



**STUDI ADSORPSI ION SENG (II) OLEH ZEOLIT ALAM
DAN ZEOLIT ALAM ASAM HIDROTERMAL
JENIS MORDENIT WONOSARI YOGYAKARTA**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Penyelesaian Program Sarjana Sains Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Oleh :

RITA PRATIWI KUSUMASARI

NIM : 991810301034



Madiah
Pembelian
: To 15 DEC 2003
No. Induk Fat

S
Klass
S46.66
KUS
S
C.1

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
NOVEMBER, 2003**

MOTTO

Dengan seni hidup menjadi indah, dengan ilmu hidup menjadi mudah, dan dengan agama hidup menjadi terarah dan bermakna (H.A. Mukti Ali).

Berkaryalah untuk duniamu seakan-akan engkau akan hidup selama-lamanya dan berkaryalah untuk akhiratmu seakan-akan engkau akan mati besok (Al-Hadist).

Manusia hidup adalah mati kecuali yang berilmu, orang yang berilmu adalah tidur kecuali yang mengamalkan ilmunya, orang yang mengamalkan ilmunya akan sia-sia kecuali yang ikhlas (Imam Syafi'i).

Orang berakal itu senantiasa membiasakan dengan dzikir dan fikir, dan dengan fikir atas dzikir sehingga mereka itu bertutur kata dengan hatinya, lalu hatinya bertutur kata dengan hikmah dan sholeh (Hasan Al-Basri).

Ingatlah lima perkara sebelum datang lima perkara yang lain, hidupmu sebelum matimu, kesehatanmu sebelum sakitmu, waktu luangmu sebelum datang sibukmu, remajamu sebelum datang hari tuamu dan kayamu sebelum datang melaratmu (Al-Hadist).

Milikilah cita-cita, raihlah dengan kerja keras dan jangan putus asa (Ita).

Karya Ilmiah ini Aku persembahkan untuk:

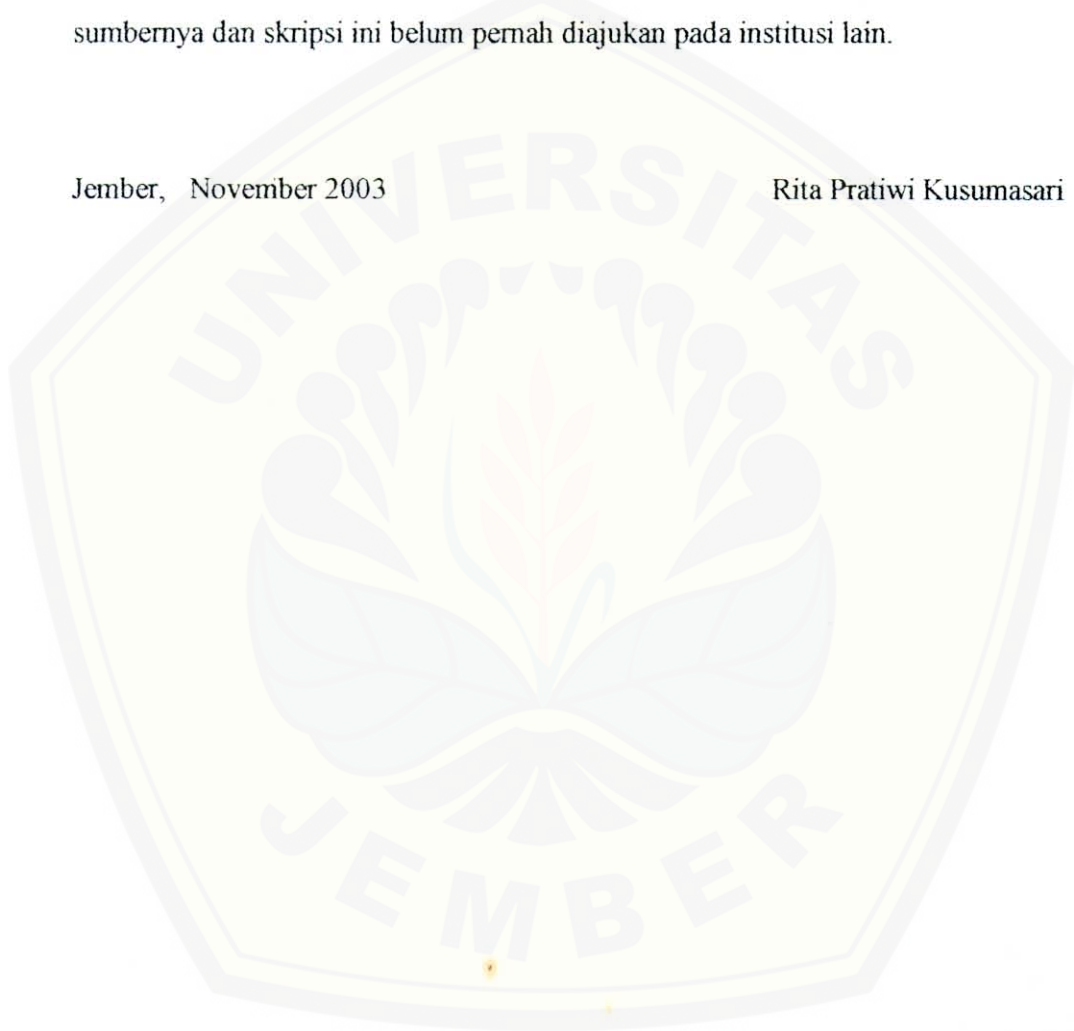
- ♥ *Allah SWT, syukur alhamdulillah atas segala limpahan Ridho dan Hidayah-Nya.*
- ♥ *Papa dan Mama tercinta (Soeparto dan Liliek Widarti), terima kasih atas kasih sayang, bimbingan, do'a dan motivasi baik moral maupun materiil untuk kesuksesan Ananda. Ananda takkan pernah bisa membalasnya terkecuali hanya dengan do'a.*
- ♥ *Adik-adik kecilku tercinta dan kubanggakan : dik Renni, dik Kiki dan dik Rike yang telah mendukung kuliah Kakak sepenuhnya, keceriaanmu semangat hidupku.*
- ♥ *Kakakku Heru Triyono dengan kesabaran dan kesetiaan menemani dedek, keberhasilanku juga karena semangat dan motivasi darimu terima kasih untuk semuanya.*
- ♥ *Bapak dan Ibu Wardi Setiyono, Mas Wiwin, Mbak Andri, Mbak Rina, dik Restu dan dik Sabrina terima kasih atas segala do'a dan dukungannya.*
- ♥ *Sahabat-sahabat baikku : Yayuk, Ila, Dewi, Lina dan Aam yang telah memberikan support untuk keberhasilanku, kebersamaan dengan kalian akan menjadi kenangan tersendiri dalam hidupku.*
- ♥ *Amira, Ika, Yuli dan Comel persaingan positif dengan kalian tidak akan aku lupakan selamanya.*
- ♥ *Teman-teman seperjuanganku Zeolita '99 (Chesti, Titik, Iyul, Iin, Bambang dan Joyo) terima kasih atas dukungan dan kerjasamanya saat penelitian dan melewati masa-masa sulit.*
- ♥ *Almamater dan teman-temanku angkatan '99 yang tidak bisa aku sebutkan satu per satu, terima kasih atas kerjasama, kebersamaan dan dukungannya.*

DEKLARASI

Skripsi ini hasil kerja/penelitian mulai bulan Maret 2003 sampai dengan September 2003 di Laboratorium Kimia Fisik dan Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember dan Laboratorium Tanah Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Jember. Bersama ini saya menyatakan bahwa isi skripsi ini adalah hasil penelitian saya sendiri kecuali disebutkan sumbernya dan skripsi ini belum pernah diajukan pada institusi lain.

Jember, November 2003

Rita Pratiwi Kusumasari



ABSTRAK

Studi Adsorpsi Ion Seng(II) oleh Zeolit Alam dan Zeolit Alam Asam Hidrotermal Jenis Mordenit Wonosari Yogyakarta, Rita Pratiwi Kusumasari, 991810301034, Skripsi, November 2003, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Proses adsorpsi ion seng(II) oleh zeolit alam (NZ) dan zeolit alam asam hidrotermal (H₅-NZA) dengan variasi temperatur dan konsentrasi telah diteliti. Tujuan penelitian ini untuk mempelajari karakter NZ dan H₅-NZA dan mempelajari pengaruh temperatur dan konsentrasi ion seng(II) terhadap kapasitas adsorpsi ion seng(II) oleh NZ dan H₅-NZA. Zeolit alam (NZ) merupakan zeolit setelah mendapat perlakuan aktivasi fisik saja, sedangkan zeolit alam asam hidrotermal (H₅-NZA) merupakan zeolit alam setelah mendapat perlakuan aktivasi fisik dan kimia. Perlakuan fisik yang diberikan melalui kalsinasi dengan gas N₂ dan oksidasi dengan gas O₂, sedangkan perlakuan kimia yang diberikan melalui perlakuan asam dan hidrotermal. Hasil penelitian menunjukkan karakter NZ dan H₅-NZA berbeda yaitu kandungan kation NZ lebih besar dibanding H₅-NZA dan keasaman NZ lebih kecil dibanding H₅-NZA. Hasil uji kapasitas adsorpsi menunjukkan bahwa temperatur optimum adsorpsi ion seng(II) oleh NZ pada 60°C dengan jumlah ion seng(II) teradsorpsi sebesar 6,80.10⁻⁴g/g pada konsentrasi awal 20 ppm, sedangkan temperatur optimum adsorpsi ion seng(II) oleh H₅-NZA pada 70°C dengan jumlah ion seng(II) teradsorpsi sebesar 2,22.10⁻³g/g pada konsentrasi awal 25 ppm. Adsorpsi ion seng(II) oleh NZ dan H₅-NZA mengikuti orde satu, dengan harga k_{ads} dan ΔH_{ads} untuk NZ dan H₅-NZA masing-masing sebesar 4,82.10⁻⁵, 18,77 kJ/mol dan 9,88.10⁻⁵, 8,40 kJ/mol.

Kata kunci : zeolit, adsorpsi, ion seng(II), konstanta kecepatan, entalpi

Skripsi ini diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada .

Hari : **JUM' AT**
Tanggal : ~~01~~ November 2003
Tempat : Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji


Ketua (Dosen Pembimbing Utama) Sekretaris (Dosen Pembimbing Anggota)

D. Setyawan P.H. S.Si, M.Si
NIP. 132 085 807



Dosen Penguji I

Dwi Indarti S.Si, M.Si
NIP. 132 257 934



Dosen Penguji II

Dis. Agus Abdul Gani, M.Si
NIP. 131 412 918



Dis. Achmad Sjaifullah, M.Sc
NIP. 131 592 358



Mengesahkan

Dekan FMIPA UNEJ



Ir. Sumadi, M.S
NIP. 130 368 784

KATA PENGANTAR

Dengan penuh rasa puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan taufik, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas skripsi ini dengan baik. Tugas skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar S1 pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Pada kesempatan ini perkenankanlah penulis menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dekan Fakultas MIPA Universitas Jember, Ketua Jurusan Kimia, Kepala Laboratorium Kimia Fisik beserta staf dan karyawan yang telah memberikan fasilitas baik tenaga, pikiran, tempat, bahan maupun alat sehingga tugas skripsi ini dapat diselesaikan, D. Setyawan Purwo Handoko, S.Si, M.Si sebagai pembimbing utama dan Dwi Indarti, S.Si, M.Si sebagai pembimbing anggota yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan saran selama penelitian dan penyusunan tugas akhir ini, Dosen Penguji yang telah meluangkan waktunya guna menguji serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini, serta segenap dosen-dosen Fakultas MIPA umumnya dan dosen-dosen FMIPA Jurusan Kimia khususnya yang telah membimbing selama proses pencapaian gelar S1 Universitas Jember.

Penulis menyadari bahwa dalam tulisan ini masih terdapat kekurangan dan dengan senang hati penulis akan menerima kritik dan saran demi penyempurnaan tugas akhir ini.

Jember, November 2003

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN MOTTO	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN DEKLARASI	iv
HALAMAN ABSTRAK	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
HALAMAN PENGANTAR	vii
HALAMAN DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Zeolit Alam	4
2.1.1 Keberadaan Zeolit Alam	4
2.1.2 Komposisi dan Struktur Zeolit Alam	6
2.1.3 Sifat dan Fungsi Zeolit	8
2.1.4 Aktivasi Zeolit	9
2.1.5 Karakterisasi Zeolit	11
2.2 Adsorpsi	17
2.3 Kapasitas Adsorpsi	18
2.3.1 Konstanta Kecepatan Adsorpsi (k_{ads})	18
2.3.2 Entalpi Adsorpsi (ΔH_{ads})	19
2.4 Logam Seng	19

2.4.1 Sifat Logam Seng	19
2.4.2 Penggunaan Seng	20
2.4.3 Logam Seng bagi Organisme	20
2.5 Spektroskopi Serapan Atom (SSA).....	21

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2 Sistematika Penelitian	24
3.3 Alat dan Bahan	24
3.3.1 Alat	24
3.3.2 Bahan	25
3.4 Prosedur Penelitian	25
3.4.1 Preparasi Zeolit Alam	25
3.4.2 Preparasi Zeolit Alam Asam Hidrotermal.....	25
3.4.3 Karakterisasi Zeolit Alam dan Zeolit Alam Asam Hdrotermal	26
3.4.4 Preparasi Larutan	28
3.4.5 Uji Kapasitas Adsorpsi.....	28

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Zeolit	30
4.1.1 Kation dalam Zeolit.....	30
4.2.2 Keasaman Zeolit.....	31
4.2 Kapasitas Adsorpsi Ion Seng(II) oleh Zeolit Alam (NZ) dan Zeolit Alam Asam Hidrotermal (H ₅ -NZA).....	32
4.2.1 Optimasi Waktu terhadap Adsorpsi Ion Seng(II) oleh NZ dan H ₅ -NZA	32
4.2.2 Pengaruh Temperatur dan Konsentrasi terhadap Adsorpsi Ion Seng(II) oleh NZ dan H ₅ -NZA.....	33
4.2.3 Penentuan Orde (n) dan k_{ads} (Konstanta Kecepatan Adsorpsi) NZ dan H ₅ -NZA	37
4.2.4 Penentuan ΔH_{ads} (Entalpi Adsorpsi) NZ dan H ₅ -NZA.....	41

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	43
----------------------	----

5.2 Saran..... 43

DAFTAR PUSTAKA..... 44



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis Zeolit Alam dengan Tahun Penemuannya.....	4
Tabel 2. Luas Permukaan Spesifik, Volume Total Pori dan Rata-rata Jari-jari Pori Zeolit.....	12
Tabel 3. Perbedaan Adsorpsi Fisik (Fisorpsi) dan Adsorpsi Kimia (Kemisorpsi)	17
Tabel 4. Sifat Logam Seng.....	20
Tabel 5. Penggunaan Seng dalam Pabrik.....	20



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Unit Pembangun Primer Struktur Tetraedral Zeolit.....	7
Gambar 2.	Unit Pembangun Sekunder Zeolit.....	7
Gambar 3.	Unit Pembangun Polihedral Zeolit.....	8
Gambar 4.	Perlakuan Termal terhadap Ammonium-Zeolit sehingga Diperoleh Bentuk H-Zeolit	13
Gambar 5.	Dehidrasi terhadap Kation Multivalen pada Zeolit sehingga Dihasilkan Situs Asam Bronsted.....	13
Gambar 6.	Dehidroksilasi Dua Gugus yang Berdekatan pada Temperatur Lebih Besar dari 477°C Dihasilkan Situs Asam Lewis	14
Gambar 7.	Mekanisme Pengukuran Logam Melalui Spektroskopi Serapan Atom (SSA).....	22
Gambar 8.	Kandungan Kation Na, Ca, Fe dan K dalam Zeolit	30
Gambar 9.	Keasaman Zeolit.....	31
Gambar 10.	Optimasi Waktu Adsorpsi NZ dan H ₅ -NZA terhadap Ion Seng(II) pada Konsentrasi 20 ppm dan t = 30°C.....	32
Gambar 11.	Pengaruh Temperatur terhadap Adsorpsi Ion Seng(II) oleh Zeolit Alam (NZ) pada Berbagai Konsentrasi.....	33

