



AKTIVASI ZEOLIT ALAM SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT Mg, Al, dan ZnO MENGGUNAKAN LARUTAN NaOH

Widi Kapita Putri dan Sabani

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan,
Indonesia

wiwidkapitaputri@gmail.com

Diterima September 2018; Disetujui Oktober 2018; Dipublikasikan November 2018

ABSTRAK

Hasil zeolit alam yang berasal Tapanuli Selatan (Pahae) yang telah disintesis dengan metode kopresipitasi menggunakan variasi waktu yaitu variasi waktu 120,150, dan 180 menit menjadi nano zeolit. Nano zeolit tersebut kemudian dikarakterisasi dengan X-Ray Diffraction dan Scanning Electron Microscope- Energy Dispersion. Karakterisasi dengan menggunakan XRD bertujuan untuk menentukan kemurnian dari nano zeolit yang sudah disintesis. Adapun tujuan untuk penelitian ini adalah mengetahui ukuran zeolit, struktur morfologinya, luas permukaannya dan daya adsorpsi zeolit. Hasil karakterisasi dari X-Ray Diffraction menunjukkan bahwa ukuran diameter kristalin nano zeolit variasi waktu 120 menit, 150 menit, dan 180 menit adalah 28,57 nm, 37,18 nm, dan 45,53 nm. Hasil karakterisasi Scanning Electron Microscope-Energy Dispersion dari nano zeolit variasi waktu 120, 150 dan 180 menit menunjukkan bahwa terjadi pengurangan aglomerasi dan permukaan nano zeolit lebih halus. Hasil pengujian Surface Area Analyzer yang paling optimal terdapat pada waktu 150 menit dengan nilai 108.320 m²/g. Sedangkan perhitungan % kesalahan yang paling optimal pada waktu 120 menit dengan 9.1763%. Hasil analisis uji Atomic Adsorption Spectrofotometric menunjukkan bahwa penyerapan kandungan logam atau daya adsorpsi yang optimal yaitu pada logam Mg variasi waktu 180 menit adalah 99,99 % dibandingkan dengan penyerapan logam menggunakan zeolit waktu 150 menit dan 120 menit yaitu 99,95% dan 99,23%. Hasil karakterisasi dan pengujian dapat dijadikan acuan dalam mengukur potensi Zeolit Alam teraktivasi sebagai media adsorben. Maka dapat disimpulkan penggunaan zeolit sebagai adsorben mampu menyerap logam Mg secara optimal dengan nilai serap 99,99%.

Kata Kunci : Zeolit, Metode kopresipitasi, Adsorben

PENDAHULUAN

Logam berat umumnya didefinisikan sebagai logam dengan densitas, berat atom, atau nomor atom tinggi. Pada tingkat kadar yang rendah, beberapa logam berat umumnya dibutuhkan oleh organisme hidup untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya. Namun sebaliknya bila kadarnya meningkat, logam berat berubah sifat menjadi racun (Philips

1980). Logam berat masih termasuk dalam golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam yang lain, perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan masuk kedalam tubuh organisme hidup (Palar, 2004). Logam berat dalam jumlah berlebih menyebabkan terjadinya pencemaran dalam tanah. (Saeni, 2002) menjelaskan bahwa unsur-unsur logam berat

yang potensial menimbulkan pencemaran pada lingkungan adalah; Fe, As, Cd, Pb, Hg, Mn, Ni, Cr, Zn, dan Cu, karena unsur ini lebih ekstensif penggunaannya demikian pula dengan tingkat toksisitasnya yang tinggi.

