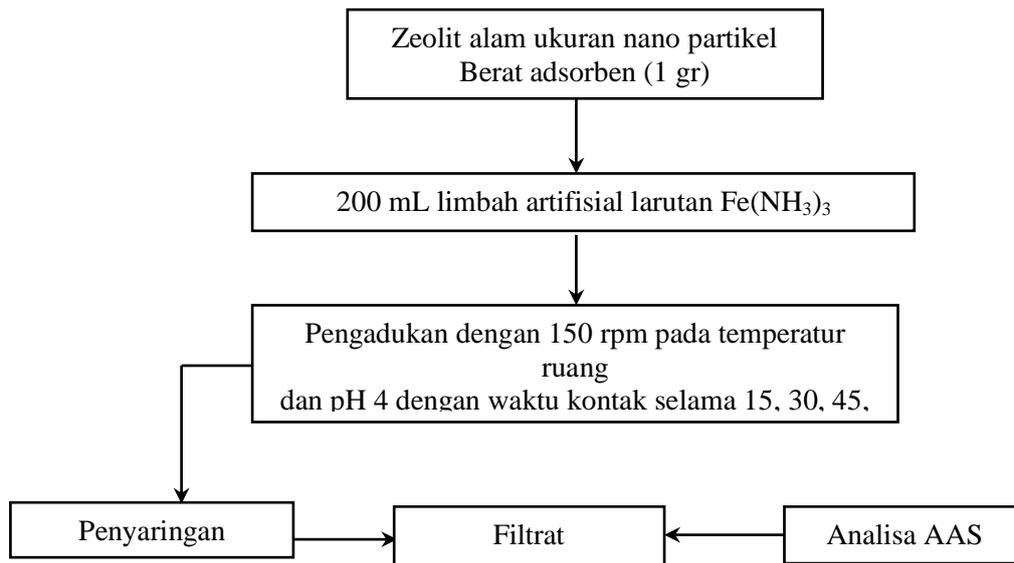
Larutan sampel induk untuk limbah artifisial yang digunakan adalah $\text{Fe}(\text{NH}_3)_3$ 1000 mg/L. Untuk membuat konsentrasi yang ditentukan, larutan induk ini encerkan.

Pengaturan pH

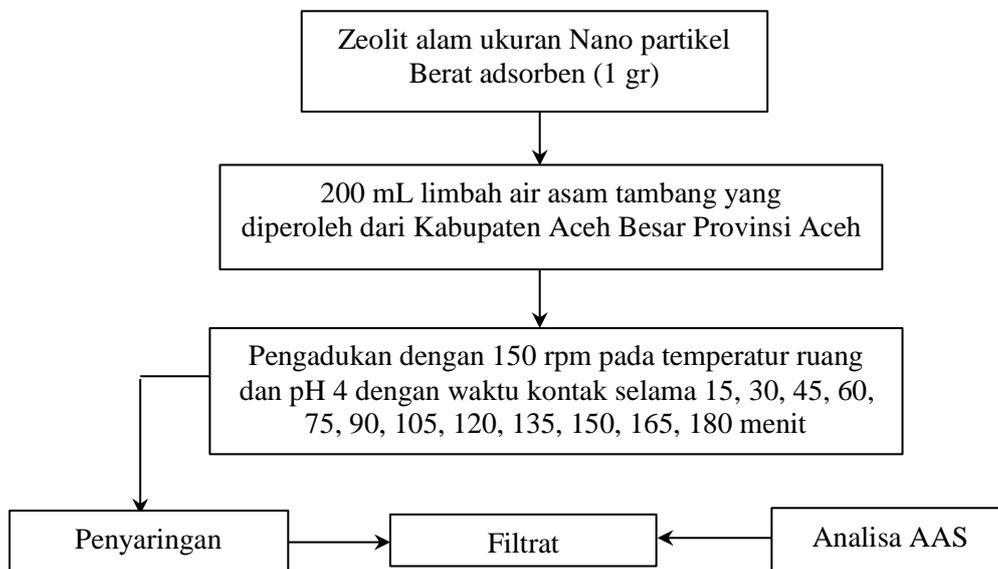
Proses pengaturan pH pada larutan artifisial menjadi variasi pH yang telah ditentukan dapat dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH 1 M untuk menaikkan pH dan HCl 1 M untuk menurunkan pH. pH dalam larutan dapat dicek menggunakan alat pH meter

Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan dengan metode *batch* yaitu mengontakkan nano zeolit teraktivasi dengan larutan sampel. Pengontakkan ini dilakukan menggunakan *hot plate* dan *stirrer* dengan kecepatan putaran 150 rpm. Proses ini dapat dihentikan setelah mendapatkan hasil penyerapan maksimum. Konsentrasi akhir adsorpsi dari larutan logam dianalisa dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) sebagaimana sesuai dengan diagram alir pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Diagram uji alir adsorpsi ion logam berat dalam limbah artificial.



Gambar 2. Diagram uji alir adsorpsi ion logam berat dalam air asam tambang

Analisa Data Adsorpsi

Perhitungan kapasitas adsorpsi pada keadaan kesetimbangan pada hasil proses adsorpsi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

(1)

Persamaan (1) menunjukkan bahwa q_e adalah kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g), C_0 adalah konsentrasi logam sebelum adsorpsi (mg/L), C_e adalah konsentrasi logam setelah adsorpsi (mg/L), V adalah volume larutan sampel (L), m adalah berat dari adsorben (g).

Isotermal *Langmuir* menggunakan persamaan

berikut:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{qm} \frac{1}{K_L C_e} + \frac{C_e}{qm} \quad (2)$$

Persamaan (2) menunjukkan bahwa K_L adalah konstanta kesetimbangan *Langmuir* (L/mg), q_m adalah kapasitas penyerapan maksimum pada permukaan padatan (mg/g),

Isotermal *Freundlich* menggunakan persamaan berikut:

$$\log \log q_e = \log \log K + \frac{1}{n} \log \log C_e \quad (3)$$

Persamaan (3) menunjukkan bahwa K_f adalah konstanta isotermal *Freundlich* yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi, n adalah konstanta *Freundlich* yang menunjukkan intensitas proses adsorpsi.

Perhitungan kinetika adsorpsi ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\log \log (q_e - q_t) = \log \log q_e - \frac{k_1 t}{2,303} \quad (4)$$

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e} + \frac{1}{q_e} t \quad (5)$$

Pada persamaan (4) dan (5) menunjukan bahwa q_t adalah kapasitas adsorpsi pada waktu t (mg/g), t adalah waktu (menit), k_1 adalah konstanta kecepatan orde satu ($g \text{ mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$), k_2 adalah konstanta kecepatan orde dua ($g \text{ mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan penelitian diuraikan di bagian ini. Pembahasan difokuskan pada penentuan waktu *equilibrium*/Kesetimbangan, kapasitas adsorpsi, efisiensi adsorpsi, isotermal adsorpsi, dan kinetika adsorpsi.