Gambar 12. Pengaruh Temperatur terhadap Adsorpsi Ion Seng(II) oleh Zeolit Alam Asam Hidrotermal (H ₅ -NZA) pada Berbagai Konsentrasi.....	33
Gambar 13. Perbedaan Temperatur Optimum NZ dan H ₅ -NZA	34
Gambar 14. Pengaruh Konsentrasi terhadap Adsorpsi Ion Seng(II) oleh Zeolit Alam (NZ) pada Berbagai Temperatur	36
Gambar 15. Pengaruh Konsentrasi terhadap Adsorpsi Ion Seng(II) oleh Zeolit Alam Asam Hidrotermal (H ₅ -NZA) pada Berbagai Temperatur	36
Gambar 16. Grafik Penentuan Orde dan $\ln k_{ads}$ Berbagai Temperatur pada NZ.....	38
Gambar 17. Grafik Penentuan Orde dan $\ln k_{ads}$ Berbagai Temperatur pada H ₅ -NZA	38
Gambar 18. Grafik Penentuan k_{ads} Maksimal NZ dan H ₅ -NZA	39
Gambar 19. Grafik Perbedaan k_{ads} Maksimal NZ dan H ₅ -NZA	40
Gambar 20. Grafik Penentuan ΔH_{ads} NZ	41
Gambar 21. Grafik Penentuan ΔH_{ads} H ₅ -NZA	41
Gambar 22. Grafik Perbedaan ΔH_{ads} NZ dan H ₅ -NZA.....	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Absorbansi Larutan Standar Na, Ca, Fe, K dan Zn	47
Lampiran 2. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Na, Ca, Fe, K dan Zn.....	48
Lampiran 3. Data Kandungan Kation (% <i>b/b</i>) Na, Ca, Fe, K dan Zn dalam Sampel Zeolit dan Keasaman Zeolit.....	50
Lampiran 4. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Zn untuk Proses Adsorpsi.....	51
Lampiran 5. Optimasi Waktu terhadap Adsorpsi Ion Seng(II) oleh NZ dan H ₅ -NZA.....	52
Lampiran 6. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Ion Seng(II) oleh NZ dan H ₅ -NZA dengan Variasi Temperatur dan Konsentrasi.	53
Lampiran 7. Pengaruh Temperatur dan Konsentrasi terhadap Adsorpsi Ion Seng(II) oleh NZ dan H ₅ -NZA	57
Lampiran 8. Penentuan Orde Adsorpsi Ion Seng(II) pada NZ dan H ₅ -NZA.....	58
Lampiran 9. Penentuan dan Perhitungan Entalpi Adsorpsi (ΔH_{ads}) NZ dan H ₅ -NZA.....	60
Lampiran 10. Gambar Alat Penelitian.....	61



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam seng merupakan logam esensial yang sangat dibutuhkan organisme dalam jumlah sedikit, kelebihan logam seng membahayakan karena justru bersifat toksik (Darmono, 1995). Pengurangan konsentrasi logam seng dapat dilakukan dengan penggunaan zeolit sebagai adsorben. Proses adsorpsi logam seng oleh zeolit dipengaruhi oleh jenis adsorben, jenis adsorbat, luas permukaan adsorben, ukuran partikel adsorben, konsentrasi adsorbat dan temperatur (Soekardjo, 1985).

Setiap jenis zeolit memiliki karakter tertentu, sehingga kapasitas adsorpsi sangat bergantung pada karakter. Parameter karakter zeolit antara lain kandungan kation dan keasaman. Kapasitas adsorpsi selain ditentukan oleh jenis zeolit juga dipengaruhi oleh temperatur adsorpsi dan konsentrasi ion seng(II).

Berdasarkan uraian di atas perlu dipelajari kapasitas adsorpsi ion seng(II) oleh zeolit. Zeolit yang digunakan adalah zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal jenis mordenit dari Wonosari, Yogyakarta (Khairinal, 2000). Zeolit alam asam hidrotermal(H₅-NZA) merupakan zeolit alam sesudah aktivasi fisik dan kimia, yaitu melalui perlakuan pengasaman dan hidrotermal selama 5 jam, sebagai pembandingnya adalah zeolit alam (NZ) yang merupakan zeolit sesudah aktivasi fisik saja. Zeolit alam yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran partikel 80 mesh, karena hal ini didasarkan bahwa dengan ukuran tersebut, zeolit alam dapat mengadsorpsi paling besar (Hendri, 1991). Uji kapasitas adsorpsi zeolit ditentukan berdasarkan kemampuannya mengadsorpsi logam seng dalam bentuk ion divalen pada variasi konsentrasi ion seng(II) dan temperatur. Pemilihan dua variasi tersebut didasarkan adanya temperatur sistem yang berubah-ubah, terkadang di bawah dan di atas temperatur sistem, sedangkan pada konsentrasi di bawah 5 ppm masih terdapat kekurangan, yaitu kapasitas adsorpsi ion seng(II) tidak menunjukkan perbedaan dan jumlah ion seng(II) yang teradsorpsi tidak memperlihatkan penurunan yang tajam. Oleh karena itu, perlu dilakukan adsorpsi dengan konsentrasi ion seng(II) 5 ppm dan di atas 5 ppm (Husaini, 2000). Selain itu pemilihan variasi konsentrasi untuk mengetahui hasil

kapasitas adsorpsi dari penelitian ini layak atau tidak untuk dimanfaatkan pada proses penyerapan logam seng. Oleh karena itu, digunakan konsentrasi ion seng(II) dengan range 5 ppm dan di atas 5 ppm yang mengacu pada ambang batas logam seng dalam air limbah. Dari hasil yang diperoleh ini diharapkan sebagai sumbangan pemikiran upaya pengembangan dan pemanfaatan secara potensial zeolit yang memiliki nilai ekonomi tinggi di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka permasalahan yang diungkap dalam penelitian ini sebagai berikut.

- 1) Bagaimana karakter zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal ?
- 2) Bagaimana pengaruh temperatur dan konsentrasi ion seng(II) terhadap kapasitas adsorpsi ion seng(II) oleh zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal ?
- 3) Berapa orde (n), konstanta kecepatan adsorpsi (k_{ads}) dan entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) ion seng(II) oleh zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut.

- 1) Mempelajari karakter zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal.
- 2) Mempelajari pengaruh temperatur dan konsentrasi ion seng(II) terhadap kapasitas adsorpsi ion seng(II) oleh zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal.
- 3) Mendapatkan orde (n), konstanta kecepatan adsorpsi (k_{ads}) dan entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) ion seng(II) oleh zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan nantinya dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut.

- 1) Mengetahui pengaruh beberapa variabel yang mempengaruhi proses adsorpsi ion seng(II) oleh zeolit.

- 2) Sumber informasi proses adsorpsi ion seng(II) dengan memanfaatkan zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal sebagai adsorben.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

- 1) Karakter zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal yang dipelajari meliputi :
 - a. kandungan kation (Na, Ca, Fe, K dan Zn) dalam zeolit,
 - b. keasaman zeolit dilakukan secara gravimetri.
- 2) Logam yang digunakan logam Zn dalam bentuk ion divalen yaitu $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$.
- 3) Variasi konsentrasi ion seng(II) (5, 10, 15, 20, 25 dan 30 ppm) dan temperatur (30, 40, 50, 60, 70 dan 80°C).
- 4) Ukuran partikel zeolit alam yang digunakan 80 mesh.
- 5) Penentuan orde (n) dan konstanta kecepatan adsorpsi (k_{ads}) diperoleh melalui persamaan Freundlich.
- 6) Penentuan entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) diperoleh melalui persamaan van't Hoff.



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zeolit Alam

Dewasa ini pemakaian bahan zeolit alam sebagai adsorben dalam industri semakin meningkat, sejalan dengan aktivitas pertumbuhan IPTEK di Indonesia. Zeolit alam dapat digunakan berdasarkan pada berbagai sifat yang dimiliki, yaitu: daya adsorpsi, pertukaran ion, keasaman, luas permukaan dan beberapa sifat lain yang spesifik sebagai adsorben (Champbell, 1988).

2.1.1 Keberadaan Zeolit Alam

Zeolit alam pertama kali ditemukan tahun 1756 oleh seorang kolektor dan ahli mineralogi Swedia, Baron Alex Frederick Cronstedt. Zeolit merupakan jenis kristal dengan struktur molekul berongga yang pertama kali ditemukan di alam. Zeolit alam dengan kemurnian yang tinggi ditemukan pada tahun 1957 di daerah sebelah barat Amerika Serikat. Selama kurun waktu 25 tahun kemudian para ilmuwan telah berhasil meneliti sifat fisika dan kimia serta bentuk struktur kristal zeolit (Flanigen dalam Khairinal, 2000). Dalam perkembangannya saat ini telah dikenal 39 jenis zeolit alam (Hamdan, 1992). Berikut ini beberapa zeolit alam yang telah dilaporkan oleh Breck berdasarkan tahun penemuannya.

Tabel 1. Jenis Zeolit Alam dengan Tahun Penemuannya (Breck dalam Khairinal, 2000)

Jenis Zeolit	Tahun	Jenis Zeolit	Tahun	Jenis Zeolit	Tahun
Stilbit	1756	Filipsit	1824	Gonardit	1896
Natrolit	1758	Herskelit	1825	Dakiardit	1905
Kabasit	1772	Levinit	1825	Stelerit	1909
Harmotom	1775	Edingtonit	1825	Yugawaralit	1952
Analsim	1784	Mordenit	1864	Bikitait	1957
Laumontit	1785	Klinoptilolit	1890	Garonit	1962
Tomsonit	1801	Ofretit	1890	Barrerit	1972
Skolesit	1801	Erionit	1890	Massit	1974
Mesilit	1813	Keliolit	1893	Merlionit	1976

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika kompleks dari batu-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin sehingga terbentuk mineral-mineral zeolit (Barrer, 1978). Anggapan lain menyatakan proses terjadinya zeolit berawal dari debu-debu gunung berapi yang beterbangan kemudian mengendap di dasar danau dan dasar lautan. Debu-debu vulkanik tersebut selanjutnya mengalami berbagai macam perubahan oleh air danau atau air laut sehingga terbentuk sedimen-sedimen yang mengandung zeolit di dasar danau atau laut tersebut (Husaini dan Suyartono, 1992).

Jenis zeolit alam dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu :

- a) zeolit yang terdapat di antara celah-celah batuan atau di antara lapisan batuan
Zeolit jenis ini biasanya terdiri dari beberapa jenis mineral zeolit bersama-sama dengan mineral lain seperti kalsit, kwarsa, renit, klorit, fluorit dan mineral sulfida (Husaini dan Suyartono, 1992),
- b) zeolit yang berupa batuan
Hanya sedikit jenis zeolit yang berbentuk batuan, diantaranya adalah: klinoptilolit, analsim, laumontit, mordenit, filipsit, erionit, kabasit dan heulandit (Husaini dan Suyartono, 1992).

Berdasarkan proses terbentuknya zeolit alam (batuan zeolit) dapat diklasifikasikan menjadi kelompok-kelompok, yaitu :

- 1) mineral zeolit yang terbentuk dari aktivitas hidrotermal yang melibatkan reaksi antara air dan aliran lava,
- 2) mineral zeolit yang terbentuk dari sedimen-sedimen vulkanik yang ada di dalam lingkungan danau air asin,
- 3) mineral zeolit yang terbentuk dari sedimen-sedimen vulkanik yang ada di dalam lingkungan danau air tawar,
- 4) mineral zeolit yang terbentuk dari material-material vulkanik yang ada di dalam tanah yang bersifat alkali,

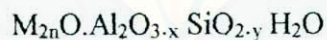
- 5) mineral zeolit yang terbentuk dari perubahan hidrotermal dari sedimen-sedimen yang ada di laut,
- 6) mineral zeolit yang terbentuk karena proses metamorfosa berderajat rendah (Barrer, 1982).

Zeolit yang ditemukan di Indonesia, komposisi mineralnya bervariasi menurut wilayah penambangannya. Dari sebelas lokasi yang diteliti, zeolit alam Indonesia dapat dibagi berdasarkan komposisi mineral penyusunnya, yaitu :

- 1) zeolit yang tersusun dari mordenit yakni zeolit yang berasal dari Lampung, Bojong, Gunung Dewi, Wonosari dan Naga Panda,
- 2) zeolit yang tersusun dari campuran mordenit dan klinoptilotit yakni zeolit yang berasal dari Bayah, Cirangkasbitung-2, Nanggung, Cikembar dan Malang,
- 3) zeolit yang tersusun dari mordenit dengan sedikit klinoptilotit yakni zeolit yang berasal dari Cikalong,
- 4) zeolit yang tersusun dari klinoptilotit dengan sedikit mordenit yakni zeolit yang berasal dari Cirangkasbitung-1 (Husaini dan Suyartono, 1992).

2.1.2 Komposisi dan Struktur Zeolit Alam

Zeolit terdiri dari 3 komponen, yaitu : kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina silika dan air. Sutarti dan Rachmawati (1994) menuliskan rumus umum zeolit sebagai berikut.



dimana: M = kation alkali atau alkali tanah
 x = jumlah Al
 y = jumlah Si
 p = jumlah air kristal
 n = valensi logam alkali

Zeolit adalah mineral kristal alumina silika tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk oleh tetrahedral $[SiO_4]^{4-}$ dan $[AlO_4]^{5-}$ yang saling terhubungkan oleh atom-atom oksigen. Akhirnya membentuk kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga yang didalamnya terisi oleh ion-ion logam, biasanya adalah logam-logam alkali

atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Riberio dalam Khairinal, 2000).

Substitusi isomorfis Si^{4+} oleh Al^{3+} pada struktur zeolit memberikan muatan negatif pada oksigen kerangka. Sebagai kompensasinya, kation-kation monovalen atau divalen harus berada dalam saluran-saluran struktur kerangka sehingga mudah dipertukarkan dengan kation lain (Riberio dalam Khairinal, 2000). Kerangka zeolit dibagi menjadi tiga bagian, yaitu :

- 1) unit pembangun primer yang merupakan unit terkecil dari kerangka zeolit yang terdiri dari tetrahedral TO_4 ($\text{T} = \text{Si}$ atau Al) (Oudejans dalam Khairinal, 2000),



Gambar 1. Unit Pembangun Primer Struktur Tetrahedral Zeolit

- 2) unit pembangun sekunder merupakan gabungan dari dua, tiga atau lebih tetrahedral untuk membentuk cincin tunggal (Oudejans dalam Khairinal, 2000),



Gambar 2. Unit Pembangun Sekunder Zeolit

- 3) bangunan polihedral merupakan gabungan dari beberapa unit pembangun sekunder yang tersusun secara teratur. Unit pembangun sekunder ini membentuk polihedral-polihedral yang besar sebagai kristal zeolit. Struktur inilah yang menyebabkan zeolit mempunyai rongga-rongga dan kanal-kanal kosong cukup besar yang saling berhubungan ke segala arah, sehingga menyebabkan permukaan zeolit menjadi sangat luas. Dengan adanya rongga-

rongga dalam zeolit menjadikan zeolit dapat dipakai sebagai adsorben (Oudejans dalam Khairinal, 2000).*



Gambar 3. Unit Pembangun Polihedral Zeolit

2.1.3 Sifat dan Fungsi Zeolit

Sifat dan fungsi zeolit ada bermacam-macam sebagai berikut.

a) Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit akan mempertinggi aktivitasnya sebagai adsorben. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan efektif berinteraksi dengan molekul yang akan diadsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang terbentuk bila unit sel kristal zeolit tersebut dipanaskan (Sutarti dan Rachmawati, 1994).

b) Adsorpsi

Sifat adsorpsi disebabkan oleh adanya perbedaan ukuran kanal dan rongga pada struktur zeolit. Kapasitas serapan adsorpsi zeolit berhubungan dengan ruang kosong dalam zeolit, dimana lebih dari 50% ruang kosong dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila kristal zeolit dipanaskan pada temperatur 500-550°C, air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan (Hamdan, 1992).