Zeolit juga sering disebut sebagai molecular sieve atau molecular mesh (saringan molekul) karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekul sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Zeolit (Zeinlithos) atau berarti juga batuan mendidih, di dalam riset-riset kimiawan telah lama menjadi pusat perhatian. Setiap tahunnya, berbagai jurnal penelitian di seluruh dunia, selalu memuat pemanfaatan zeolit untuk berbagai aplikasi, terutama yang diarahkan pada aspek peningkatan efektivitas dan efisiensi proses industri dan pencemaran lingkungan (Sudarmono, 2010). Dalam bidang peternakan, zeolit berfungsi untuk meningkatkan nilai efisiensi nitrogen. Sedangkan aplikasinya pada bidang kimia dan industri antara lain zeolit digunakan sebagai katalis, sebagai panel-panel pada pengembangan energi matahari dan penyerap gas fenon. Aplikasi zeolit lainnya digunakan sebagai pengisi (filler) pada industri kertas, semen, beton, kayu lapis, adsorben dalam industri tekstil dan minyak sawit serta sebagai bahan baku pembuatan keramik (Khoirul, 2014).

(Atkins, 1999) menyatakan bahwa adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan oleh padatan tertentu terhadap zat tertentu yang terjadi pada permukaan zat oadat tanpa meresap ke dalam. Aktivasi secara fisika dilakukan melalui pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi, tujuannya untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pengasaman. Tujuannya untuk menghilangkan pengotor anorganik. Pengasaman ini akan menyebabkan terjadinya pertukaran kation dengan H^+ (Ertan, 2005).

Adsorpsi adalah suatu proses di mana suatu komponen bergerak dari suatu fasa menuju permukaan yang lain sehingga terjadi perubahan konsentrasi pada permukaan. Zat yang diserap disebut adsorbat sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben (Treybal, 1980). Penelitian terdahulu mengenai penyerapan logam berat

dalam air asam tambang dengan adsorben zeolit alam pernah dilakukan oleh (Motsi et al., 2009). Dalam penelitiannya menyatakan bahwa zeolit alam sebagai adsorben tanpa modifikasi kimia dapat menyerap logam Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , dan Mn^{2+} dalam air asam tambang, dilakukan dalam kondisi batch. Proses adsorpsi pada penelitian tersebut dengan variasi pengaruh tingkat pH, massa zeolit, ukuran partikel, dan temperatur. Zeolit alam memberikan hasil yang sangat baik dalam menyerap logam berat Zn^{2+} sebesar 67,8%, Fe^{2+} sebesar 59,9%, Cu^{2+} sebesar 56,8%, dan Mn^{2+} sebesar 18,9% pada air asam tambang.

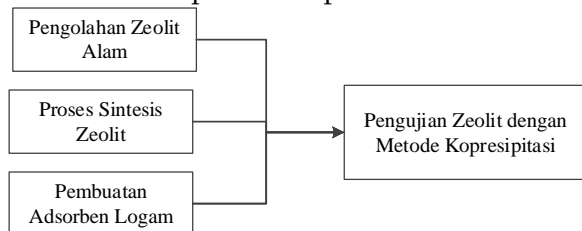
Nanopartikel adalah partikel yang berukuran antara 1-100 nm. Dalam nano teknologi suatu partikel didefinisikan sebagai objek kecil yang berperilaku sebagai satu kesatuan terhadap sifat dan transportasinya. Partikel diklasifikasikan menurut diameternya. Partikel ultrahalus serupa dengan nanopartikel dan berukuran antara 1-100 nm, partikel halus berukuran antara 100-2500 nm, dan partikel kasar berukuran antara 2500-10000 nm. Nanopartikel dapat didefinisikan sebagai partikel dengan berbagai bentuk yang memiliki ukuran dalam kisaran 1 sampai 1000 nm (Jonassen, 2014).