Uji Kandungan Fe^{3+} Dalam Limbah Air Asam Tambang

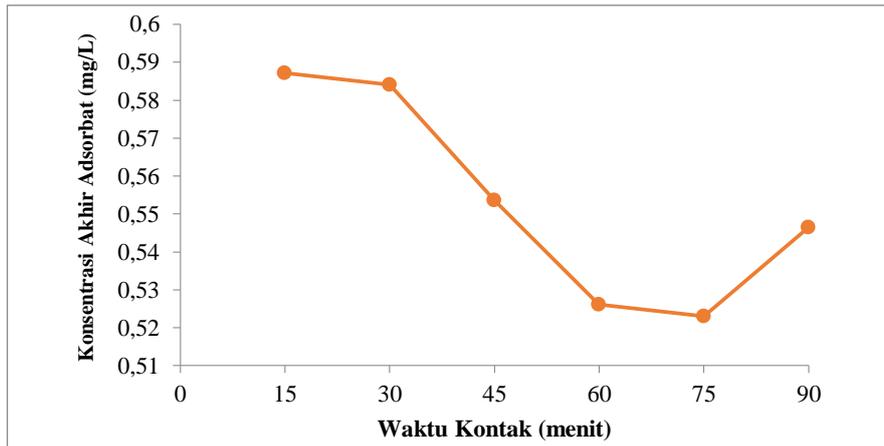
Limbah air asam tambang diperoleh dari tambang bijih besi yang terletak di Kecamatan Lhoong Kabupaten Aceh Besar digunakan sebagai acuan untuk mengetahui konsentrasi logam berat. Berdasarkan hasil uji laboratorium terpadu Universitas Syiah Kuala, diketahui konsentrasi logam Fe^{3+} dalam air asam tambang pada pada kolam 4 adalah 16 ppm dengan pH 4.

Penentuan Waktu *Equilibrium*/Kesetimbangan (t_e)

Uji ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan nano zeolit alam sebagai adsorben dalam menyerap logam Fe^{3+} dan juga untuk menentukan waktu *equilibrium*/kesetimbangan (t_e). Konsep *equilibrium* adsorpsi merupakan tingkat dimana molekul yang teradsorpsi ke permukaan sama dengan saat molekul teradsorpsi (Richardson dkk., 2002).

Waktu *Equilibrium* /Kesetimbangan Dalam Limbah Artifisial

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa penyerapan logam Fe^{3+} berlangsung cepat hingga menit ke-30 yaitu dari konsentrasi awal (t_0) = 38,5 mg/L ke konsentrasi 0,58 mg/L. Pada menit ke-45 konsentrasi Fe^{3+} semakin mengalami penurunan hingga menit ke-75 menjadi konsentrasi 0,52 mg/L. Sedangkan pada saat proses adsorpsi telah mencapai 90 menit konsentrasi Fe^{3+} justru naik menjadi 0,55 mg/L.

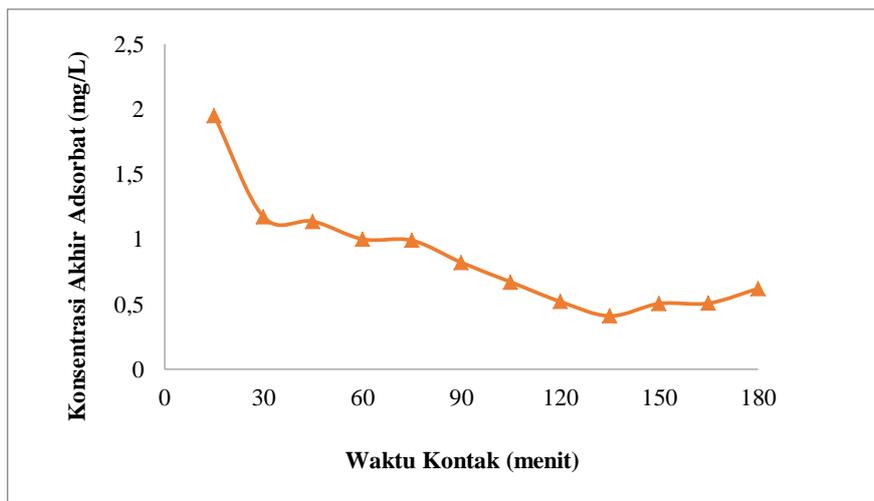


Gambar 3. Hubungan waktu kontak terhadap konsentrasi akhir ion logam Fe^{3+} dalam limbah artifisial pada konsentrasi awal (t_0) = 38,5 ppm dengan berat adsorben 1 gram dan pH 4.