Berbagai jenis kation dengan ukuran ion saling beragam teradsorpsi pada permukaan-permukaan zeolit. Kation-kation yang telah terserap dapat digantikan oleh kation-kation lain melalui suatu proses pertukaran kation (Sasongko, 1995).

c) Pertukaran Ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung pada ukuran dan muatan ion. Pertukaran kation dengan kation lain yang berbeda ukuran dan muatannya akan mempengaruhi ukuran pori zeolit (Sutarti dan Rachmawati, 1994).

d) Aktivitas Katalisis

Aplikasi zeolit yang tidak kalah pentingnya adalah sebagai katalis heterogen. Katalis zeolit berbeda dengan jenis katalis padatan lainnya, dikarenakan situs aktif katalitik zeolit terdistribusi seragam pada sebagian besar padatan (Sutarti dan Rachmawati, 1994).

e) Penyaring/Pemisah Molekul (*Molecular Sieving*)

Meskipun banyak media berpori yang dapat digunakan sebagai penyaring/pemisah campuran uap atau cairan, tetapi distribusi diameter dan pori-pori media tersebut tidak cukup selektif, seperti halnya penyaring molekul zeolit yang mampu memisahkan berdasarkan perbedaan ukuran dari molekul yang dipisahkan. Molekul yang berukuran lebih kecil dapat melintas sedangkan molekul yang berukuran lebih besar akan tertahan atau ditolak (Sutarti dan Rachmawati, 1994).

2.1.4 Aktivasi Zeolit

Cara aktivasi zeolit meliputi pertukaran ion, kalsinasi, oksidasi, dealuminasi dan substitusi isomorfis (Hamdan, 1992).

a. Pertukaran Ion

Pertukaran ion dalam zeolit merupakan proses pertukaran kation pada sistem pori dalam kristal dengan kation lain dari suatu larutan pada keadaan setimbang (Nurhadi, 1999) :



Tujuan dari pertukaran ion dalam zeolit adalah :

1) mengaktivasi pori zeolit

Besar pori zeolit dapat diaktivasi dengan kation monovalen yang mempunyai ukuran berbeda atau dengan menurunkan sejumlah kation dengan menukarkan kation bervalensi lebih tinggi. Perubahan ukuran pori dalam mengaktivasi zeolit mempunyai efek yang besar terhadap penyaringan molekuler (*molecular sieving*) dari zeolit,

2) meningkatkan kestabilan zeolit,

3) meningkatkan aktivitas adsorpsi dari suatu spesies dalam zeolit

Dalam pemanfaatan zeolit sebagai adsorben, kation-kation yang ada setelah sintesis telah tertukar oleh kation lain (Nurhadi, 1999).

b. Kalsinasi dan Oksidasi

1) Kalsinasi

Kalsinasi merupakan perlakuan termal untuk menghilangkan senyawa organik dan uap air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit. Kalsinasi biasanya dilakukan pada temperatur 500-550°C dalam suatu tanur dengan dialiri gas inert seperti nitrogen. Penggunaan gas nitrogen dimaksudkan agar kalsinasi lebih sempurna dan tidak terjadi reaksi lain yang tidak diinginkan selama kalsinasi (Trisunaryanti, 1991).

Perlakuan pemanasan pada zeolit akan merubah struktur padatan zeolit. Pada umumnya yang telah dikalsinasi akan memiliki jumlah pori yang lebih besar dan mengalami kenaikan luas permukaan (Hendri, 1991).

2) Oksidasi

Proses oksidasi pada zeolit dimaksudkan untuk menghilangkan sisa-sisa karbon (*carbon deposit*) yang terbentuk karena adanya penyerapan senyawa-senyawa organik selama proses pembentukan zeolit di alam (Trisunaryanti, 1991).

c. Perlakuan Asam

Perlakuan asam terhadap zeolit pada dasarnya untuk meningkatkan rasio Si/Al. Selama perlakuan asam, larutan yang dapat digunakan, yaitu : HF dan HCl. Perendaman zeolit dalam larutan HF akan membersihkan pori-pori dan

permukaan zeolit dari pengotor-pengotor atau kation-kation yang dapat larut. Perendaman zeolit dalam larutan HF dilakukan pada konsentrasi yang rendah dan dalam waktu yang singkat, karena HF sangat sensitif terhadap kerangka zeolit, sehingga merusak struktur kerangka lain yang tidak diinginkan. Larutan HCl dapat menyebabkan dealuminasi karena HCl dapat mengekstrak aluminium dari kerangka zeolit (Trisunaryanti, 1991).

d. Hidrotermal

Proses hidrotermal dilakukan dengan mengalirkan uap air pada temperatur kalsinasi (500-550°C) dengan waktu 5-24 jam melalui zeolit. Menurut Hamdan (1992), proses hidrotermal akan meningkatkan stabilitas zeolit pada temperatur tinggi.

e. Substitusi Isomorfis

Menurut Smith (1992), dalam kerangka zeolit kation dapat dipertukarkan atau disubstitusi tanpa merubah struktur kerangka (isomorfis) zeolit dan dapat menimbulkan gradien medan elektronik dalam kanal-kanal dan rongga-rongga zeolit (Nurhadi, 1999).

Molekul yang polar (misalnya amoniak atau air) akan berinteraksi lebih kuat dengan gradien medan elektronik intrakanal dan gradien medan elektronik intrakristal dibandingkan molekul-molekul non polar. Zeolit yang banyak mengalami substitusi kerangka isomorfis (rasio Si/Al rendah) akan memiliki medan elektronik lebih besar dibanding zeolit yang sedikit mengalami substitusi isomorfis, sehingga cenderung memilih molekul-molekul yang polar untuk diadsorpsi (Nurhadi, 1999).

2.1.5 Karakterisasi Zeolit

a. Luas Permukaan Zeolit

Kemampuan zeolit sebagai adsorben sangat erat kaitannya dengan pori dari permukaan zeolit. Penentuan pori suatu permukaan zeolit merupakan bagian yang cukup penting pada karakterisasi zeolit. Luas permukaan zeolit berperan dalam kaitannya dengan aktivitas adsorpsi. Semakin luas permukaan zeolit, maka

akan semakin banyak molekul pereaksi yang dapat teradsorpsi pada permukaan zeolit (Lowell and Shields, 1984).

Tabel 2. Luas Permukaan Spesifik, Volume Total Pori dan Rata-rata Jari-jari Pori Zeolit (Ato'Urochman, 2003)

Jenis Zeolit	Luas Permukaan Spesifik (m^2/g)	Volume Total Pori ($10^{-9} m^3/g$)	Rata-rata Jari-jari Pori ($10^{-10} m$)
NZ	24.7	26.554	21.54
H ₅ -NZA	180.39	103.175	11.438

Menurut Ato'Urochman (2003) bahwa semakin besar volume total pori dari zeolit maka akan berpengaruh pada meningkatnya luas permukaan zeolit. Meningkatnya LPS dan VTP zeolit ini diakibatkan terbukanya pori-pori yang semula tertutupi oleh pengotor melalui perendaman dengan larutan HF dan refluks dengan HCl, tetapi terjadi penurunan ukuran jari-jari pori.

b. Keasaman Zeolit

Untuk memahami keasaman, maka perlu diketahui dulu definisi asam-basa. Ada dua konsep utama yang menerangkan tentang asam-basa sebagai berikut.

1) Konsep Bronsted-Lowry

Bronsted dan Lowry secara terpisah pada tahun 1923 mendefinisikan bahwa asam adalah senyawa yang memiliki kecenderungan untuk menyumbangkan (donor) proton sehingga keasaman suatu padatan adalah kemampuan suatu padatan untuk memberikan proton. Basa adalah senyawa yang memiliki kecenderungan untuk menerima (akseptor) proton (Tan, 1998).

2) Teori Lewis

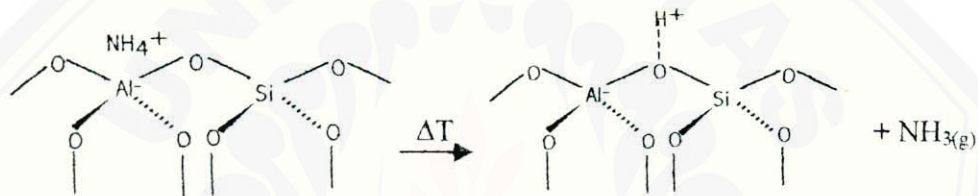
Menurut teori Lewis, asam adalah kemampuan suatu senyawa untuk menerima pasangan elektron. Basa adalah kemampuan suatu senyawa untuk melepas pasangan elektron (Tan, 1998).

Salah satu sifat penting zeolit adalah karakternya sebagai padatan asam. Munculnya sifat asam pada zeolit disebabkan adanya situs asam Bronsted dan asam Lewis yang terdapat dalam struktur kristal zeolit (Setiaji, 1990). Rasio Si/Al

dalam kerangka zeolit sangat menentukan keasaman zeolit (Oudejans dalam Khairinal, 2000).

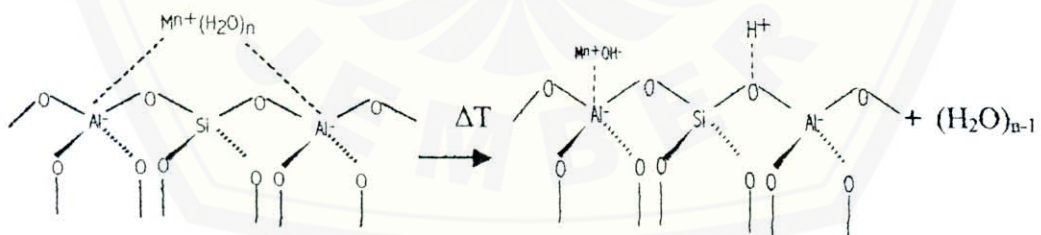
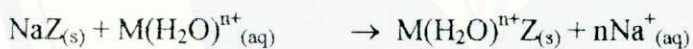
Untuk menerangkan letak gugus aktif atau *active site*, yakni asam Bronsted dan asam Lewis adalah sangat rumit. Konsep yang paling sederhana diperoleh dengan menghubungkan sifat permukaan padatan dengan adanya ikatan terhadap asam atau basa teradsorpsi. Zeolit digunakan secara luas sebagai adsorben logam berat pada produksi situs asam Bronsted dan adanya situs asam Lewis yang terdapat dalam pori zeolit (Smith, 1992). Situs asam tersebut disajikan pada Gambar 4, 5 dan 6.

Pertukaran ion amonium :

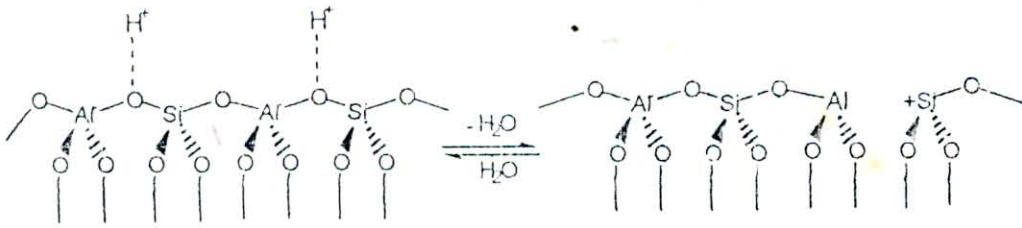


Gambar 4. Perlakuan Termal terhadap Ammonium-Zeolit sehingga Diperoleh Bentuk H-Zeolit

Pertukaran ion polivalen :



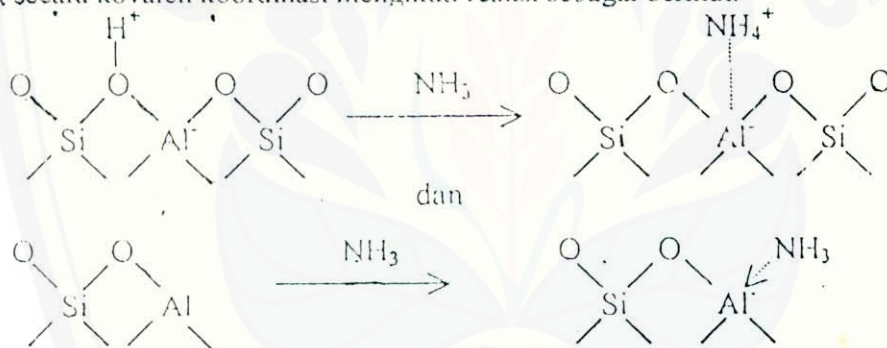
Gambar 5. Dehidrasi terhadap Kation Multivalen pada Zeolit sehingga Dihasilkan Situs Asam Bronsted



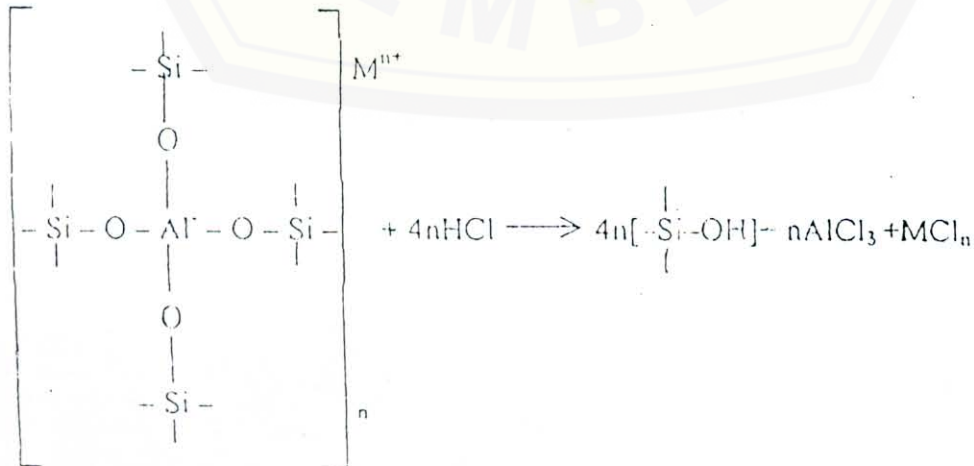
Gambar 6. Dehidroksilasi Dua Gugus yang Berdekatan pada Temperatur Lebih Besar dari 477°C Dihasilkan Situs Asam Lewis

Penentuan keasaman total suatu padatan dapat dilakukan dengan cara gravimetri. Dengan penimbangan dapat diketahui selisih berat antara berat padatan yang telah mengadsorpsi basa dengan sebelum mengadsorpsi basa, sehingga dapat dihitung jumlah asamnya (Prayitno, 1988).

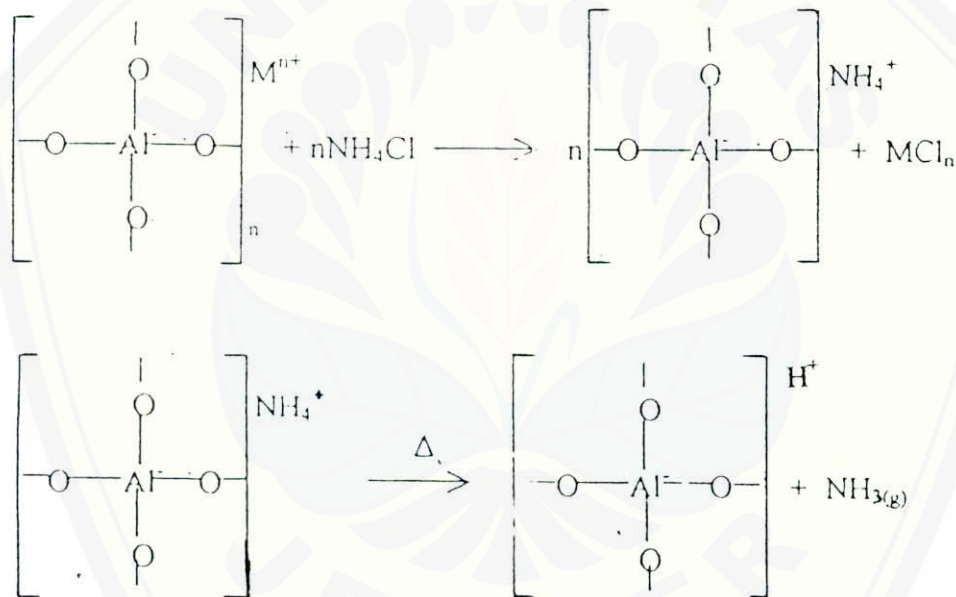
Amoniak akan berikatan secara kimia dengan gugus $-\text{OH}$ asam Bronsted membentuk kation yang terikat pada kisi zeolit dan dengan asam Lewis akan terikat secara kovalen koordinasi mengikuti reaksi sebagai berikut.