Salah satu cara untuk mengatasi pencemaran logam Mg dan ZnO adalah dengan menggunakan zeolit alam. Zeolit secara umum digunakan sebagai katalis dalam berbagai reaksi-reaksi katalis asam. Zeolit dengan pori-pori dan struktur yang unik mampu menstransfer panas dan mampu menjadi katalis yang bersifat selektif melalui pori-pori terhadap beberapa ukuran molekul tertentu saja. Penelitian ini dilakukan untuk mengaktivasi zeolit alam agar lebih optimal dan efisien kinerjanya sebagai adsorben. Kemudian juga dilakukan uji adsorpsi untuk menghilangkan polutan seperti Mg dan ZnO. Adsorpsi dipilih sebagai metode yang paling baik karena efisien dan mudah dilakukan. Metode adsorpsi merupakan metode alternatif untuk meminimalisir keberadaan polutan dalam lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap zeolite alam dalam berbagai variasi waktu yang berbeda-beda.

Prosedur yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Prosedur Penelitian

PENGOLAHAN ZEOLIT ALAM

1. Zeolit dikeringkan didalam furnace secara bertahap, dengan pemanasan pertama 200 °C selama 30 menit, pemanasan kedua suhunya dinaikkan sampai 400°C selama 30 menit, dan pemanasan ketiga suhunya dinaikkan sampai 600°C selama 1 jam, yang bertujuan untuk menghilangkan kadar air didalam zeolit sehingga mempermudah proses penggerusan.
2. Zeolit digerus dengan menggunakan mortal bertujuan untuk menghancurkan batu zeolit lalu diayak dengan ayakan 200 mesh.
3. Serbuk zeolit di ball mill dengan ball milltype planetary ball mill selama 2 jam dengan putaran 400 rpm dan diayak dengan ayakan 200 mesh sehingga menghasilkan powder zeolit.
4. Powder zeolit yang sudah di ball mill dikarakterisasi dengan SEM-EDX dan XRD.

PROSES SINTESIS ZEOLIT

1. Powder zeolit hasil ayakan sebanyak 20 gr ukuran 200 mesh dimasukkan ke dalam gelas beaker, lalu dilarutkan dalam HCl 12 M 100 ml kemudian dipanaskan dalam magnetic stirrer pada suhu 70 °C- 90°C selama 120, 150, dan 180 menit.
2. Kemudian distirrer pada suhu 70 – 90°C selama 120, 150, dan 180 menit dengan kecepatan 350 rpm.
3. Mencuci larutan dengan aquades secara berulang-ulang sampai pH netral.
4. Larutan dikeringkan didalam oven selama 5 jam dengan suhu 100 °C.

5. Endapan yang telah kering digerus dengan menggunakan mortar sehingga berbentuk powder.
6. Powder zeolit dikalsinasi pada furnace dengan suhu 600°C.
7. Setelah dikalsinasi , powder zeolit di milling menggunakan ball mill dengan kecepatan 100 rpm selama 30 menit, dan diayak sehingga menghasilkan nanozeolit.
8. zeolit dengan pelarut HCL diuji dengan SEM-EDX, XRD, dan SAA.

PEMBUATAN ADSORBEN LOGAM

1. Menimbang logam berat Mg, Al, dan ZnO masing-masing 0,2 gram lalu dituang ke dalam gelas beaker yang berisi 1200 ml aquades lalu distirrer pada suhu ruangan dengan putaran 300 rpm sampai teraduk rata.
2. Menimbang masing-masing ukuran zeolit hasil pelarut HCL sebanyak 1 gram.
3. Larutan dituang sebanyak 300 mL ke masing-masing 3 gelas beaker yang telah berisi zeolit dan 1 gelas beaker tanpa zeolit sebagai indikator.
4. Larutan yang telah dicampur zeolit distirrer pada suhu ruangan dengan putaran 300 rpm selama 1 jam. Larutan yang dicampur dengan zeolit disaring dengan kertas whattman untuk memisahkan antara larutan dan bahan adsorben.
5. Kemudian hasil saring larutan logam berat dilakukan pengujian AAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis nanozeolit dilakukan melalui beberapa tahapan yang meliputi preparasi zeolit alam, setelah itu mensintesis zeolit yang sudah berukuran nano, pembuatan adsorben dengan logam Al, ZnO, Mg, dan karakterisasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu lama kontak optimum terhadap nanozeolit yang dihasilkan. Sampel hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) untuk memperoleh informasi mengenai tentang ukuran partikel, serta kemurnian dari nanozeolit. Karakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk mengetahui