Waktu *Equilibrium* /Keseimbangan Dalam Air Asam Tambang

Pada Gambar 4 kondisi yang sama ditunjukkan pada konsentrasi akhir adsorbat yang diperoleh dalam air asam tambang, terlihat penurunan cepat dimana konsentrasi akhir adsorbat terjadi pada 15 dan 30 menit pertama yaitu dari (t_0) = 16 mg/L turun menjadi 1,95 mg/L dan 1,17 mg/L. Selanjutnya terjadi penurunan yang signifikan dari menit ke-45 hingga menit ke-

135 yaitu 1,14; 1; 0,99; 0,82; 0,67; 0,52; dan 0,41 mg/L. Sedangkan pada menit ke-150 hingga 180 konsentrasi adsorbat mengalami kenaikan yaitu 0,5; 0,51; dan 0,62 mg/L. Hal ini terjadi karena pelepasan adsorbat dan adsorben. Oleh karena itu, menit ke-75 diambil sebagai waktu *equilibrium* pada limbah artifisial dan menit ke-135 pada limbah air asam tambang.



Gambar 4. Hubungan waktu kontak terhadap konsentrasi akhir ion logam Fe^{3+} dalam limbah air asam tambang pada konsentrasi awal (t_0) = 16 ppm dengan berat adsorben 1 gram dan pH 4.

Penelitian Poerwadio dan Masduqi (2004) menyatakan bahwa proses adsorpsi logam Fe dengan menggunakan adsorben zeolit alam dengan variasi diameter zeolit granular (mesh) optimum pada 31 jam (waktu *equilibrium*).

Sementara waktu lebih dari 31 jam, kandungan Fe justru meningkat karena sudah jenuh.

Perbedaan waktu *equilibrium* yang diperoleh antara air asam tambang dan limbah artifisial

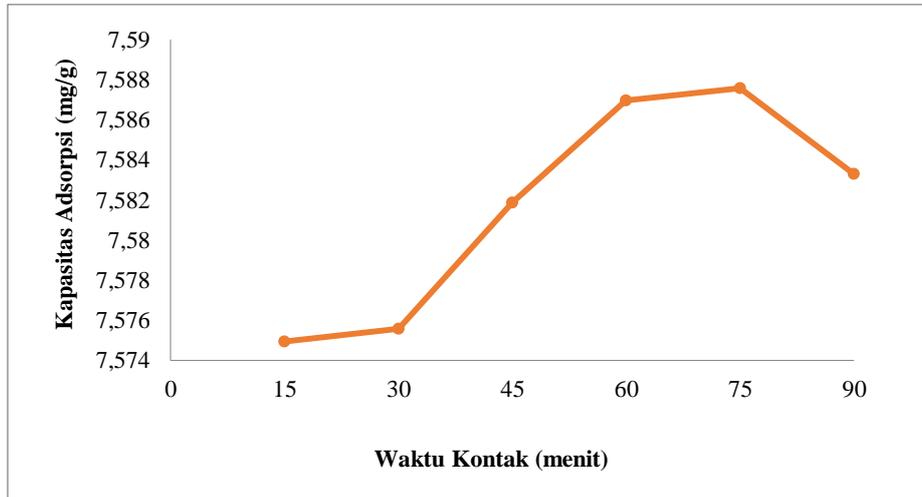
adalah karena beberapa faktor yaitu; kerusakan adsorbat yang menyebabkan penyimpanan adsorbat jangka panjang dan suhu ruang yang terus berubah, serta *human error* ketika pembuatan larutan sampel.

Kapasitas Adsorpsi

Hubungan Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Adsorpsi ion logam Fe³⁺ Dalam

Limbah Artifisial

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa kapasitas adsorpsi ion logam Fe³⁺ dalam limbah artifisial meningkat seiring bertambahnya waktu hingga pada waktu setimbang yaitu 75 menit kapasitas adsorpsi yang diperoleh adalah 7,588 mg/g. Sedangkan pada menit ke-90 kapasitas adsorpsi mengalami penurunan yaitu 7,583 mg/g.

