



**PENGGUNAAN ZEOLIT ALAM YANG TELAH DIAKTIVASI
DENGAN LARUTAN HCl UNTUK MENJERAP LOGAM-LOGAM
PENYEBAB KESADAHAN AIR**

TUGAS AKHIR II

**Disusun Dalam Rangka Penyelesaian Studi Strata I
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Sains**

**Oleh :
Dwita Srihapsari
NIM 4350401045**

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2006

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir II ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian tugas akhir II pada :

Hari : Senin

Tanggal : 13 Februari 2006

Semarang, Februari 2006

Pembimbing I,

Pembimbing II,

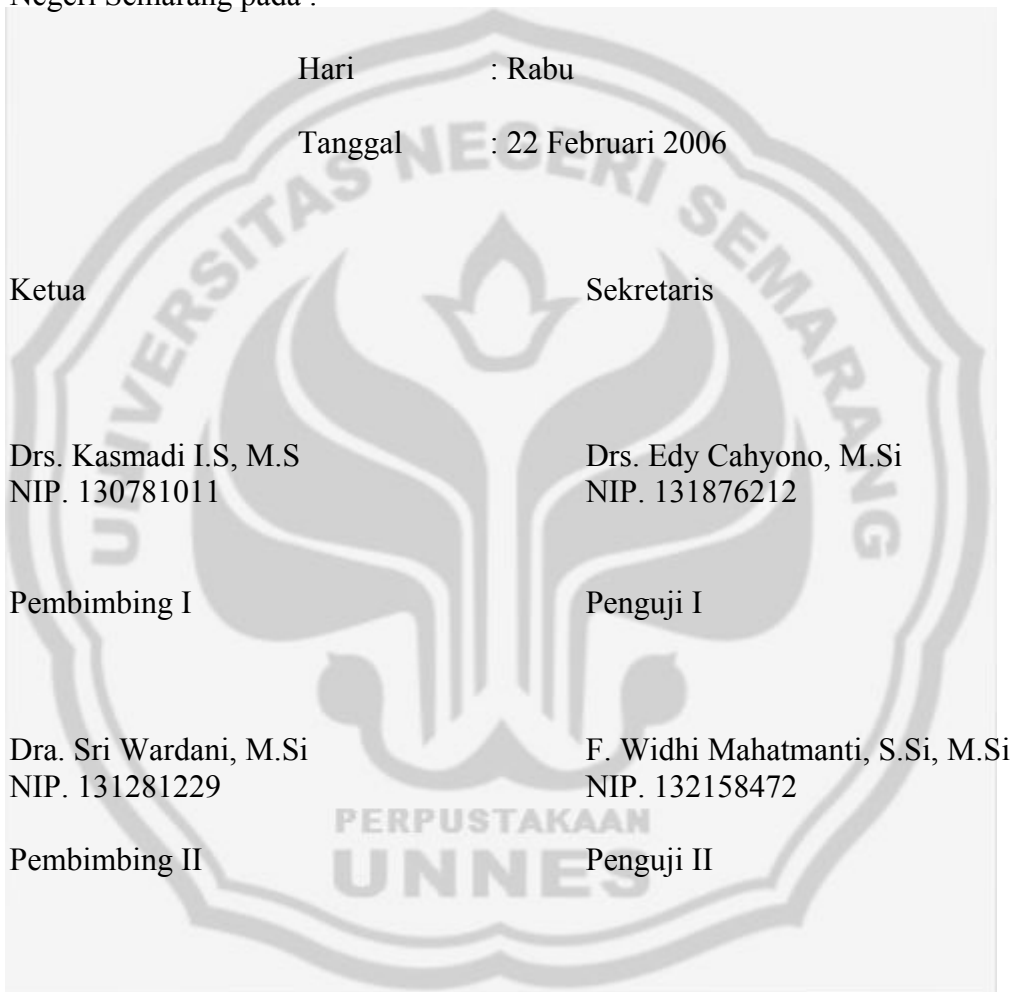
Dra. Sri Wardani, M.Si
NIP. 131281229

Drs. Jumaeri, M.Si
NIP132046849



HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan sidang Panitia Ujian (Seminar) Tugas Akhir II
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Negeri Semarang pada :