Perlakuan dengan HCl 6M akan benar-benar mengekstrak sejumlah Al dari kerangka *framework*, sehingga akan menghasilkan Al yang berada di *non-framework*. Reaksi pelepasan Al mengikuti reaksi sebagai berikut.

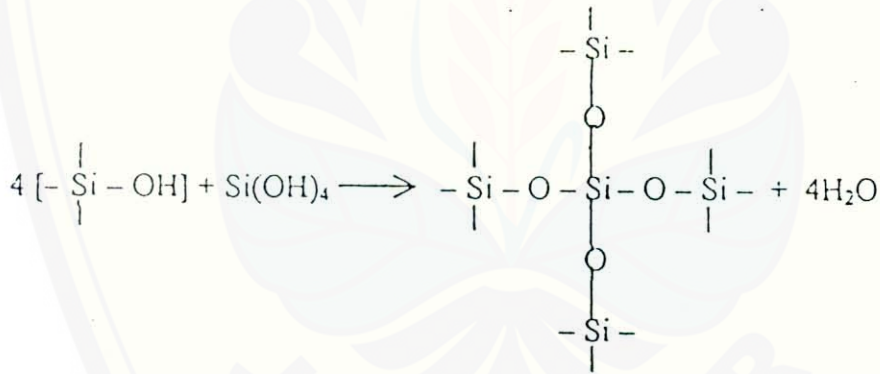
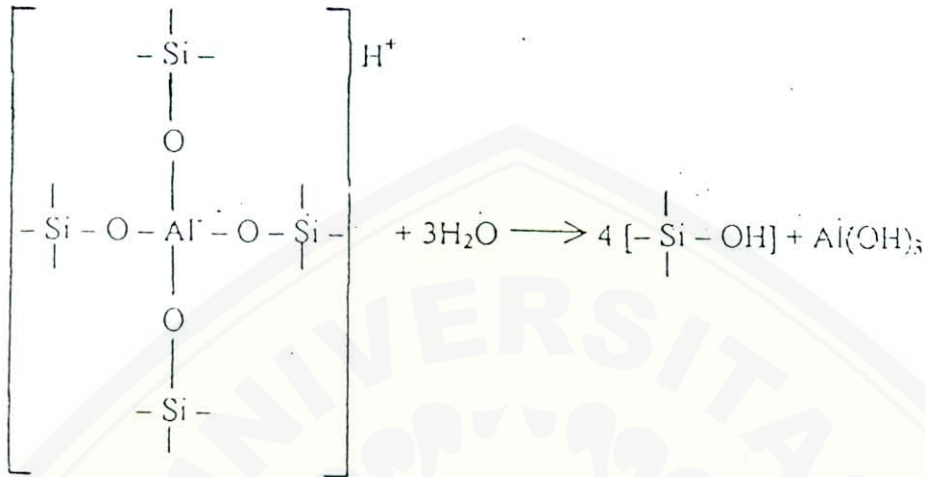


Perlakuan garam NH_4Cl setelah tahap refluks dengan HCl 6M, pada prinsipnya proses perolehan H-zeolit saja. Reaksi yang terjadi adalah reaksi pertukaran ion (*ion exchange*) antara kation logam yang ada di kerangka zeolit (alkali, alkali tanah) dengan NH_4^+ . Setyawan (2001) menyimpulkan bahwa perubahan ke bentuk H-zeolit merupakan proses pertukaran ion tanpa mengubah struktur silika-alumina dari zeolit. Bentuk H-zeolit tersebut diperoleh setelah pemanasan NH_4 -zeolit pada temperatur kalsinasi. Champbell (1988) menjelaskan bahwa perubahan NH_4 -zeolit menjadi H-zeolit adalah proses dekomposisi termal ion amoniumnya. H-zeolit yang dihasilkan akan memiliki keasaman yang lebih baik dibandingkan zeolit alam (NZ) yang hanya diaktivasi fisik saja. Naiknya keasaman zeolit konsisten dengan terbentuknya gugus $-\text{OH}$ asam Bronsted. Mekanisme pembentukannya sebagai berikut.



Pembuatan $\text{H}_5\text{-NZA}$ diperoleh dengan mengalirkan uap air pada temperatur kalsinasi (hidrotermal) ke dalam kerangka zeolit NZA. Dengan adanya uap air akan menghidrolisa atom Al menjadi hidroksidanya yang menempati struktur *non-framework*. Proses hidrotermal juga memungkinkan terjadinya pergeseran pengisian posisi atom Al yang meninggalkan *framework*

oleh atom Si. Pergeseran posisi atom Al dan Si ini juga diamati oleh Setyawan (2001) sebagai akibat labilnya kerangka oksigen. Mekanisme yang terjadi pada proses hidrotermal adalah sebagai berikut.



Tujuan akhir hingga tahap hidrotermal, pada dasarnya adalah untuk meningkatkan stabilitas zeolit terhadap termal.

c. Ukuran Pori

Ukuran pori merupakan faktor penting yang berperan dalam proses adsorpsi. Molekul dengan ukuran besar sulit masuk ke dalam pori atau ruang-ruang yang terdapat dalam zeolit (Smith, 1992).

Pori suatu padatan dibedakan menjadi tiga ukuran, yaitu (Smith, 1992) :

- 1) makropori dengan ukuran $d > 50 \text{ nm}$,
- 2) mesopori dengan ukuran $2 \leq d \leq 50 \text{ nm}$,
- 3) mikropori dengan ukuran $d < 2 \text{ nm}$

2.2 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu istilah yang diambil dari bahasa latin “sorbere”. Adsorpsi adalah proses penyerapan suatu zat pada permukaan (*surface*) atau *interface*. Zat yang diserap disebut *adsorbat* sedangkan permukaan yang menyerap disebut *adsorben*. Adsorpsi terjadi karena adanya interaksi gaya-gaya pada permukaan padatan dengan molekul-molekul adsorbat. Adsorpsi dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi fisik (*fisisorpsi*) dan adsorpsi kimia (*kemisorpsi*). Adsorpsi fisik adalah peristiwa interaksi gaya molekular, yaitu interaksi antara molekul-molekul gas dengan permukaan padatan yang bersifat reversibel, artinya semua molekul gas yang teradsorpsi secara fisik dapat dilepaskan kembali dengan cara menaikkan temperatur atau menurunkan tekanan. Proses adsorpsi kimia merupakan peristiwa interaksi orbital molekul pada permukaan padatan dengan molekul adsorbat dan bersifat irreversibel (Priatmoko, 2000). Untuk lebih jelasnya mengenai perbedaan diantara keduanya dikemukakan dalam tabel berikut ini :

Tabel 3. Perbedaan Adsorpsi Fisik (Fisisorpsi) dan Adsorpsi Kimia (Kemisorpsi)

Parameter	Adsorpsi Fisik	Adsorpsi Kimia
Panas adsorpsi (ΔH_{ads})	8 – 20 kJ/mol	40 – 800 kJ/mol
Residence time molekul adsorbat	Pendek	Sangat lama
Jumlah lapisan kontak (permukaan sentuh)	Dapat terdiri dari beberapa lapisan molekul	Hanya terdiri dari satu lapis (monolayer)

Sumber: Augustine, 1996

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, yaitu :

- a) jenis adsorben,
- b) jenis adsorbat,
- c) luas permukaan adsorben

Adsorpsi adalah gejala yang ditimbulkan pada permukaan, sehingga banyak sedikitnya zat yang dapat diadsorpsi tergantung pada luas permukaan adsorben.

Semakin besar luas permukaan, maka semakin banyak zat yang dapat diadsorpsi. Zat-zat pengadsorpsi ini pada umumnya berstruktur mikrokristal yang mempunyai permukaan pori-pori besar atau berupa serbuk, sehingga permukaannya luas (Barrer, 1978),

d) konsentrasi adsorbat

Jumlah zat yang teradsorpsi setiap berat adsorben, tergantung konsentrasi adsorbat. Semakin besar konsentrasi, maka semakin banyak jumlah zat yang teradsorpsi (Sasongko, 1995),

e) temperatur

Semakin tinggi temperatur, daya serapnya semakin besar, sehingga jumlah zat yang teradsorpsi semakin banyak (Soekardjo, 1985).

2.3 Kapasitas Adsorpsi

Untuk memahami fenomena orde, konstanta kecepatan adsorpsi dan entalpi adsorpsi ion logam oleh zeolit, maka diperlukan pengetahuan tentang kapasitas adsorpsi.

2.3.1 Konstanta Kecepatan Adsorpsi (k_{ads})

Proses adsorpsi yang dilakukan pada keadaan temperatur konstan disebut dengan *adsorpsi isotermis*. Adsorpsi isotermis dalam larutan encer oleh padatan dirumuskan Freundlich (1926) sebagai berikut :

$$\frac{x}{m} = kC^{1/n} \dots\dots\dots(1)$$

dengan: x = banyaknya adsorbat, C = konsentrasi adsorbat dalam larutan, m = banyaknya adsorben, n = orde dan k_{ads} = konstanta kecepatan adsorpsi.

Kurva menurut persamaan (1) biasanya parabola. Dengan merubahnya dalam bentuk ln, persamaan (1) berubah menjadi :

$$\ln x/m = 1/n \ln C + \ln k \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan (2) memberikan kurva garis lurus (Tan, 1998).

2.3.2 Entalpi Adsorpsi (ΔH_{ads})

Hubungan antara (ΔS), (ΔH) dan (ΔG) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \dots \dots \dots (3)$$

Penentuan entalpi adsorpsi yang dipengaruhi temperatur diturunkan dari persamaan :

$$K = e^{-\Delta G / RT} \dots \dots \dots (4)$$

Logaritma dari persamaan (4) :

$$\Delta G = -RT \ln K \dots \dots \dots (5)$$

Substitusi persamaan (3) pada persamaan (5) akan menghasilkan :

$$\ln K = -\frac{\Delta H_{ads}}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \dots \dots \dots (6)$$

Bila adsorpsi berlangsung pada temperatur yang tidak tetap dan ΔS konstan (perubahan sangat kecil), maka persamaan (6) jika diturunkan terhadap temperatur akan diperoleh :

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H_{ads}}{RT^2} \dots \dots \dots (7)$$

Persamaan (7) dikenal sebagai persamaan van't Hoff (Gasser, 1987). Konstanta kesetimbangan dikonversikan sama dengan konstanta kecepatan adsorpsi (Sparks and Jardine dalam Sasongko, 1995). Oleh karena itu, persamaan (6) ditulis kembali sebagai berikut (Sparks and Jardine dalam Sasongko, 1995) :

$$\ln k = -\Delta H_{ads} / RT + C \dots \dots \dots (8)$$

2.4 Logam Seng (Zn)

Seng merupakan logam berwarna putih kebiruan, mengkilap di udara kering dan agak mengusam di udara lembab, mudah ditempa dan diulur. Terbakar dengan nyala kebiruan dan membentuk oksida seng (ZnO). Unsur ini mempunyai kelimpahan relatif rendah secara alamiah, namun telah lama dikenal karena mudah diperoleh dari bijihnya (Cotton and Wilkinson, 1989).

2.4.1 Sifat Logam Seng

Seng mudah bereaksi dengan asam bukan pengoksidasi, melepaskan H_2 dan menghasilkan ion divalensi (Cotton and Wilkinson, 1989).



Tabel 4. Sifat Logam Seng (Cotton and Wilkinson, 1989)

Lambang	Zn
Nomor atom	30
Konfigurasi elektron	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ²
Massa atom relatif	65,39
Titik leleh (°C)	419,58
Titik didih (°C)	907
Kerapatan (g/cm ³)	6,7 - 7,2
Jari-jari ion Zn ²⁺ (nm)	0,074
Jari-jari atom (nm)	0,139

2.4.2 Penggunaan Seng

Seng dan aliasnya digunakan dalam cetakan logam. Seng oksida digunakan dalam pembuatan kosmetik, plastik, karet, salep kulit dan sabun serta pigmen dalam cat dan tinta. Seng sulfat digunakan dalam bidang pertanian (Cotton and Wilkinson, 1989).

Tabel 5. Penggunaan Seng dalam Pabrik (Cotton and Wilkinson, 1989)

Pabrik	Bentuk
Pengecoran logam	Alloy
Alat-alat mobil	Logam
Cat	Anorganik
Pestisida	Organik

2.4.3 Logam Seng bagi Organisme

Logam seng merupakan salah satu logam berat yang bersifat racun (toksik), dapat terakumulasi secara biologis dan mengalami proses pemekatan melalui rantai makanan (Moelyo, 1994). Sebagai logam berat, logam seng berbeda dengan logam-logam berat lainnya. Logam berat seng digolongkan dalam logam berat esensial artinya meskipun logam seng merupakan logam berat beracun, tetapi logam ini sangat dibutuhkan tubuh meski dalam jumlah yang sedikit. Logam seng juga bermanfaat dalam pembentukan haemosianin dalam sistem darah dan enzimatik pada hewan air. Oleh karena itu, logam seng termasuk dalam logam-logam esensial bagi manusia (Palar, 1994). Dalam kerak bumi logam seng termasuk dalam kelompok logam mikro (Darmono, 1995). Toksisitas yang

dimiliki oleh logam seng baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait (Palar, 1994).

Selain berbahaya bagi kesehatan, logam berat seng juga bersifat bakterisida yang dapat mengganggu proses biologi penguraian bahan-bahan organik limbah. Oleh karena itu proses penguraian bahan-bahan organik limbah oleh bakteri terhambat (Alfa, 1999).

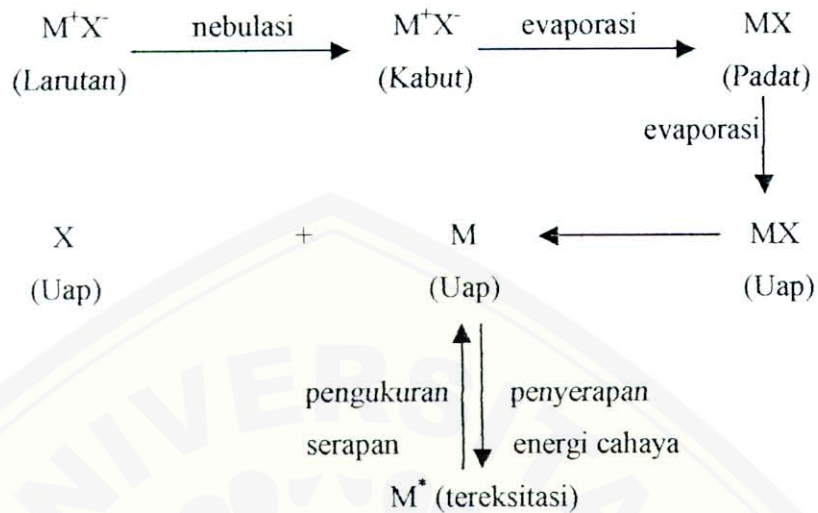
Menurut keputusan MENLH tentang baku mutu air limbah, ambang batas logam berat seng dalam air limbah adalah 5 mg/L. Dengan ambang batas logam berat seng tersebut menyebabkan keracunan dan kerusakan populasi pada lingkungan air. Logam seng akan terserap oleh hewan dan tumbuhan air, bila terakumulasi secara terus menerus logam tersebut akan tertimbun dalam jaringan tubuh. (Alfa, 1999).