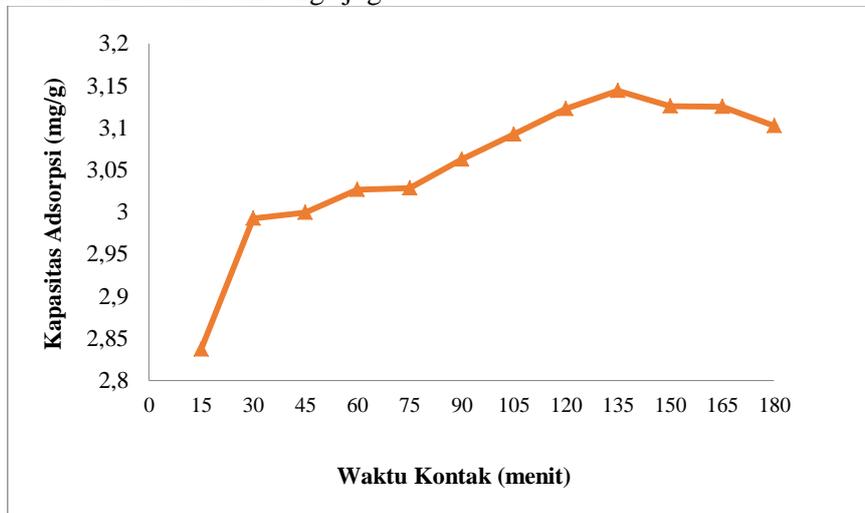


Gambar 5. Hubungan waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Fe³⁺ dalam limbah artifisial pada konsentrasi 38,5 mg/L dengan berat adsorben 1 gram dan pH 4

Hubungan Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Adsorpsi ion logam Fe³⁺ Dalam Air Asam Tambang

meningkat sampai pada waktu setimbang yaitu 135 menit adalah 3,14 mg/g. Sedangkan pada menit 150, 165, dan 180 kapasitas adsorpsi cenderung mengalami penurunan yaitu 3,13; 3,12; 3,10 mg/g.

Berdasarkan Gambar 6 kapasitas adsorpsi ion logam Fe³⁺ dalam air asam tambang juga



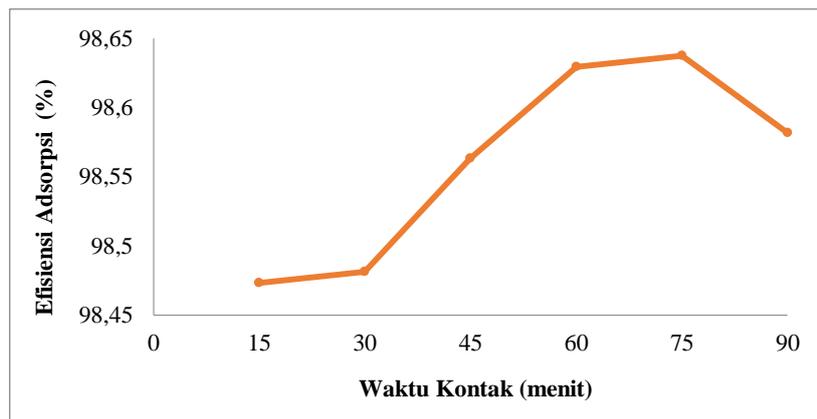
Gambar 6. Hubungan waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Fe³⁺ dalam air asam tambang pada konsentrasi 16 mg/L dengan berat adsorben 1 gram dan pH 4

Berdasarkan gambar 5 dan 6, hal ini terjadi karena lamanya waktu kontak pada proses adsorpsi yang menyebabkan pori-pori dari adsorben zeolit terisi lebih banyak adsorbat sehingga terjadi pertukaran kation yang menyebabkan pada waktu tertentu memasuki keadaan statis dengan laju konsentrasi relatif rendah (Motsi, 2010). Dengan nilai kapasitas yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa zeolit alam yang telah diaktivasi dengan ukuran nano memiliki kualitas dan kemampuan yang sangat baik sebagai adsorben.