morfologi dari sampel nanozeolit yang sudah disintesis. Karakterisasi menggunakan metode Surface Area Analyzer (SAA) bertujuan untuk mengetahui luas permukaan dari zeolit yang digunakan. Karakterisasi menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) adalah suatu alat yang digunakan pada metode analisis untuk penentuan unsur-unsur logam dan metaloid yang berdasarkan pada penyerapan absorpsi radiasi oleh atom bebas.

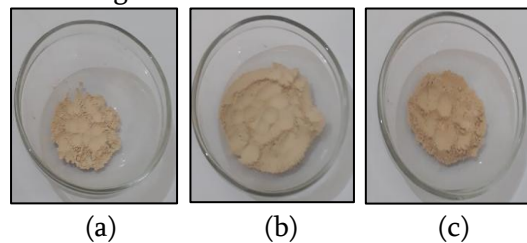
Zeolit alam yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah Pahae, Kabupaten Tapanuli Selatan. Zeolit yang masih berupa bongkahan di furnace terlebih dahulu dengan suhu sebesar 600°C selama 4 jam. Bongkahan zeolit digerus di mortal lalu diayak dengan ayakan 200 mesh. Hasil ayakan di milling di planetary ball mill dengan kecepatan 300 rpm selama 2 jam sehingga menghasilkan powder zeolit.



Gambar 2. Powder Zeolit

Sintesis nanozeolit dilakukan dengan menggunakan metode kopresipitasi, bahan yang digunakan yaitu batu alam zeolit sebagai bahan utama pembuatan sampel. Pada penelitian ini digunakan tiga variasi waktu yaitu pada waktu 120 menit, 150 menit, dan 180 menit. Metode kopresipitasi merupakan cara mudah untuk mensintesis nanopartikel magnetik dari larutan garam. Hal ini dilakukan dengan penambahan basa dibawah atmosfer inert pada suhu kamar atau pada suhu tinggi (Faraji et al., 2010). Adapun kelebihan dari metode kopresipitasi adalah tekniknya yang ekonomis, biaya yang tidak terlalu mahal dan beberapa variasi kondisi dapat dipilih mulai dari suhu, pH, agen pengendap dan sebagainya. Metode kopresipitasi atau pengendapan dilakukan dengan menambahkan

larutan pengendap pada pH larutan yang mengandung prekursor material pendukung dan katalis, sehingga terbentuk spesi logam hidroksida yang akan bereaksi dengan gugus hidroksil permukaan yang diikuti dengan lepasnya molekul air. Metode ini umumnya digunakan untuk memperoleh distribusi fasa aktif yang sangat seragam (Nurhayati, 2008). Proses pembuatan sintesis nanozeolit ini menggunakan batu zeolit alam yang disintesis dengan metode kopresipitasi dimana waktu dibuat bervariasi yaitu 120 menit, 150 menit dan 180 menit dengan menggunakan larutan HCL dan NAOH. Tujuan dilakukan variasi waktu adalah untuk mengetahui nano zeolit pada waktu berapa menit yang optimal dalam penyerapan ion logam berat, luas permukaan area yang paling besar. Hasil nanozeolit dengan variasi waktu adalah sebagai berikut.