2.5 Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

Spektroskopi Serapan Atom (SSA) adalah salah satu metode spektroskopi yang sering digunakan untuk analisis kuantitatif logam-logam. Pemakaian analisis dengan menggunakan SSA relatif sederhana karena untuk menganalisis beberapa logam dapat dilakukan dalam campuran dengan unsur-unsur logam lain tanpa dilakukan pemisahan dahulu (Zaenuddin, 1988).

Dalam proses analisa dengan SSA, terdapat tahapan atomisasi untuk pembentukan atom netral dalam wujud uap. Atomisasi terjadi melalui beberapa tahap, mula-mula larutan dikabutkan melalui nebulizer. Selanjutnya terjadi evaporasi pelarut menghasilkan sisa partikel yang halus pada nyala. Partikel ini berubah menjadi gas, selanjutnya sebagian atau seluruhnya mengalami dissosiasi menjadi atom-atom (Christian, 1994). Proses ini diakibatkan karena pengaruh langsung dari panas oleh substansi-substansi dalam nyala (Zaenuddin, 1988).

Berikut ini adalah ringkasan proses atomisasi dan penyerapan yang terjadi pada Spektroskopi Serapan Atom (SSA):



Gambar 7. Mekanisme Pengukuran Logam Melalui Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

Pada temperatur kamar semua atom logam dalam keadaan tingkat energi dasar (ground state). Jika atom-atom logam dalam wujud gas dikenai seberkas sinar dengan energi yang sesuai dengan energi yang diperlukan, maka logam-logam tersebut akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi (Zaenuddin, 1988). Di dalam nyala, atom-atom netral mampu menyerap (mengadsorpsi) energi cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai dengan besarnya energi transisi dari tingkat energi dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi (Christian, 1994).

Prinsip pengukuran SSA ini sama dengan spektroskopi lainnya, oleh karena pengukuran dengan metode SSA juga berlaku hukum Lambert-Beer yaitu :

$$A = a b c$$

Keterangan :

A = Absorban

a = Absorbtivitas Molar

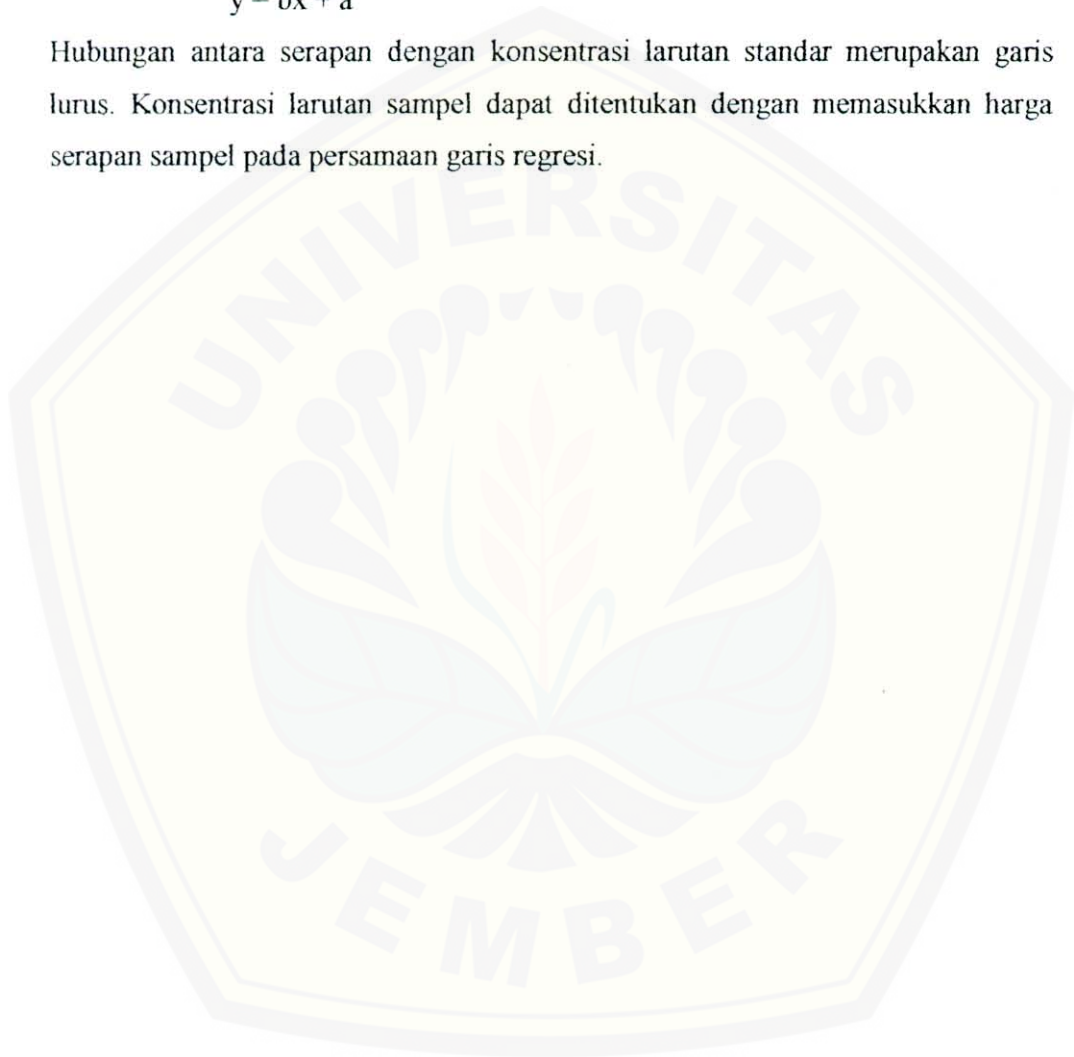
b = Koefisien absorbtivitas

c = Konsentrasi larutan (Molar)

Pengukuran kadar logam suatu sampel dapat dilakukan dengan perhitungan kurva kalibrasi atau kurva standar. Kurva standar dibuat dari larutan standar dengan konsentrasi yang sudah diketahui dan diukur serapannya pada kondisi sama. Dari serapan larutan standar diperoleh persamaan garis regresi dengan rumus :

$$y = bx + a$$

Hubungan antara serapan dengan konsentrasi larutan standar merupakan garis lurus. Konsentrasi larutan sampel dapat ditentukan dengan memasukkan harga serapan sampel pada persamaan garis regresi.



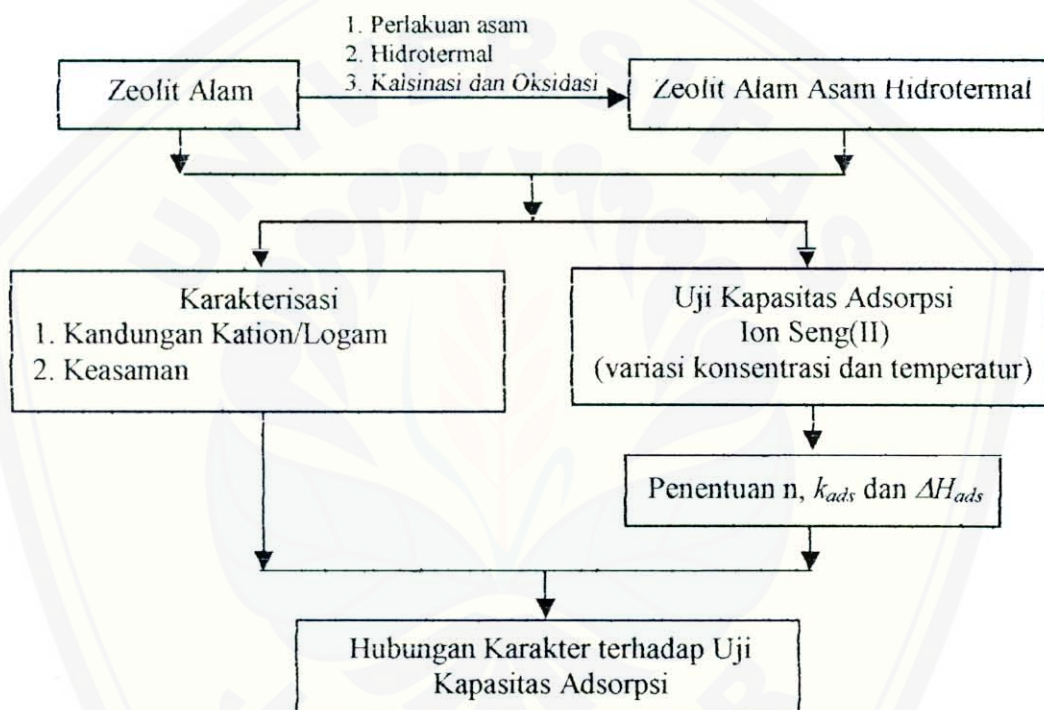


III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Fisik dan Kimia Analitik, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember dan Laboratorium Tanah Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Jember. Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret hingga bulan September 2003.

3.2 Sistematika Penelitian



3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah : beaker gelas pyrex (50 mL dan 100 mL dan 500 mL), labu ukur pyrex (25 mL, 100 mL, 500 mL dan 1000 mL), erlenmeyer pyrex (50 mL, 100 mL, 125 mL dan 250 mL), pipet volume pyrex (1 mL, 5 mL, 10 mL dan 25 mL), pipet mohr (1 mL dan 5 mL),

pipet tetes, mortar, cawan porselin, pengaduk kaca, botol semprot, desikator, ayakan mesh, flowmeter merk Y.Sanoyo YR-71, reaktor aktivasi, selang silikon, stirer magnetik, slide regulator Matsunaga 1,5 kV, filamen listrik 1000-1500 watt, penyaring *buchner*, corong, kondensor, krus porselin, AAS Digital merk Perkin Elmer 3310, labu leher tiga, termokopel merk Digi-Sense model No. 8528-10 (JTEK), *furnace*, pemanas listrik, neraca analitik Ohaus 4 digit, *vacuum drying oven* merk Selecta, wadah plastik, termometer, *water bath*.

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah : zeolit alam ukuran 80 mesh dari PT. Prima Zeolita Wonosari Yogyakarta, kristal $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 99% pa, NaCl 99% pa, KCl 99% pa, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 99% pa, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 99% pa, akuades, gas nitrogen dan gas oksigen dari CV Bukit Oksigen-Jember, kertas saring whatman, kertas trayek pH, *glass wool*, HNO_3 65% pa, HCl 37% pa, HF 35% pa, larutan amoniak 25% pa dan NH_4Cl 99% pa.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Zeolit Alam

Serbuk zeolit alam ukuran 80 mesh dari Yogyakarta direndam dalam akuades sambil diaduk dengan pengaduk besi selama 1 jam pada temperatur kamar. Kemudian campuran disaring dan endapan dikeringkan dalam oven pada temperatur $100^\circ C$ selama 3 jam. Kemudian endapan dihaluskan dengan cara digerus hingga diperoleh serbuk kembali. Selanjutnya dikalsinasi dengan dialiri gas nitrogen pada temperatur $500^\circ C$ selama 4 jam, dilanjutkan oksidasi dengan gas oksigen pada temperatur $400^\circ C$ selama 1,5 jam sehingga diperoleh zeolit alam (NZ) (Hendri, 1991). Set alat seperti pada lampiran 10.

3.4.2 Preparasi Zeolit Alam Asam Hidrotermal

a. Proses Pengasaman

Zeolit alam direndam dalam larutan HF 1% dengan perbandingan volume 1:2 dalam wadah plastik selama 10 menit pada temperatur kamar (Trisunaryanti, 1991). Kemudian campuran disaring dan dicuci berulang-ulang

dengan akuades sampai pH=6. Endapan zeolit alam kemudian direfluks menggunakan larutan HCl 6 M (perbandingan volume 1:2) selama 30 menit pada temperatur 90°C sambil diaduk, set alat refluks seperti pada lampiran 10. Setelah itu disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH=6, kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 130°C selama 3 jam dan dilanjutkan dengan penggerusan. Selanjutnya ditambahkan larutan NH₄Cl 0,1 M (perbandingan volume 1:2) lalu dipanaskan pada temperatur 90°C selama 3 jam setiap hari dan dilakukan secara berulang-ulang setiap hari dalam waktu satu minggu sambil digojok setiap satu jam selama pemanasan. Setelah itu disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH=6. Endapan dikeringkan dalam oven pada temperatur 130°C selama 3 jam. Setelah dingin dihaluskan dan diletakkan dalam cawan porselin lalu dipanaskan pada temperatur 500°C selama 4 jam dalam *Furnace* dan didinginkan kembali sehingga diperoleh Zeolit Alam dengan Pengasaman (Khairinal, 2000).

b. Proses Hidrotermal

Zeolit alam dengan pengasaman dihidrotermal pada temperatur 500°C selama 5 jam, set alat seperti pada lampiran 10. Hasil didinginkan dan dilanjutkan proses kalsinasi dengan gas nitrogen pada temperatur 500°C selama 4 jam, didinginkan dan dilanjutkan oksidasi dengan gas oksigen pada temperatur 400°C selama 1,5 jam. Selanjutnya didinginkan sehingga diperoleh Zeolit Alam Asam Hidrotermal (Setyawan, 2001).

3.4.3 Karakterisasi Zeolit Alam dan Zeolit Alam Asam Hidrotermal

Karakterisasi zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal meliputi penentuan kandungan kation (Na, Ca, Fe, K dan Zn) dan penentuan keasaman zeolit (Setyawan, 2001).

a. Penentuan Kandungan Kation

Penentuan kandungan kation dilakukan pada zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal dengan cara destruksi (dalam lemari asam). Zeolit sebanyak 0,2000 gram ditempatkan dalam krus porselin, lalu ditambahkan 2 mL akuaregia (HNO₃ pa : HCl pa = 1:3). Krus ditutup dan dipanaskan selama 30 menit. Lima menit kemudian ditambahkan larutan HF 4% sebanyak 0,5 mL dan dipanaskan

selama 15 menit. Kemudian ditambahkan 1 mL akuaregia dan larutan HF 4% sebanyak 0,25 mL lalu dibiarkan selama 10 menit. Setelah itu campuran tersebut dimasukkan ke dalam labu ukur 25 mL dan ditambahkan akuades sampai tanda batas. Kandungan kation dalam zeolit dianalisis menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (Trisunaryanti, 1991).

b. Penentuan Keasaman

Penentuan keasaman total zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal dilakukan secara gravimetri dengan mengalirkan gas NH_3 ke dalam pori-pori zeolit. Keasaman dapat ditentukan dari perbedaan sebelum dan sesudah mengadsorpsi NH_3 .

Zeolit sebanyak 0,5000 gram dipanaskan pada temperatur 115-120°C selama 2 jam, kemudian didinginkan dalam desikator. Zeolit ditimbang hingga beratnya konstan (W). Zeolit dalam krus porselin diletakkan dalam desikator berisi silika gel yang sudah diaktivasi. Tutup desikator dihubungkan dengan saluran gas amoniak dan mulut desikator ke saluran pompa penyedot.