Efisiensi Adsorpsi

Hubungan Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Adsorpsi ion logam Fe³⁺ Dalam Limbah Artifisial

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Gambar 7 memperlihatkan hubungan waktu kontak terhadap efisiensi penyerapan yang semakin meningkat seiring berjalannya waktu. Efisiensi yang diperoleh pada variasi waktu 15; 30; 45; 60; 75; dan 90 menit berturut-turut adalah 98,47%; 98,48%; 98,56%; 98,63%; 98,64%; dan 98,58%. Disini efisiensi adsorpsi ion logam Fe³⁺ dalam limbah artifisial terbesar yaitu 98,64% dengan waktu selama 75 menit.

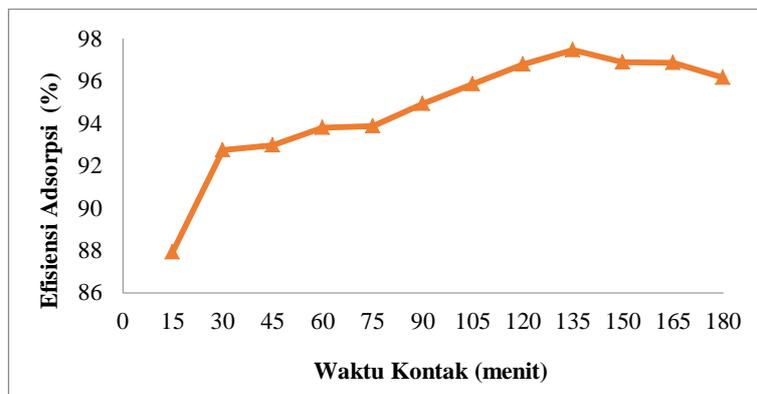


Gambar 7. Hubungan waktu kontak terhadap efisiensi adsorpsi ion logam Fe³⁺ dalam limbah artifisial pada konsentrasi 38,5 mg/L dengan berat adsorben 1 gram dan pH 4

Hubungan Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Adsorpsi ion logam Fe³⁺ Dalam Air Asam Tambang

tambang terbesar yaitu 97,46% dengan waktu selama 135 menit. Efisiensi pada menit ke-150, 165, dan 180 mengalami penurunan yaitu 96,87%; 96,85%; dan 96,16%.

Berdasarkan Gambar 8 terlihat efisiensi adsorpsi ion logam Fe³⁺ dalam air asam



Gambar 8. Hubungan waktu kontak terhadap efisiensi adsorpsi ion logam Fe³⁺ dalam air asam tambang pada konsentrasi 16 mg/L dengan berat adsorben 1 gram dan pH 4

Hal ini menunjukkan bahwa nano zeolit alam teraktivasi mampu menyisihkan ion logam berat Fe^{3+} hingga 98,64% pada limbah artifisial dan 97,46% pada air asam tambang. Pencapaian ini relatif bagus untuk suatu adsorben dengan ukuran nano seperti dalam penelitian Noroozifar dkk. (2010) dimana nano zeolit digunakan untuk menyisihkan *arsenate* memperoleh efisiensi 99% dengan waktu selama 180 menit. Berbeda dengan zeolit yang bukan ukuran nano seperti dalam penelitian Hasni dkk. (2015) zeolit dengan ukuran 100 mesh mampu menyisihkan Fe^{3+} hingga 58,50% dalam waktu selama 120 menit.

Isotermal Adsorpsi

Penerapan isotermal adsorpsi sangat berguna untuk menggambarkan interaksi antara adsorbat dan adsorben. Parameter yang diperoleh dari model yang berbeda memberikan informasi penting mengenai mekanisme penyerapan dan sifat permukaan dari adsorben (Cazetta dkk., 2011).

Adsorpsi isotermal dapat menggambarkan hubungan kesetimbangan antara adsorben dan adsorbat dalam suatu larutan pada suhu tetap. Dari hasil perhitungan kapasitas adsorpsi dapat digunakan untuk mengetahui model dari isotermal adsorpsi, isotermal yang dapat ditentukan dengan ada dua model yaitu isotermal *Langmuir* dan isotermal *Freundlich*.