Gambar 3. NanoZeolit variasi waktu: (a) 120 menit, (b) 150 menit, dan (c) 180 menit

Hasil Karakteristik *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Morfologi permukaan dari suatu material dapat dilihat melalui karakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). Karakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah untuk mengetahui struktur morfologi dari suatu material. Melalui analisis SEM dapat diketahui ukuran partikel sampel dengan suatu perbesaran tertentu, selain itu komposisi dari material dapat ditentukan melalui alat EDS yang menyatu dengan alat tersebut. Partikel nanozeolit dengan metode kopresipitasi pada waktu 120 menit optimal dalam mengecilkan ukuran diameter partikel sedangkan ukuran dari nanozeolit pada waktu 150 menit sedikit lebih besar dari nanozeolit 180 menit. Ukuran diameter partikel yang mengecil disebabkan oleh karena reaksi asam (HCL, dan NA4OH), karena selain sebagai pembersih pengotor pada partikel zeolit juga bersifat menghancurkan partikel sehingga membuat

ukuran partikel menjadi lebih kecil. Pengotor yang larut karena reaksi asam menyebabkan pori-pori lebih terbuka sehingga luas permukaan area nano zeolit tersebut menjadi lebih besar (Filayati, 2012).

Tabel 1.Estimasi ukuran diameter partikel uji SEM

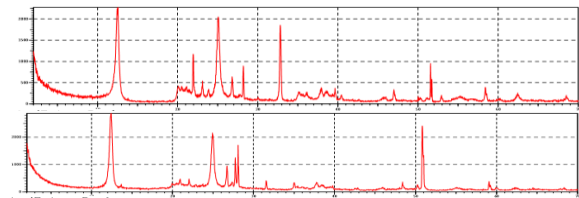
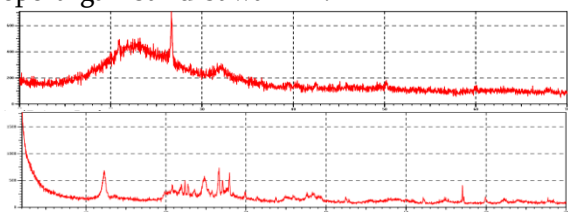
No	Nama Sampel	Ukuran Diameter Partikel (nm)
1	Powder Zeolit milling	102.87
2	Zeolit waktu 120 menit	58.42
3	Zeolit waktu 150 menit	41.26
4	Zeolit waktu 180 menit	76.43

Hasil Karakteristik XRD (X-Ray Diffraction)

Karakterisasi nanozeolit dilakukan dengan menggunakan instrumentasi X-Ray Diffraction (XRD) pada variasi waktu 120 menit, 150 menit dan 180 menit. Karakterisasi dengan menggunakan XRD bertujuan untuk menentukan kemurnian dari nanozeolit yang sudah disintesis dengan cara mengidentifikasi agar dapat mengetahui jenis-jenis mineral dan partikel yang tersusun dalam sampel.

Metode Difraksi sinar-X merupakan suatu metode analisis yang didasarkan pada interaksi antara materi dengan radiasi elektromagnetik sinar-X (mempunyai $\lambda = 0,5-2,5 \text{ \AA}$ dan energi $\pm 107 \text{ eV}$), yakni pengukuran radiasi sinar-X yang terdifraksi oleh bidang kristal (Endang Tri Wahyuni, 2003).

Karakterisasi XRD menggunakan alat XRD type Shimadzu dengan panjang gelombang $K\alpha$ 1,541862 \AA dan kecepatan (scan speed) sebesar 2,0000 deg/min. Hasil karakterisasi XRD seperti gambar dibawah ini.



Gambar 5.Hasil pola difraksi sinar X : (a) zeolitmilling, (b) zeolit 120 menit, (c) zeolit 150 menit, dan (d) zeolit 180 menit

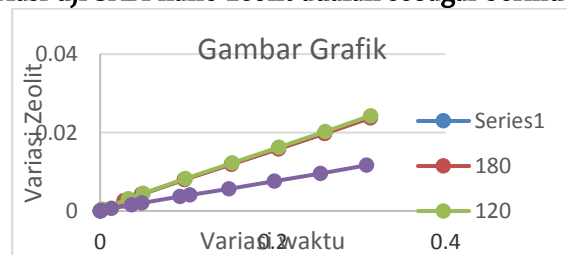
Tabel 2.Komposisi senyawa dari partikel analisis EDS