Selang yang menghubungkan larutan amoniak 25% dijepit dan sistem dalam desikator divakumkan dengan pompa penyedot selama 25-30 detik. Selang pompa kemudian dijepit dan selang dari larutan amoniak dibuka pelan-pelan (tekanan rendah). Aliran gas dihentikan jika telah jenuh (timbul uap putih) kemudian selang dijepit. Reaksi dibiarkan selama 24 jam. Kemudian zeolit ditimbang berulang-ulang hingga beratnya konstan (W'). Maka berat NH_3 yang teradsorpsi dalam sampel adalah sebagai berikut :

$$\Delta W = W' - W$$

Dalam hal ini keasaman didefinisikan sebagai jumlah (mmol) NH_3 yang teradsorpsi untuk setiap gram berat zeolit. Sehingga keasaman sampel zeolit untuk setiap gram zeolit dihitung sebagai berikut (Setiaji, 1990) :

$$\text{Keasaman} = \frac{\Delta W}{\text{massa molar } \text{NH}_3 \times W_{\text{Zeolit}}}$$

3.4.4 Preparasi Larutan

a. Preparasi Larutan Induk ZnSO_4 1000 ppm

Sebanyak 4,3966 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan beberapa mL akuades dalam beaker gelas 250 mL lalu diaduk hingga semua kristal larut. Kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dengan ditambahkan akuades sampai tanda batas.

b. Preparasi Larutan Standar ZnSO_4

Dalam penelitian ini digunakan larutan ZnSO_4 100 ppm. Larutan ini dibuat dari proses pengenceran larutan induk ZnSO_4 1000 ppm. Sebanyak 10 mL larutan induk 1000 ppm diencerkan dengan akuades hingga volume 100 mL. Larutan ZnSO_4 100 ppm ini dipipet sebanyak 2.50; 5.00; 10.00; 15.00; 20.00 dan 25.00 mL, masing-masing dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dengan ditambahkan akuades sampai tanda batas untuk mendapatkan larutan standar dengan konsentrasi 0.25; 0.50; 1.00; 1.50; 2.00 dan 2.50 ppm. Larutan standar dibuat tiga kali ulangan.

c. Preparasi Larutan Sampel ZnSO_4 untuk Uji Kapasitas Adsorpsi

Larutan induk 1000 ppm dipipet sebanyak 5; 10; 15; 20; 25 dan 30 mL lalu masing-masing dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian ditambahkan akuades sampai tanda batas untuk mendapatkan larutan sampel dengan konsentrasi 5; 10; 15; 20; 25 dan 30 ppm. Larutan sampel dibuat tiga kali ulangan.

3.4.5 Uji Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi zeolit alam dan zeolit alam asam hidrotermal ditentukan dengan cara melakukan uji pengadsorpsian terhadap ion Seng(II) dalam larutannya. Pada proses pengadsorpsian ini digunakan variasi konsentrasi (5; 10; 15; 20; 25 dan 30 ppm) dan temperatur (30, 40, 50, 60, 70 dan 80°C).

Larutan sampel ZnSO_4 5; 10; 15; 20; 25 dan 30 ppm masing-masing sebanyak 15 mL dimasukkan ke dalam enam buah erlenmeyer 50 mL. Selanjutnya enam buah erlenmeyer dimasukkan dan direndam dalam *water bath* yang diset pada temperatur 30°C. Termometer diletakkan pada salah satu erlenmeyer. Jika

temperatur pada termometer telah menunjukkan temperatur yang dikehendaki, maka zeolit alam masing-masing sebanyak 0,1000 gram masukkan ke dalam larutan sampel $ZnSO_4$, diaduk dan direndam selama 30 menit. Setelah 30 menit, semua erlenmeyer diambil dan didinginkan kemudian disaring untuk memisahkan filtratnya. Setelah itu dilakukan pengukuran absorbansi filtrat menggunakan AAS. Prosedur tersebut di atas diulang pada temperatur 40, 50, 60, 70 dan 80°C serta zeolit alam asam hidrotermal. Perlakuan di atas dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Karakter NZ dan H₅-NZA berbeda dengan kandungan kation NZ lebih besar dibanding H₅-NZA dan keasaman NZ lebih kecil dibanding H₅-NZA.
- 2) Temperatur dan konsentrasi mempengaruhi proses adsorpsi ion seng(II). Temperatur optimum adsorpsi ion seng(II) oleh NZ pada 60°C dengan jumlah ion seng(II) teradsorpsi sebesar $6,80 \cdot 10^{-4}$ g/g pada konsentrasi awal 20 ppm, sedangkan temperatur optimum H₅-NZA pada 70°C dengan jumlah ion seng(II) teradsorpsi sebesar $2,22 \cdot 10^{-3}$ g/g pada konsentrasi awal 25 ppm.
- 3) Adsorpsi ion seng(II) oleh NZ dan H₅-NZA mengikuti orde satu dengan k_{ads} dan ΔH_{ads} NZ masing-masing sebesar $4,82 \cdot 10^{-5}$ dan 18,77 kJ/mol, sedangkan k_{ads} dan ΔH_{ads} H₅-NZA masing-masing sebesar $9,88 \cdot 10^{-5}$ dan 8,40 kJ/mol.

5.2 Saran

- 1) Perlu dilakukan variasi tentang pengaruh pH terhadap proses adsorpsi ion seng(II) oleh NZ dan H₅-NZA.
- 2) Perlu adanya variasi waktu hidrotermal terhadap zeolit alam untuk proses adsorpsi ion seng(II).



DAFTAR PUSTAKA

- Alfa, A. A. 1999. "Penanganan Logam Berat Zn dalam Limbah Pabrik Benang Karet". Dalam *Jurnal Kimia Lingkungan*. Malang: Vol. 1. hal. 1-6.
- Ato'Urochman. 2003. *Preparasi Katalis NiO/Cr₂O₃/Zeolit dan Uji Katalisnya pada Perengkahan Pelumas Bekas Refining menjadi Fraksi Bahan Bakar*. Skripsi UNEJ. Jember.
- Augustine, R.L., 1996, *Heterogenous Catalysis for Chemist*, New York: Marcel Dekker Inc.
- Barrer, R. M. 1978. *Zeolites and Clay Minerals as Sorbents and Molecular Sieves*. London: Academic Press Inc.
- , 1982. *Hydrothermal Chemistry of Zeolites*. London: Academic Press Inc.
- Champbell, I. M. 1988. *Catalyst at Surfaces*. New York: Chapman and Hall.
- Christian, D. G. 1994. *Analytical Chemistry*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Cotton, A. and G. Wilkinson. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Terjemahan Sahati Suharto dari *Basic Inorganic Chemistry* (1976). Jakarta: Penerbit UI Press.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Mahluk Hidup*. Jakarta: Penerbit UI Press.
- Fatimah, Is. 1997. *Aktivitas Zeolit Alam Asal Cipatujuh sebagai Adsorben dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka*. Skripsi Sarjana FMIPA UGM. Yogyakarta.
- Gasser, R. P. H. 1987. *An Introduction to Chemisorption and Catalysis by Metal*. New York: Oxford Science Publications.
- Hamdan, H. 1992. *Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization and Modification*. Malaysia: Universitas Teknologi Malaysia.
- Hendri, J. 1991. "Pengaktifan Zeolit Lampung dengan Berbagai Perlakuan". Dalam *Jurnal Sains dan Teknologi*. Yogyakarta: Vol. 4. hal. 10-16.
- Husaini. 2000. *Pengolahan dan Pemanfaatan Zeolit Tasikmalaya untuk Pengolahan Air Sungai dan Air Sumur di Empat Desa di Jawa Barat untuk Keperluan Air Minum*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral. Bandung.

- Husaini dan Suyartono. 1992. *Daya Pertukaran Ion Zeolit Polmas Terhadap Beberapa Jenis Ion Logam Berat*. Buletin Pengembangan Teknologi Mineral. Bandung: Vol. 14. hal. 15-29.
- Khairinal. 2000. *Dealuminasi Zeolit Alam Wonosari dengan Perlakuan Asam dan Proses Hidrotermal*. Skripsi Sarjana UGM. Yogyakarta.
- Lowell, S. and J. E. Shields. 1984. *Powder Surface Area and Porosity*. Second Edition. New York: Chapman and Hall.
- Moelyo, M. 1994. "Identifikasi Logam Berat Cu, Ni, Pb, Zn dalam Air Limbah Jenis Industri". Dalam *Jurnal Indokimia*. Bandung: Vol. 2. hal. 23-33.
- Nurhadi, M. 1999. *Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Kromium-Zeolit Alam untuk Perengkahan Fraksi Minyak Bumi*. Tesis Sarjana UGM. Yogyakarta.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Prayitno, B. K. 1988. "Pembuatan Kristal Silika Alumina dari Lempung". Dalam *Jurnal BPPT*. Bandung: Vol. 12. hal. 51-55.
- Priatmoko, S. 2000. *Optimasi dan Studi Kinetika Reaksi Konversi 3-metil-1-Butanol Menggunakan Katalis Pt/Zeolit*. Tesis Sarjana UGM. Yogyakarta.
- Sasongko. 1995. *Mineralogi dan Kimia Fisik Kalium dalam Tanah*. Jember: Fakultas Pertanian UNEJ.
- Setiaji, B. 1990. *Penentuan Keasaman Permukaan Padatan dengan Cara Termal Analisis*. Berkala Ilmiah MIPA UGM. Yogyakarta.
- Setyawan, P. H. D. 2001. *Modifikasi Zeolit Alam dan Karakterisasinya Sebagai Katalis Perengkahan Asap Cair Kayu Bengkirei*. Tesis Sarjana UGM. Yogyakarta.
- Smith, K. 1992. *Solid Support and Catalyst in Organic Synthesis*. London: Ellis Horwood PTR Prentice Hall.
- Soekardjo. 1985. *Kimia Fisika*. Yogyakarta: Penerbit Bina Aksara.
- Sutarti, M. dan M. Rachmawati. 1994, *Zeolit: Tinjauan Literatur*. Jakarta: Penerbit PDII LIPI.
- Tan, Kim. H. 1998. *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Yogyakarta: Penerbit UGM Press.

Trisunaryanti, W. 1991. *Modifikasi, Karakterisasi dan Pemanfaatan Zeolit Alam*. Tesis Sarjana UGM. Yogyakarta.

Zaenuddin. 1988. *Kursus Instrumental Atomic Absorbtion Spectrofotometer (Paket A)*. Surabaya: Fakultas Farmasi UNAIR.

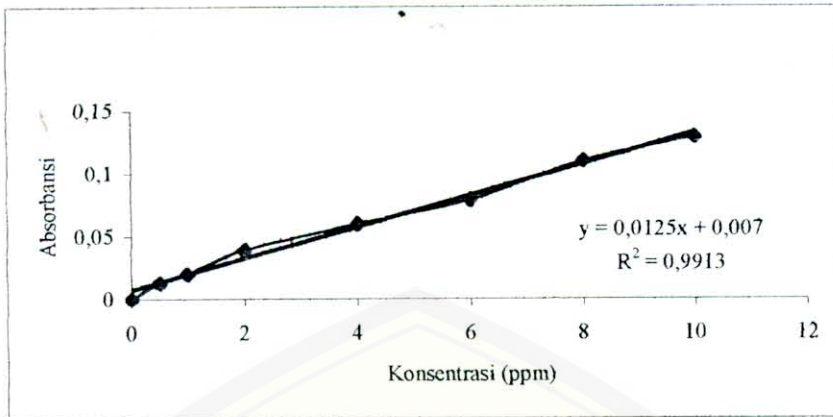


Lampiran I. Data Absorbansi Larutan Standar Na, Ca, Fe, K dan Zn

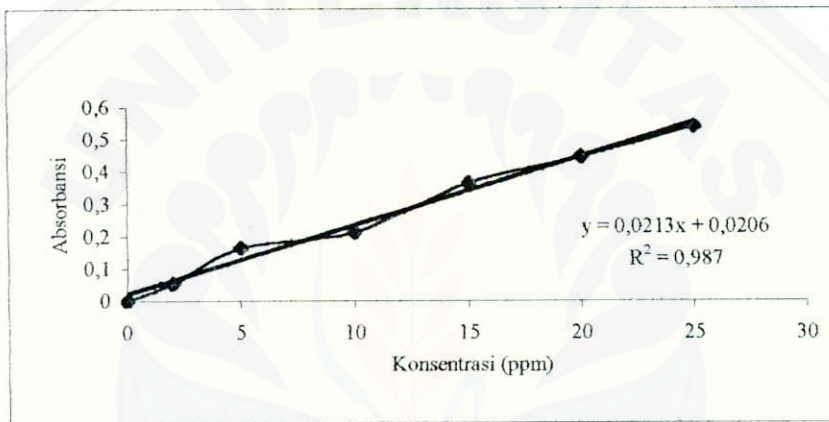
Data Absorbansi Larutan Standar Na, Ca, Fe, K dan Zn

Jenis Kation	Konsentrasi (ppm)	Ulangan			Rata-rata
		I	II	III	
Na	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,50	0,012	0,013	0,013	0,013
	1,00	0,020	0,019	0,020	0,020
	2,00	0,039	0,039	0,038	0,039
	4,00	0,059	0,060	0,060	0,060
	6,00	0,078	0,080	0,079	0,079
	8,00	0,110	0,111	0,110	0,110
	10,00	0,129	0,129	0,128	0,129
Ca	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
	2,00	0,055	0,054	0,055	0,055
	5,00	0,164	0,165	0,165	0,165
	10,00	0,213	0,214	0,213	0,213
	15,00	0,365	0,365	0,364	0,365
	20,00	0,447	0,446	0,446	0,446
	25,00	0,539	0,538	0,539	0,539
Fe	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,50	0,023	0,022	0,022	0,022
	1,00	0,025	0,027	0,026	0,026
	2,00	0,043	0,042	0,044	0,043
	4,00	0,080	0,081	0,081	0,081
	6,00	0,111	0,112	0,112	0,112
	8,00	0,148	0,150	0,149	0,149
	10,00	0,200	0,199	0,201	0,200
K	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,00	0,006	0,007	0,005	0,006
	2,00	0,010	0,011	0,011	0,011
	4,00	0,014	0,015	0,015	0,015
	6,00	0,024	0,023	0,024	0,024
	8,00	0,030	0,032	0,031	0,031
	10,00	0,039	0,038	0,040	0,039
Zn	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,25	0,015	0,015	0,014	0,015
	0,50	0,033	0,032	0,033	0,033
	1,00	0,062	0,063	0,063	0,063
	1,50	0,091	0,090	0,092	0,091
	2,00	0,121	0,121	0,120	0,121
	2,50	0,148	0,147	0,149	0,148

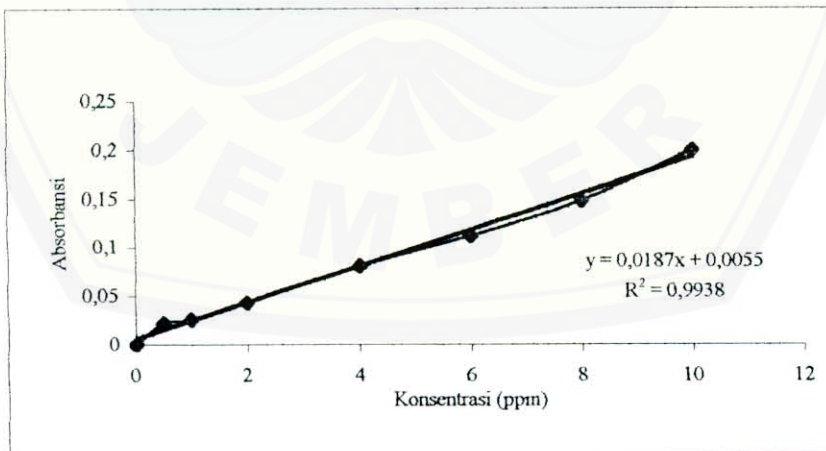
Lampiran 2. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Na, Ca, Fe, K dan Zn