Hari : Rabu

Tanggal : 22 Februari 2006

Ketua

Sekretaris

Drs. Kasmadi I.S, M.S
NIP. 130781011

Drs. Edy Cahyono, M.Si
NIP. 131876212

Pembimbing I

Penguji I

Dra. Sri Wardani, M.Si
NIP. 131281229

F. Widhi Mahatmanti, S.Si, M.Si
NIP. 132158472

Pembimbing II

Penguji II

Drs. Jumaeri, M.Si
NIP132046849

Dra. Sri Wardani, M.Si
NIP. 131281229

Penguji III

Drs. Jumaeri, M.Si
NIP132046849

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam Tugas Akhir II ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam Tugas Akhir II ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, Februari 2006

Dwita Srihapsari
NIM 4350401045



MOTTO

- ✚ *Janganlah takut mengakui bahwa diri kita tidaklah sempurna. Ketidaksempurnaan inilah yang merupakan sulaman benang rapuh untuk mengikat kita satu sama lain.*
- ✚ *Bersemangatlah dalam hidup “aku ingin hidup seribu tahun lagi” dan jangan lupa untuk bersiap-siap menghadapi “malaiikat maut” besok pagi. (Jaka Mahesa)*
- ✚ *Pengetahuan tanpa agama adalah lumpuh, agama tanpa ilmu pengetahuan adalah buta, dan ilmu dan agama adalah wajah yang cantik dan tampan. (Albert Einstein)*

Tentang Waktu

Ambillah waktu untuk berfikir, itu adalah sumber kekuatan.

Ambillah waktu untuk bermain, itu adalah rahasia masa muda yang abadi.

Ambillah waktu untuk berdoa, itu adalah sumber ketenangan.

Ambillah waktu untuk belajar, itu adalah sumber kebijaksanaan.

Ambillah waktu untuk mencintai dan dicintai, itu adalah hak istimewa yang diberikan Tuhan.

Ambillah waktu untuk bersahabat, itu adalah jalan menuju kebahagiaan.

Ambillah waktu untuk tertawa, itu adalah musik yang menggetarkan hati

Ambillah waktu untuk memberi, itu adalah membuat hidup terasa berarti.

Ambillah waktu untuk bekerja, itu adalah nilai keberhasilan.

Ambillah waktu untuk beramal, itu adalah kunci menuju syurga.

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir II ini kupersembahkan untuk :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahNya, sehingga saya dapat menyusun tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya.
2. Kedua Orang Tuaku (Papa dan mama) tercinta yang paling saya hormati dan kagumi dan selalu memberi nasehat-nasehatnya untuk masa depanku nantinya.
3. Kakak dan adikku tersayang, kalian adalah kakak dan adikku yang selalu memberi motivasi kepadaku.
4. Keluarga besarku yang selalu memberiku semangat agar aku dapat sukses dalam segala hal.
5. Seseorang yang paling aku cintai, sayangi, kagumi dan segalanya yang sering mendengarkan segala keluh kesahku dan selalu menemani disaat aku membutuhkan.
6. Sahabat-sahabat setiaku yang selalu membantu dan memberi motivasi dalam segala hal.
7. Teman-temanku semua yang ada di Gunung Talang, sebagai teman curhatku selama ini.
8. All My Best Friends Jurusan Kimia angkatan tahun 2001.
9. Almamaterku yang menjadi kebanggaan selama ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala petunjuk dan rahmat dan hidayahnya-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir II dengan judul **“Penggunaan Zeolit Alam yang telah Diaktivasi dengan Larutan HCl Untuk Menjerap Logam-logam Penyebab Kسادahan Air”**.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir II ini penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan memberi dorongan sehingga pada akhirnya Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Rektor Universitas Negeri Semarang,
2. Drs. Kasmadi Imam S, M.S, Dekan FMIPA UNNES,
3. Drs. Edy Cahyono, M.Si, Ketua Jurusan Kimia FMIPA UNNES,
4. Dra. Sri Wardani, M.Si, Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dengan sabar dan bijaksana serta memberikan dorongan dari awal hingga akhir penulisan Tugas Akhir II ini.
5. Drs. Jumaeri, M.Si, Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dengan sabar dan bijaksana serta memberikan dorongan dari awal hingga akhir penulisan Tugas Akhir II ini.
6. F. Widhi Mahatmanti, S.Si, M.Si, Dosen Penguji, yang telah memberikan masukan, sumbangan ilmu, tips dan sarannya.
7. Seluruh Dosen Jurusan Kimia, yang telah memberikan ilmunya kepada penulis,