Unsur Kimia	Mass[%]			
	zeolit	Nanozeolit Waktu 120 menit	Nanozeolit Waktu 150 menit	Nanozeolit Waktu 180 menit
O	34.58	52.85	56.24	49.45
Al	32,86	18.71	4.41	12.54
Si	14.40	17.49	24.41	18.74
Fe	10.04	7.56	0.68	1.75
C	4,80	2.21	8.89	7.47
Cl	3,31	-	-	0.65
Ti	-	-	5.37	2.91
F	-	-	-	1.38

Hasil Karakterisasi Surface Area Analyzer (SAA)

Surface Area Analyzer berfungsi untuk menentukan diameter dan volume pori, serta luas permukaan spesifik material. Berdasarkan prinsip adsorpsi desorpsi gas adsorbat. Mekanisme adsorpsi gas tersebut berupa penyerapan gas (nitrogen, argon dan helium) pada permukaan suatu bahan padat yang akan dikarakterisasi pada suhu tetap. Jika diketahui volume gas (nitrogen, argon, atau helium) yang dapat diserap oleh suatu permukaan padatan pada suhu dan tekanan tertentu dan diketahui secara teoritis luas permukaan dari satu molekul gas yang diserap, maka luas permukaan total padatan tersebut dapat dihitung.

Hasil uji SAA nano zeolit adalah sebagai berikut.



Gambar 6. Plot BET : Zeolit 120 menit, Zeolit 150 menit, Zeolit 180 menit

Hasil perhitungan Analisa BET pada surface area pada masing-masing ukuran nanozeolit adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Nilai Perhitungan Analisa BET

No	Sampel	W_m (m^2/g)	S_t (m^2/g)	$S(m^2/g)$ ()	% kesalahan
1	Nanozeoli t waktu 120 menit	13.28	52.615	531.46	8.9721
2	Nanozeoli t waktu 150 menit	27.345 2	108.32 0	1.094	8.9900
3	Nanozeoli t waktu 180 menit	13.51	53.526	540.66	9.1763

Hasil Karakterisasi Atomic Adsorption Spectrofotometric (AAS)

Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) adalah alat yang digunakan pada metode analisis untuk penentuan unsur-unsur logam dan metaloid yang berdasarkan pada penyerapan absorpsi radiasi oleh atom bebas. Prinsip dasar analisis pada alat ini adalah absorpsi energi radiasi elektromagnetik oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Banyaknya penyerapan radiasi kemudian diukur pada panjang gelombang tertentu menurut jenis logamnya (Darmono, 1995).

Tabel 4. Kandungan logam masing-masing nano zeolite

No	Sampel	Mg (mg/L)	Al (mg/L)	ZnO (mg/L)
1	Tanpa Indikator Zeolit	8.67	6.350	9.09
2	waktu 120 menit Zeolit	6.63	0.034	0.1221
3	waktu 150 menit Zeolit	0.4001	29.1	0.6814
4	waktu 180 menit	5.86	0.538	0.327

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa penyerapan maksimum terjadi pada logam Al pada waktu 150 menit dengan nilai serap 29,1 dan penyerapan yang terendah terjadi pada logam