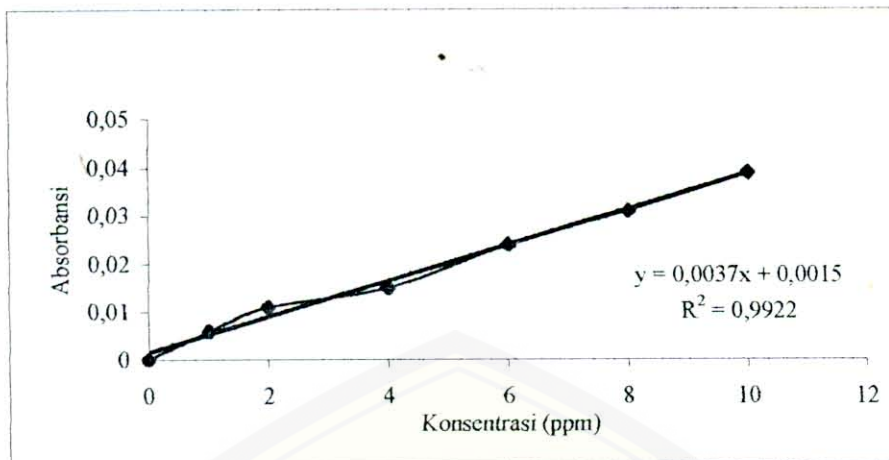
Kurva Kalibrasi Larutan Standar Na



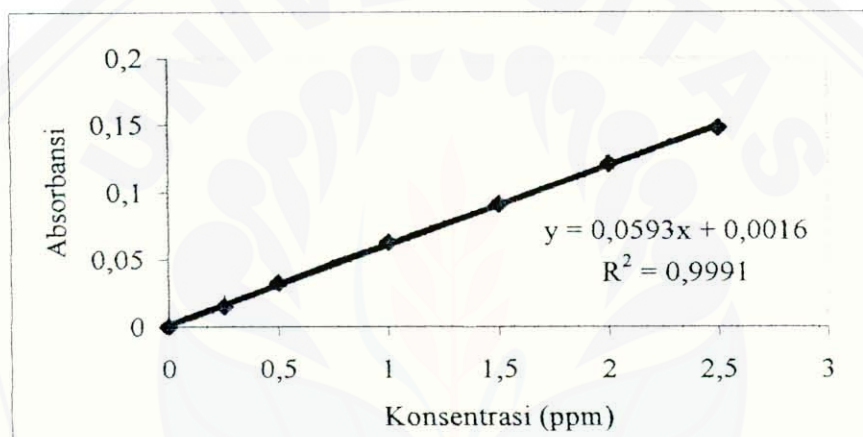
Kurva Kalibrasi Larutan Standar Ca



Kurva Kalibrasi Larutan Standar Fe



Kurva Kalibrasi Larutan Standar K



Kurva Kalibrasi Larutan Standar Zn

Lampiran 3. Data Kandungan Kation (%b/b) Na, Ca, Fe, K dan Zn dalam Sampel Zeolit dan Keasaman Zeolit

Tabel 3.1 Data Kandungan Kation (%b/b) Na, Ca, Fe, K dan Zn dalam Sampel Zeolit

Jenis Kation	Jenis Zeolit	Absorban			Faktor Pengenceran	Kandungan Kation (%b/b) rata-rata
		Ulangan				
		I	II	III		
Na	NZ	0,126	0,127	0,127	-	0,120
	H ₅ -NZA	0,071	0,072	0,074	-	0,065
Ca	NZ	0,138	0,140	0,139	-	0,070
	H ₅ -NZA	0,066	0,067	0,065	-	0,027
Fe	NZ	0,193	0,189	0,196	10x	1,250
	H ₅ -NZA	0,050	0,051	0,052	5x	0,152
K	NZ	0,032	0,031	0,032	-	0,100
	H ₅ -NZA	0,018	0,019	0,018	-	0,057
Zn	NZ	0,000	0,000	0,000	-	Nihil
	H ₅ -NZA	0,000	0,000	0,000	-	Nihil

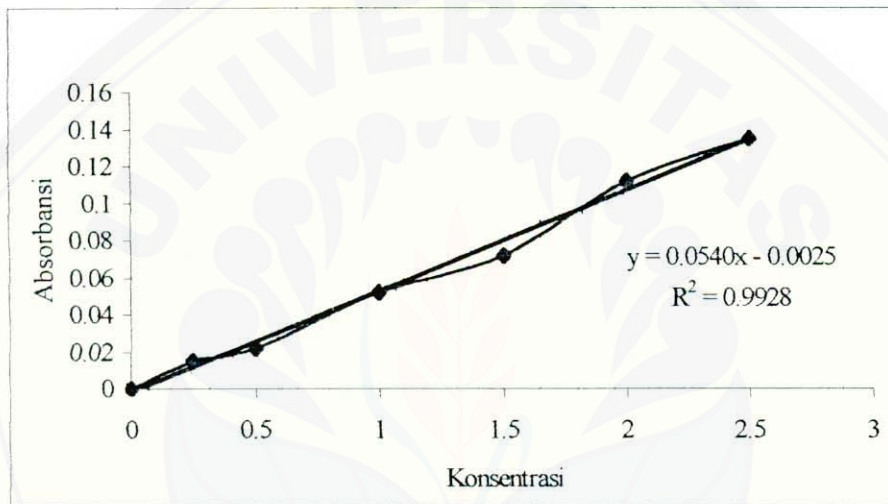
Tabel 3.2 Data Keasaman Zeolit

No	Jenis Zeolit	Berat Zeolit (g)			Berat NH ₃ (g)			Keasaman rata-rata (mmol/g)
		Ulangan			Ulangan			
		I	II	III	I	II	III	
1.	NZ	0,4780	0,4821	0,4809	0,0171	0,0181	0,0178	2,1634
2.	H ₅ -NZA	0,4967	0,4940	0,4955	0,0461	0,0453	0,0458	5,4303

Lampiran 4. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Zn untuk Proses Adsorpsi

Data Absorbansi Larutan Standar Zn

Konsentrasi (ppm)	Ulangan			Rata-rata
	I	II	III	
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.25	0,015	0,014	0,015	0,015
0.50	0,022	0,022	0,021	0,022
1.00	0,052	0,051	0,053	0,052
1.50	0,072	0,071	0,072	0,072
2.00	0,112	0,113	0,111	0,112
2.50	0,134	0,135	0,136	0,135



Kurva Kalibrasi Larutan Standar Zn

Lampiran 5. Optimasi Waktu terhadap Adsorpsi Ion Seng(II) oleh NZ dan H₅-NZA
Tabel 5.1 Data Optimasi Waktu Pada t=30°C dan Konsentrasi 20 ppm pada NZ

t (menit)	Absorbansi Ion Seng(II) Hasil Pengenceran			Rata-rata	[Ion Seng(II)] Hasil Pengenceran	[Ion Seng(II)] x Faktor Pengenceran	Volume Sisa (mL)	Massa Ion Seng(II) Sisa ($\times 10^{-5}$ g)	Massa Ion Seng(II) Teradsorpsi ($\times 10^{-5}$ g)	Kapasitas Adsorpsi ($\times 10^{-4}$ g/g)
	Ulangan									
	I	II	III							
5	0,096	0,097	0,096	0,096	1,82	18,20	10	18,20	1,80	1,80
10	0,094	0,094	0,093	0,094	1,79	17,90	10	17,90	2,10	2,10
20	0,091	0,090	0,091	0,091	1,73	17,30	10	17,30	2,70	2,70
30	0,084	0,085	0,085	0,085	1,62	16,20	10	16,20	3,80	3,80
40	0,085	0,084	0,085	0,085	1,62	16,20	10	16,20	3,80	3,80
50	0,086	0,084	0,085	0,085	1,62	16,20	10	16,20	3,80	3,80
60	0,085	0,085	0,086	0,085	1,62	16,20	10	16,20	3,80	3,80

Tabel 5.2 Data Optimasi Waktu Pada t=30°C dan Konsentrasi 20 ppm pada H₅-NZA

t (menit)	Absorbansi Ion Seng(II) Hasil Pengenceran			Rata-rata	[Ion Seng(II)] Hasil Pengenceran	[Ion Seng(II)] x Faktor Pengenceran	Volume Sisa (mL)	Massa Ion Seng(II) Sisa ($\times 10^{-5}$ g)	Massa Ion Seng(II) Teradsorpsi ($\times 10^{-5}$ g)	Kapasitas Adsorpsi ($\times 10^{-4}$ g/g)
	Ulangan									
	I	II	III							
5	0,102	0,102	0,101	0,102	1,94	9,70	10	9,70	10,30	10,30
10	0,088	0,089	0,087	0,088	1,68	8,40	10	8,40	11,60	11,60
20	0,078	0,079	0,079	0,079	1,51	7,55	10	7,55	12,45	12,45
30	0,064	0,064	0,063	0,064	1,23	6,15	10	6,15	13,85	13,85
40	0,064	0,063	0,064	0,064	1,23	6,15	10	6,15	13,85	13,85
50	0,064	0,063	0,065	0,064	1,23	6,15	10	6,15	13,85	13,85
60	0,065	0,063	0,064	0,064	1,23	6,15	10	6,15	13,85	13,85

Lampiran 6. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Ion Seng(II) oleh NZ dan H₃-NZA dengan Variasi Temperatur dan Konsentrasi

Tabel 6.1 Kapasitas Adsorpsi Ion Seng(II) oleh NZ dengan Variasi Temperatur dan Konsentrasi

temperatur (°C)	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi Ion Seng(II) Hasil Pengenceran			Rata-rata	[Ion Seng(II)] Hasil Pengenceran	[Ion Seng(II)] x Faktor Pengenceran	Volume Sisa (mL)	Massa Ion Seng(II) Sisa (x 10 ⁻⁵ g)	Massa Ion Seng(II) Teradsorpsi (x 10 ⁻⁵ g)	Kapasitas Adsorpsi (x 10 ⁻⁴ g/g)
		1	2	3							
30	5	0,040	0,039	0,040	0,040	0,79	3,95	10	3,95	1,05	1,05
	10	0,084	0,084	0,085	0,084	1,60	8,00	10	8,00	2,00	2,00
	15	0,128	0,129	0,128	0,128	2,42	12,10	10	12,10	2,90	2,90
	20	0,084	0,085	0,085	0,085	1,62	16,20	10	16,20	3,80	3,80
	25	0,114	0,115	0,116	0,115	2,18	21,80	10	21,80	3,20	3,20
	30	0,057	0,056	0,057	0,057	1,10	27,50	10	27,50	2,50	2,50
40	5	0,037	0,037	0,036	0,037	0,73	3,65	10	3,65	1,35	1,35
	10	0,079	0,080	0,079	0,079	1,51	7,55	10	7,55	2,45	2,45
	15	0,122	0,118	0,120	0,120	2,27	11,35	10	11,35	3,65	3,65
	20	0,080	0,079	0,080	0,080	1,53	15,30	10	15,30	4,70	4,70
	25	0,110	0,110	0,111	0,110	2,08	20,80	10	20,80	4,20	4,20
	30	0,055	0,056	0,055	0,055	1,07	26,75	10	26,75	3,25	3,25
50	5	0,033	0,034	0,034	0,034	0,68	3,40	10	3,40	1,60	1,60
	10	0,072	0,072	0,071	0,072	1,38	6,90	10	6,90	3,10	3,10
	15	0,112	0,112	0,111	0,112	2,12	10,60	10	10,60	4,40	4,40
	20	0,074	0,074	0,075	0,074	1,42	14,20	10	14,20	5,80	5,80
	25	0,101	0,102	0,103	0,102	1,94	19,40	10	19,40	5,60	5,60
	30	0,129	0,130	0,130	0,130	2,45	24,50	10	24,50	5,50	5,50

temperatur (°C)	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi Ion Seng(II) Hasil Pengenceran			Rata- rata	[Ion Seng(II)] Hasil Pengenceran	[Ion Seng(II)] x Faktor Pengenceran	Volume Sisa (mL)	Massa Ion Seng(II) Sisa (x 10 ⁻⁵ g)	Massa Ion Seng(II) Teradsorpsi (x 10 ⁻⁵ g)	Kapasitas Adsorpsi (x 10 ⁻⁴ g/g)
		1	2	3							
60	5	0,030	0,031	0,030	0,030	0,60	3,00	300	2,00	2,00	2,00
	10	0,065	0,066	0,066	0,066	1,27	6,35	6,35	3,65	3,65	3,65
	15	0,103	0,102	0,102	0,102	1,94	9,70	9,70	5,30	5,30	5,30
	20	0,069	0,068	0,069	0,069	1,32	13,20	13,20	6,80	6,80	6,80
	25	0,098	0,097	0,098	0,098	1,86	18,60	18,60	6,40	6,40	6,40
	30	0,127	0,128	0,128	0,128	2,42	24,20	24,20	5,80	5,80	5,80
70	5	0,031	0,030	0,031	0,031	0,62	3,10	3,10	1,90	1,90	1,90
	10	0,067	0,067	0,066	0,067	1,29	6,45	6,45	3,55	3,55	3,55
	15	0,104	0,104	0,105	0,104	1,97	9,85	9,85	5,15	5,15	5,15
	20	0,070	0,071	0,070	0,070	1,34	13,40	13,40	6,60	6,60	6,60
	25	0,100	0,099	0,100	0,100	1,90	19,00	19,00	6,00	6,00	6,00
	30	0,129	0,129	0,130	0,129	2,44	24,40	24,40	5,60	5,60	5,60
80	5	0,034	0,033	0,034	0,034	0,68	3,40	3,40	1,60	1,60	1,60
	10	0,074	0,072	0,070	0,072	1,38	6,90	6,90	3,10	3,10	3,10
	15	0,111	0,112	0,112	0,112	2,12	10,60	10,60	4,40	4,40	4,40
	20	0,074	0,073	0,074	0,074	1,42	14,20	14,20	5,80	5,80	5,80
	25	0,103	0,104	0,104	0,104	1,97	19,70	19,70	5,30	5,30	5,30
	30	0,134	0,134	0,135	0,134	2,53	25,30	25,30	4,70	4,70	4,70

Tabel 6.2 Kapasitas Adsorpsi Ion Seng(II) oleh H₅-NZA dengan Variasi Temperatur dan Konsentrasi

temperatur (°C)	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi Ion Seng(II) Hasil Pengenceran			Rata-rata	[Ion seng(II)] Hasil Pengenceran	[Ion Seng(II)] x Faktor Pengenceran	Volume Sisa (mL)	Massa Ion Seng(II) Sisa (x 10 ⁻⁵ g)	Massa Ion Seng(II) Teradsorpsi (x 10 ⁻⁵ g)	Kapasitas Adsorpsi (x 10 ⁻⁴ g/g)
		1	2	3							
30	5	0,082	0,082	0,081	0,082	1,57	1,57	10	1,57	3,43	3,43
	10	0,032	0,032	0,031	0,032	0,64	3,20	10	3,20	6,80	6,80
	15	0,047	0,048	0,048	0,048	0,94	4,70	10	4,70	10,30	10,30
	20	0,064	0,064	0,063	0,064	1,23	6,15	10	6,15	13,85	13,85
	25	0,081	0,081	0,080	0,081	1,55	7,75	10	7,75	17,25	17,25
	30	0,090	0,089	0,090	0,090	1,71	17,10	10	17,10	12,90	12,90
40	5	0,060	0,059	0,059	0,059	1,14	1,14	10	1,14	3,86	3,86
	10	0,121	0,122	0,122	0,122	2,31	2,31	10	2,31	7,69	7,69
	15	0,034	0,034	0,033	0,034	0,68	3,40	10	3,40	11,60	11,60
	20	0,047	0,046	0,045	0,046	0,90	4,50	10	4,50	15,50	15,50
	25	0,059	0,060	0,060	0,060	1,16	5,80	10	5,80	19,20	19,20
	30	0,069	0,069	0,070	0,069	1,32	13,20	10	13,20	16,80	16,80
50	5	0,041	0,041	0,040	0,041	0,81	0,81	10	0,81	4,19	4,19
	10	0,087	0,086	0,087	0,087	1,66	1,66	10	1,66	8,34	8,34
	15	0,028	0,029	0,028	0,028	0,57	2,85	10	2,85	12,15	12,15
	20	0,037	0,038	0,037	0,037	0,73	3,65	10	3,65	16,35	16,35
	25	0,047	0,047	0,046	0,047	0,92	4,60	10	4,60	20,40	20,40
	30	0,066	0,067	0,066	0,066	1,27	12,70	10	12,70	17,30	17,30

temperatur (°C)	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi Ion Seng(II) Hasil Pengenceran			Rata- rata	[Ion Seng(II)] Hasil Pengenceran	[Ion Seng(II)] x Faktor Pengenceran	Volume Sisa (mL)	Massa Ion Seng(II) Sisa (x 10 ⁻⁵ g)	Massa Ion Seng(II) Teradsorpsi (x 10 ⁻⁵ g)	Kapasitas Adsorpsi (x 10 ⁻⁴ g/g)
		1	2	3							
60	5	0,025	0,026	0,025	0,025	0,51	0,51	10	0,51	4,49	4,49
	10	0,066	0,065	0,066	0,066	1,27	1,27	10	1,27	8,73	8,73
	15	0,107	0,108	0,108	0,108	2,05	2,05	10	2,05	12,95	12,95
	20	0,030	0,031	0,030	0,030	0,60	3,00	10	3,00	17,00	17,00
	25	0,038	0,039	0,038	0,038	0,75	3,75	10	3,75	21,25	21,25
	30	0,061	0,061	0,062	0,061	1,18	11,80	10	11,80	18,20	18,20
70	5	0,016	0,017	0,016	0,016	0,94	0,94	10	0,94	4,06	4,06
	10	0,040	0,039	0,039	0,039	0,77	0,77	10	0,77	9,23	9,23
	15	0,074	0,075	0,074	0,074	1,42	1,42	10	1,42	13,58	13,58
	20	0,115	0,116	0,116	0,116	2,19	2,19	10	2,19	17,81	17,81
	25	0,028	0,029	0,028	0,028	0,57	2,85	10	2,85	22,15	22,15
	30	0,059	0,060	0,059	0,059	1,14	11,40	10	11,40	18,60	18,60
80	5	0,050	0,051	0,052	0,051	0,99	0,99	10	0,99	4,01	4,01
	10	0,070	0,071	0,071	0,071	1,36	1,36	10	1,36	8,64	8,64
	15	0,134	0,133	0,133	0,133	2,51	2,51	10	2,51	12,49	12,49
	20	0,036	0,037	0,037	0,037	3,65	5,70	10	5,70	16,35	16,35
	25	0,058	0,059	0,060	0,059	5,70	5,70	10	5,70	19,30	19,30
	30	0,064	0,065	0,064	0,064	12,30	12,30	10	12,30	17,70	17,70