8. Semua karyawan FMIPA yang telah membantu dalam pengurusan ijin penelitian.
9. Keluarga besarku yang selalu memberikan semangat baik secara material maupun spiritual.
10. Teman-temanku semua yang telah membantu dan selalu memberikan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir II ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir II ini.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa karya ini masih belum sempurna, maka dari itu kritik dan saran yang sifatnya membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan. Akhirnya penulis berharap semoga hasil penelitian ini bermanfaat dan dapat memberikan kontribusi yang positif bagi perkembangan dunia penelitian di Universitas Negeri Semarang pada umumnya dan kimia pada khususnya.

Semarang, Februari 2006

Penulis

SARI

Dwita Srihapsari. 2006. *Penggunaan Zeolit Alam yang telah Diaktivasi dengan Larutan HCl Untuk Menjerap Logam-logam Penyebab Kesadahan Air*. Tugas Akhir II. Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I : Dra. Sri Wardani, M.Si. Pembimbing II : Drs. Jumaeri, M.Si.

Air merupakan bahan yang sangat penting bagi kehidupan umat manusia, dan fungsinya bagi kehidupan tidak dapat digantikan oleh senyawa lain. Namun air yang tersedia tidak semuanya langsung bisa dimanfaatkan, karena air yang bersifat sadah cenderung menimbulkan masalah baru. Oleh karena itu dilakukan percobaan untuk mengurangi kesadahan air dengan menggunakan zeolit alam. Zeolit alam merupakan mineral yang mempunyai sifat sebagai penjerap yaitu mampu menjerap ion-ion logam penyebab kesadahan air melalui pertukaran ion. Zeolit alam akan berdaya jerap tinggi bila telah mengalami aktivasi terlebih dahulu.

Pada penelitian ini, sampel yang digunakan adalah zeolit alam Bandung dan air sadah. Untuk menguji penjerapan logam-logam penyebab kesadahan air oleh zeolit maka dilakukan empat tahap kerja yaitu : aktivasi zeolit, menghitung kesadahan air sebelum direaksikan dengan zeolit (kesadahan awal), mereaksikan zeolit dengan air sadah, menghitung kesadahan air setelah direaksikan dengan zeolit (kesadahan akhir). Proses aktivasi zeolit dilakukan secara fisika dan kimia. Secara fisika dengan pemanasan, dan secara kimia dengan menggunakan HCl. Selanjutnya zeolit digunakan untuk menjerap logam-logam penyebab kesadahan air. Variabel bebas yang digunakan adalah : massa zeolit (2, 4, 6, 8, 10 gram) dan konsentrasi HCl (1, 2, 3 M).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolit alam yang telah diaktivasi dengan larutan HCl mampu menjerap logam-logam penyebab kesadahan air, sehingga dapat menurunkan tingkat kesadahan air. Nilai kesadahan turun dari 351,068 menjadi 75,068. Kemampuan penjerapan maksimal zeolit yang diperoleh dari penelitian ini sebesar 130,285 mg/L pada konsentrasi HCl 2M dan massa zeolit yang digunakan 8 gram. Hasil analisis IR menunjukkan bahwa dengan perlakuan asam padatan zeolit lebih bersih dari pengotor sehingga pori-pori zeolit lebih terbuka dan kemampuannya dalam menjerap logam-logam penyebab kesadahan air juga besar. Begitu pula dengan penggunaan massa zeolit, semakin banyak massa zeolit yang digunakan maka jumlah ion-ion yang terjerap pun semakin besar. Sedangkan pada hasil analisis X-ray menunjukkan tidak terjadi perubahan struktur padatan secara signifikan akibat perlakuan asam.

Kata kunci : Zeolit alam, aktivasi, penjerapan, air sadah.