Tabel 1. Parameter Isotermal Adsorpsi

Jenis ion logam	Isotermal <i>Langmuir</i>			Isotermal <i>Freundlich</i>		
	q_m	k_L	R^2	n	k_F	R^2
Fe^{3+}	-0,66	-0,62	0,74	0,14	536,04	0,96

Berdasarkan Tabel 1 diatas penentuan isotermal adsorpsi dapat dilihat berdasarkan nilai R^2 (nilai koefisien regresi) dari masing-masing. Berdasarkan kedua isotermal dapat dilihat nilai R^2 dari isotermal *Langmuir* adalah 0,74 dan nilai R^2 isotermal *Freundlich* mendekati 1 yaitu 0,96. Hal ini membuktikan bahwa penelitian ini lebih cenderung mengikuti isotermal *Freundlich* yaitu dapat diasumsikan bahwa pusat-pusat aktif permukaan adsorben heterogen dan adsorbat membentuk lapisan multilayer pada permukaan adsorben atau adsorben memiliki permukaan yang tidak homogen dan tiap

molekul mempunyai kemampuan adsorpsi yang berbeda-beda.

Kinetika Adsorpsi

Studi kinetika dilakukan untuk memberikan informasi tentang proses dinamis seperti laju adsorpsi, waktu tinggal, dan perpindahan massa. Parameter ini diperlukan ketika merancang dan mengoperasikan proses adsorpsi dalam pengolahan limbah (Noroozifar et al. 2014).

Tabel 2. Parameter Kinetika Adsorpsi Dalam Limbah Artifisial

Konsentrasi Fe^{3+} (mg/L)	Orde 1 Semu			Orde 2 Semu		
	q_e	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2
38,5	0,06	0,07	0,79	7,59	2,84	1

Berdasarkan Tabel 2 diatas persamaan kinetika adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi ion logam Fe^{3+} dalam limbah artifisial dengan menggunakan nano zeolit alam teraktivasi sebagai adsorben adalah mengikuti persamaan kinetika orde dua semu, hal ini dikarenakan

pada orde dua semu mempunyai nilai R^2 sebesar 1. Nilai k atau konstanta kecepatan adsorpsi yang paling besar adalah nilai k pada orde dua semu yaitu sebesar 2,84 $g\ mg^{-1}\ min^{-1}$. Perolehan nilai konstanta kecepatan adsorpsi pada kinetika adsorpsi ini untuk memberikan

informasi seberapa banyak adsorben yang digunakan untuk menyerap adsorbat persatuan

waktu (menit).

Tabel 3. Parameter Kinetika Adsorpsi Dalam Air Asam Tambang

Konsentrasi Fe ³⁺ (mg/L)	Orde 1 Semu			Orde 2 Semu		
	q _e	k ₁	R ²	q _e	k ₂	R ²
16	0,39	0,02	0,88	3,15	0,15	0,99

Tabel 3 dapat dilihat bahwa persamaan kinetika adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi ion logam Fe³⁺ dalam limbah air asam tambang dengan menggunakan nano zeolit alam teraktivasi sebagai adsorben juga mengikuti persamaan kinetika orde dua semu dengan nilai R² sebesar 0,99. Pada kinetika adsorpsi orde dua semu ion logam Fe³⁺ dalam air asam tambang memiliki nilai k sebesar 0,15 g mg⁻¹ min⁻¹.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Zeolit alam dari Kabupaten Aceh Barat Daya, Provinsi Aceh yang dijadikan ukuran nano memiliki kemampuan yang sangat baik untuk Adsorpsi ion logam Fe³⁺.
2. Efisiensi adsorpsi mencapai 98,64% untuk limbah artifisial dalam waktu 75 menit dan 97,46 % untuk air asam tambang dalam waktu 135 menit.
3. Isotermal adsorpsi dari penelitian ini merujuk ke isotermal *Freundlich* dan kinetika adsorpsi merujuk ke kinetika orde 2 semu.