Lampiran 7. Pengaruh Temperatur dan Konsentrasi terhadap Adsorpsi Ion Seng(II) oleh NZ dan H₅-NZA

Tabel 7.1 Data Pengaruh Temperatur dan Konsentrasi terhadap Adsorpsi Ion Seng(II) oleh NZ

temperatur (°C)	Jumlah Kation Zn teradsorpsi (10 ⁻⁴ g/g) pada NZ					
	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm	25 ppm	30 ppm
30	1,05	2,00	2,90	3,80	3,20	2,50
40	1,35	2,45	3,65	4,70	4,50	3,25
50	1,60	3,10	4,40	5,80	5,60	5,50
60	2,00	3,65	5,30	6,80	6,40	5,80
70	1,90	3,55	5,15	6,60	6,00	5,60
80	1,60	3,10	4,40	5,80	5,30	4,70

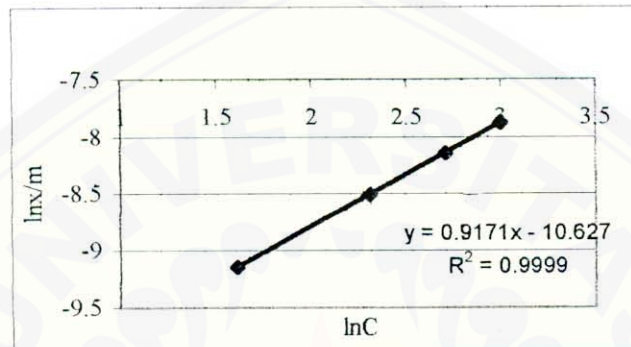
Tabel 7.2 Data Pengaruh Temperatur dan Konsentrasi terhadap Adsorpsi Ion Seng(II) oleh H₅-NZA

temperatur (°C)	Jumlah Kation Zn teradsorpsi (10 ⁻⁴ g/g) pada H ₅ -NZA					
	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm	25 ppm	30 ppm
30	3,43	6,80	10,30	13,85	17,25	12,90
40	3,86	7,69	11,60	15,50	19,20	16,80
50	4,19	8,34	12,15	16,35	20,40	17,30
60	4,49	8,73	12,95	17,00	21,25	18,20
70	4,06	9,23	13,58	17,81	22,15	18,60
80	4,01	8,64	12,49	16,35	19,30	17,70

Lampiran 8. Penentuan Orde Adsorpsi Ion Seng(II) pada NZ dan H₅-NZA

Tabel 8.1 Penentuan Orde Adsorpsi Ion Seng(II) pada NZ

x (ln C)	y (ln x/m)					
	temperatur (°C)					
	30	40	50	60	70	80
1.609	-9,16	-8,91	-8,74	-8,52	-8,57	-8,73
2.302	-8,52	-8,31	-8,08	-7,92	-7,94	-8,08
2.708	-8,15	-7,92	-7,73	-7,54	-7,57	-7,73
2.996	-7,88	-7,66	-7,45	-7,29	-7,33	-7,45



Grafik Penentuan Orde Adsorpsi Ion Seng(II) oleh NZ pada t = 30°C

Tabel 8.2 Penentuan Orde Adsorpsi Ion Seng(II) pada H₅-NZA

x (ln C)	y (ln x/m)					
	temperatur (°C)					
	30	40	50	60	70	80
1.609	-7,98	-7,86	-7,78	-7,71	-7,67	-7,82
2.302	-7,29	-7,17	-7,09	-7,04	-6,99	-7,05
2.708	-6,88	-6,76	-6,71	-6,65	-6,60	-6,68
2.996	-6,58	-6,47	-6,42	-6,38	-6,33	-6,42
3.219	-6,36	-6,25	-6,19	-6,15	-6,11	-6,25

Tabel 8.3. Data Orde Adsorpsi dan k_{ads} Ion Seng(II) pada NZ dan H₅-NZA

Jenis Zeolit	temperatur (°C)	Persamaan	R ²	Stdev	n (orde)	ln k_{ads}	k_{ads} (x 10 ⁻⁵)
NZ (Zeolit Alam)	30	$y = 0,9171x - 10,627$	0,9999	1,00.10 ⁻⁴	1,090	- 10,627	2,43
	40	$y = 0,9107x - 10,392$	0,9997		1,098	- 10,392	3,07
	50	$y = 0,9179x - 10,204$	0,9997		1,089	- 10,204	3,70
	60	$y = 0,8833x - 9,9407$	0,9999		1,132	- 9,9407	4,82
	70	$y = 0,8979x - 10,011$	0,9998		1,114	- 10,011	4,49
	80	$y = 0,9179x - 10,024$	0,9997		1,089	- 10,204	3,70
H ₅ -NZA (Zeolit Alam Asam Hidrotermal)	30	$y = 1,0054x - 9,6000$	0,9999	1,79.10 ⁻³	0,995	- 9,6000	6,77
	40	$y = 1,0014x - 9,4723$	0,9999		0,999	- 9,4723	7,70
	50	$y = 0,9827x - 9,3605$	0,9998		1,018	- 9,3605	8,61
	60	$y = 0,9651x - 9,2631$	0,9999		1,036	- 9,2631	9,49
	70	$y = 0,9670x - 9,2220$	0,9999		1,034	- 9,2220	9,88
	80	$y = 0,9783x - 9,3551$	0,9955		1,022	- 9,3551	8,65



Lampiran 9. Penentuan dan Perhitungan Entalpi Adsorpsi (ΔH_{ads}) NZ dan H₅-NZA

Tabel 9.1 Data Penentuan dan Perhitungan Entalpi Adsorpsi (ΔH_{ads}) NZ

x(1/T)	3.3.10 ⁻³	3.19.10 ⁻³	3.096.10 ⁻³	3.00.10 ⁻³
y(ln k)	-10.627	-10.392	-10.204	-9.9407

$$\ln k = -\Delta H_{ads}/RT + C$$

$$y = -2257,71x - 3,1871$$

$$-\Delta H_{ads}/R = -2257,71$$

$$-\Delta H_{ads} = -2257,71 \times 8,314 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H_{ads} = 18770,60 \text{ J/mol}$$

$$= 18,77 \text{ kJ/mol}$$

Tabel 9.2 Data Penentuan dan Perhitungan Entalpi Adsorpsi (ΔH_{ads}) H₅-NZA

x(1/T)	3.3.10 ⁻³	3.19.10 ⁻³	3.096.10 ⁻³	3.00.10 ⁻³	2.915.10 ⁻³
y(ln k)	-9.6000	-9.4723	-9.3605	-9.2631	-9.2220

$$\ln k = -\Delta H_{ads}/RT + C$$

$$y = -1010,40x - 6,2511$$

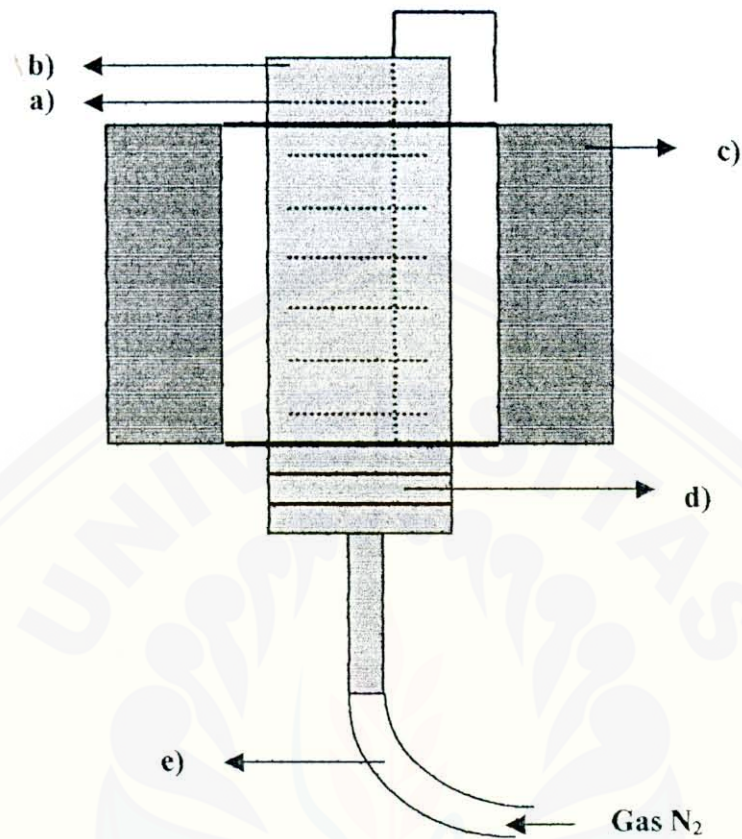
$$-\Delta H_{ads}/R = -1010,40$$

$$-\Delta H_{ads} = -1010,40 \times 8,314 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H_{ads} = 8400,47 \text{ J/mol}$$

$$= 8,40 \text{ kJ/mol}$$

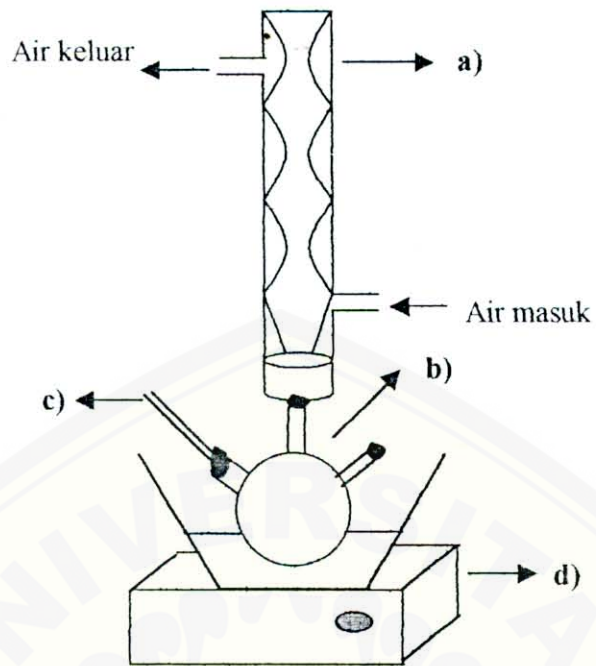
Lampiran 10. Gambar Alat Penelitian



Susunan Alat Kalsinasi

Keterangan :

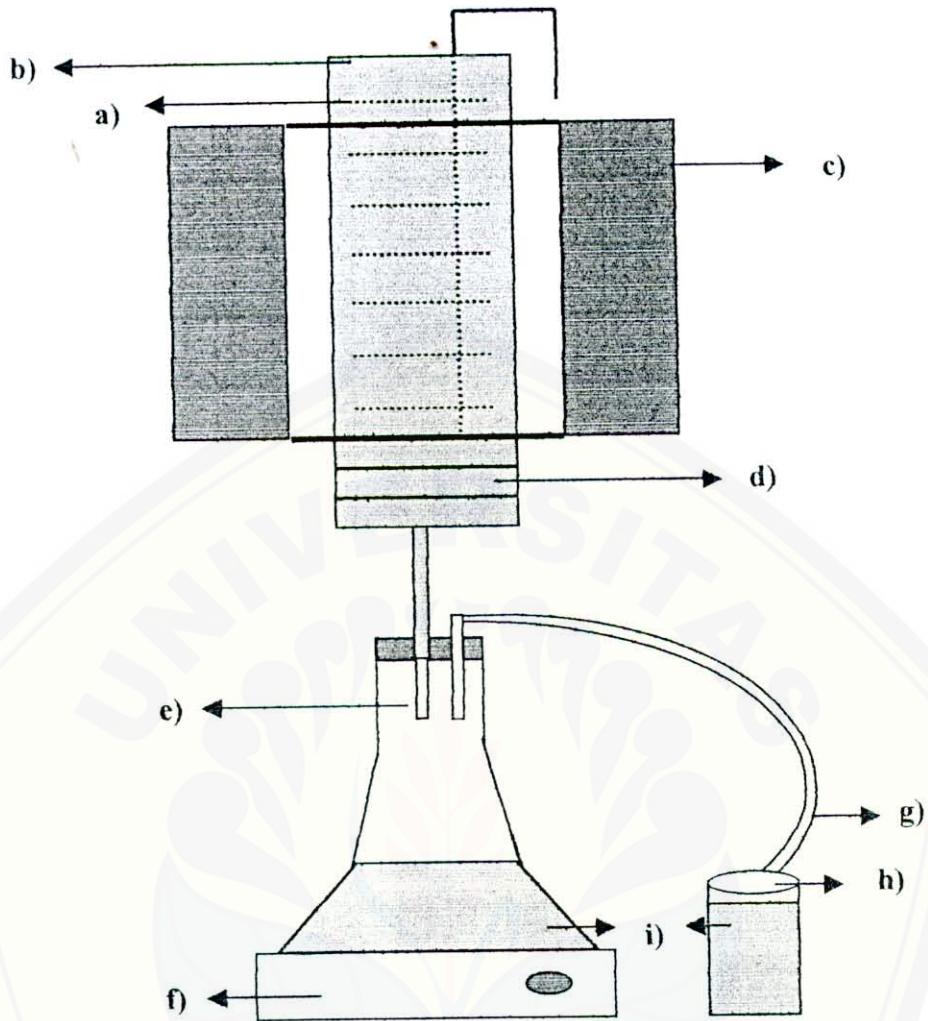
- a) Plat tempat zeolit
- b) Reaktor
- c) Furnace
- d) Glass wool
- e) Selang silikon



Seperangkat Alat Refluks

Keterangan :

- a) Kondensor
- b) Labu leher tiga
- c) Termometer
- d) Pemanas listrik



Susunan Alat Hidrotermal

Keterangan :

- | | |
|-----------------------|--------------------|
| a) Plat tempat zeolit | f) Pemanas listrik |
| b) Reaktor | g) Selang silikon |
| c) Furnace | h) Beaker gelas |
| d) Glass wool | i) Air |
| e) Erlenmeyer | |