ZnO pada waktu 120 menit dengan nilai serap 0,1221.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pembahasan yang telah dilakukan dari hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil XRD, diketahui ukuran masing-masing nanozeolit dengan variasi waktu 120 menit, 150 menit, dan 180 menit berturut-turut adalah 28.57 nm, 37.18 nm, 45.53 nm. Struktur kristal zeolit milling, nano zeolit 120 menit, nano zeolit 150 menit, nano zeolit 180 menit berturut-turut adalah trigonal, tetragonal, dan cubic.
2. Dari hasil analisis komposisi senyawa SEM-EDS diketahui bahwa zeolit yang diteliti adalah Cl-Zeolit dengan kandungan sebesar 3.31% pada zeolit milling. Unsur kimia yang paling banyak adalah adalah O, Al, dan Ti. Dan peningkatan kandungan unsur O pada nanozeolit.
3. Dari data yang diperoleh dengan analisa BET, luas permukaan area dari nano zeolit variasi waktu 120 menit adalah 47.801 m^2/g . Dari data yang diperoleh dengan analisa BET didapat luas permukaan area dari nano zeolit variasi waktu 150 menit adalah 119.02 m^2/g . Dari data yang diperoleh dengan analisa BET didapat luas permukaan area dari nano zeolit variasi waktu 180 menit adalah 58.934 m^2/g .
4. Hasil analisis uji AAS menunjukkan bahwa penyerapan terjadi pada logam Al pada waktu 150 menit dengan nilai serap 29,1 dan penyerapan yang terendah terjadi pada logam ZnO pada waktu 120 menit dengan nilai serap 0,1221.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkins, P.W. 1999 Kimia Fisika, Jilid 2, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- Ertan, A. And Ozkan. 2005. CO₂ and N₂ Adsorption on the acid (HCl, HNO₃, H₂SO₄) Treated Zeolites. Adsorption. 11. 152-156.

- Ertan, A., and Ozkan, 2005. CO₂ and NO₂ Adsorption On The Acid (HCl, HNO₃, H₂SO₄, and HPO₄) Treated Zeolites. Adsorption. Vol 11, 151-156.
- Jonassen, H; Treves, A; Kjoniksen A-L ; Smistad, G.; dan Hiorth, M. 2013. Preparation of Ionically Cross-Linked Pectin Nanoparticles in the Presence of Chlorides of Divalent and Monovalent Cations. *Biomacromolecules* 2013, 14, 3523-3531.
- Motsi, T., Rowson, N.A., Simmons, M.J.H., 2009. Adsorption of heavy metals from acid mine drainage by natural zeolite. *Int. J. Miner. Process.* 92, 42– 48. doi:10.1016/j.minpro.2009.02.005.
- Palar, H. 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta : Rineka Cipta.
- Philips JDH. 1980. Proposal for monitoring studies on the contamination of the east seas by trace metal and organochlorine. *South China Sea Fisheries Development and Coordinating Programme*. FAO/UNEP, Manila.
- Saeni, M.S. 1997. Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat dengan Analisis Rambut. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Ilmu Kimia Lingkungan FMIP A Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Saeni, M. S. 2002. Kimia Logam Berat. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Treybal, R.E., 1980. Mass-transfer operations, 3th ed. McGraw-Hill, Singapore.
- Rianto, L.B, Amalia, S., Khalifah, S.N., (2012), Pengaruh Impregnasi Logam Titanium Pada Zeolit Alam Malang Terhadap Luas Permukaan Zeolit, *Jurnal Teknik Kimia*, Vol.2 No.1
- Suharto. Ign. 2011. Limbah Kimia dalam Pencemaran Udara dan Air. Andi, Yogyakarta
- Sujatno, A., Salam, R., Banddriyana., Dimiyati A., (2015), Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium, *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, Volume 9, Nomor 2
- Susilo, H., (2016)., Pengaruh Konsentrasi NaOH pada Sintesis Nanosilika dari Sinter Silika Mata Air Panas Sentral, Solok Selatan, Sumatera Barat dengan Metode Kopersipitasi, *Jurnal Fisika Unand*, vol 5 no.4
- Trivana, L. 2013. Sintesis Zeolit X dan Nanokomposit Zeolit dari Kaolin dengan Sekam padi sebagai Sumber Silika. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Winarna., Skanna, R., Musafira., (2015), Analisis Kandungan Timbal Pada Buah Apel (Pyrus Malus.L) Yang Dipajangkan Di pinggir Jalan kota Palu Menggunakan Metode Spektrofotometri serapan Atom, *Online Jurnal of Natural Science* Vol 4(1) :32-45