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Persetujuan Pembimbing	ii
Halaman Pengesahan	iii
Surat Pernyataan	iv
Motto	v
Persembahan	vi
Kata Pengantar	vii
Sari	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Lampiran	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Alasan Pemilihan Judul	1
B. Permasalahan	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Penegasan Istilah	4
F. Sistematika Tugas Akhir II	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Zeolit	7
B. Kesadahan Air	13
C. Teori Penjerapan	18
D. Analisis Secara Spektrofotometri Serapan Atom	20
E. Spektrofotometri Inframerah	23
F. Metode Difraksi Sinar-X	27
G. Titrasi Kompleksometri	29

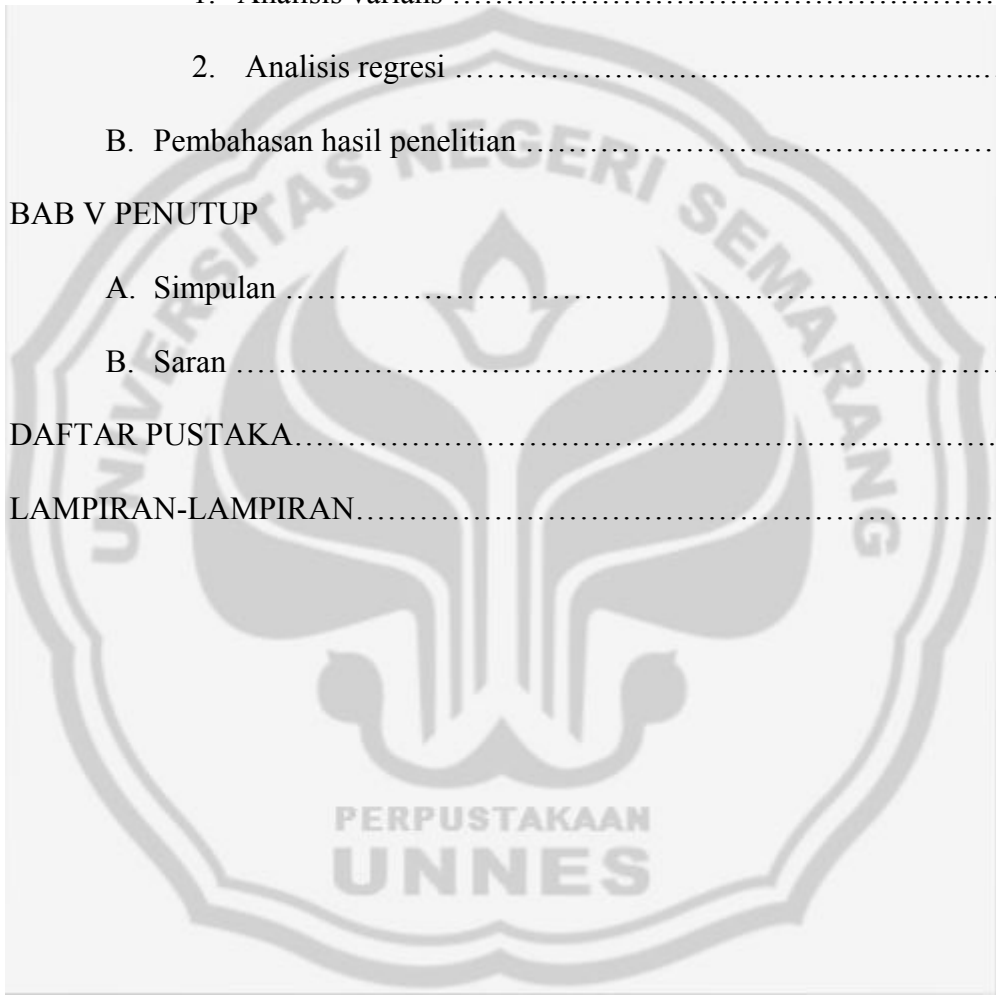
BAB III METODE PENELITIAN

A. Populasi	31
B. Sampel	31
C. Variabel Penelitian	31
D. Metode Pengumpulan Data	32
E. Prosedur Penelitian	32

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian	
a. Karakterisasi zeolit alam	38
1. Analisis Jenis Mineral	38
2. Analisis Spektroskopi IR	40
b. Karakteristik air sumur	43
c. Kajian perlakuan asam terhadap zeolit alam	44
1. Analisis Spektroskopi IR	45