DAFTAR PUSTAKA

Buzzi, D.C., Viegas, L.S., Silvas, F.P.C., Espinosa, D.C.R., Rodrigues, M.A.S., Bernardes, A.M. (2011). "The Use of Microfiltration and Electrodialysis for Treatment of Acid Mine Drainage", *Mine Water*, **4**, 287–292.

Cazetta AL, Vargas AMM, Nogami EM, Kunita MH, Guilherme MR, Martins AC, 2011. NaOH-activated carbon of high surface area produced from

coconut shell: Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption. *Chemical Engineering Journal*, **174**, 17–25.

Gutti, B., Aji, MM., Magaji, G. (2012). Environmental impact of natural resources exploitation in nigeria and the way forward. *Int. J. Applied Technology in Environmental Sanitation*, **2**, 95–102.

Hasni., Arahman, N., Mulyati, S. (2015). Penyisihan Fe dalam air tanah menggunakan zeolit alam Banda Aceh teraktivasi. *Indo. J. Chem. Eng and Env.*, **10**, 142-147.

Ibrahimi, M.M and Sayyadi, A.S. (2015). Application of natural and modified zeolites in removing heavy metal cations from aqueous media : an overview of including parameters affecting the process. *International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Science*, **4**, 1-7.

Kumar, R.N., Mc Cullough, CD., Lund, MA. (2013). Upper and Lower Concentration Thresholds for Bulk Organic Substrates in Bioremediation of Acid Mine Drainage. *Mine Water Environ*, **32**, 285–292.

Luptakova, A., Ubaldini, S., Macingova, E., Fornari, P., Giuliano, V. (2012). Application of physical – chemical and biological – chemical methods for heavy metals removal. *Process Biochemistry*, **47**,1633-1639.

Masukume, M., Onyango, MS., Maree, JP. (2014). International Journal of Mineral Processing Sea shell derived adsorbent and its potential for treating acid mine drainage. *International Journal of Mineral Processing*, **133**, 52-59.

Mohan, D. & Chander, S. (2006). Removal

- and recovery of metal ions from acid mine drainage using lignite-A low cost sorbent. *Journal of Hazardous Materials*, **137**,1545–1553.
- Motsi, T., Rowson, N. A. and Simmons, M.J.H. (2009). Adsorption of heavy metals from acid mine drainage by natural zeolite. *International Journal of Mineral Processing*, **92**, 42–48.
- Noroozifar, M., Khorasani-Motlagh, M., Naderpour, H. (2014). Modified nanocrystalline natural zeolite for adsorption of arsenate from wastewater: Isotherm and kinetic studies. *Microporous and Mesoporous Materials*, **197**, 101–108.
- Panigrahi, P.K.S.S.T.M.K. (2013). Evaluation of the use of an alkali modified fly ash as a potential adsorbent for the removal of metals from acid mine drainage. *Appl. Water*, 567–576.
- Poewadio, A. D., Masduqi, A. (2004). Penurunan kadar besi oleh media zeolit alam Ponorogo secara kontinyu. *Indo. J. Purification*, **5**, 169-174.
- Richardson, JF., Harker, JH., Backhurst, JR. (2002). *Chemical engineering, Particle Technology and Separation Processes, volume 2, 5th edition*. Butterworth-Heinemann: Oxford.
- Treybal, R.E. (1981). *Mass Transfer Operation.third edition*, Mc Graw-HillBook Company, Singapore.
- Williams, CD., Roberts, CL. (2008). Removal of heavy metals from acid mine drainage (AMD) using coal fly ash , natural clinker and synthetic zeolites. *J. Hazardous Materials*, **156**, 23-35
- Yulianis, Muhammad, Pontas, Mariana, Mahidin. (2018). Characterization and activation of Indonesian Natural Zeolite from Southwest Aceh District – Aceh province. *IOP Conf. Series: Material Science and Engineering*. 358