2. Analisis Difraksi Sinar-X	48
d. Penjerapan zeolit terhadap logam-logam penyebab kesadahan air	50
e. Hasil Analisis Data	51
1. Analisis varians	52
2. Analisis regresi	53
B. Pembahasan hasil penelitian	55
BAB V PENUTUP	
A. Simpulan	61
B. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN-LAMPIRAN	66



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Syarat Air Minum berdasarkan Standart Internasional.....	15
Tabel 2.2 Pembagian Air Menurut Tingkat Kesadahan	16
Tabel 4.1 Spektra Inframerah dari Zeolit Alam	43
Tabel 4.2 Data Titrasi Penentuan Kesadahan Total	51
Tabel 4.3 Data Penjerapan Ion Ca^{2+} rata-rata	51
Tabel 4.4 Hasil Analisis Varians	52
Tabel 4.5 Hasil Analisis Regresi	53
Tabel 4.6 Hasil Uji F	55



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Kerangka Utama Zeolit	8
Gambar 2.2 Unit Pembangun Zeolit	8
Gambar 2.3 Struktur Penyusun Zeolit	9
Gambar 2.4 Struktur Pori di dalam Zeolit	9
Gambar 2.5 Diagram SSA.....	20
Gambar 3.1 Diagram Cara Kerja Penelitian	37
Gambar 4.1 Difraktogram Zeolit Alam	39
Gambar 4.2 Spektra Inframerah Zeolit Alam	41
Gambar 4.3 Spektra Inframerah Zeolit Alam dan Zeolit Hasil Perlakuan pada Bilangan Gelombang $4000-300\text{ cm}^{-1}$	45
Gambar 4.4 Spektra Inframerah Adsorben Zeolit Hasil Perlakuan pada Bilangan Gelombang $4000-1250\text{ cm}^{-1}$	46
Gambar 4.5 Spektra Inframerah Adsorben Zeolit Hasil Perlakuan pada Bilangan Gelombang $1250-300\text{ cm}^{-1}$	48
Gambar 4.6 Difraktogram Zeolit Hasil Perlakuan HCl 2M	49
Gambar 4.7 Difraktogram Zeolit Alam dan Zeolit Hasil Perlakuan HCl 2M	50
Gambar 4.8 Grafik Hubungan antara Konsentrasi HCl dan Massa Zeolit Terhadap Kesadahan	58

Gambar 4.9 Grafik Hubungan antara Konsentrasi HCl dan Massa Zeolit terhadap Jumlah Ion Ca^{2+} yang Terjerap 58



DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Data analisis awal kadar Ca dan Mg dalam sampel air sumur Laboratorium Kimia Analitik UGM.....	67
Lampiran 2. Grafik Absorbansi Standart.....	69
Lampiran 3. Data analisis kadar Ca dan Mg dalam sampel air Sumur Laboratorium Kimia Analitik UGM.....	70
Lampiran 4. Penentuan Kesadahan awal total.....	71
Lampiran 5. Data Titrasi penentuan kesadahan total.....	74
Lampiran 6. Perhitungan nilai kesadahan total titrasi kompleksometri.....	78
Lampiran 7. Difraktogram zeolit alam.....	83
Lampiran 8. Difraktogram zeolit aktivasi HCl 2M.....	89
Lampiran 9. Joint Committee on Powder Diffraction Standarts.....	95
Lampiran 10. Spektra IR zeolit alam.....	97
Lampiran 11. Spektra IR zeolit aktivasi HCl 1, 2, 3 M Bilangan gelombang 4000 cm^{-1} -1250 cm^{-1}	98
Lampiran 12. Spektra IR zeolit aktivasi HCl 1, 2, 3 M Bilangan gelombang 1250 cm^{-1} -300 cm^{-1}	99
Lampiran 13. Spektra IR zeolit aktivasi HCl 1 M Bilangan gelombang 4000 cm^{-1} -300 cm^{-1}	100

Lampiran 14. Spektra IR zeolit aktivasi HCl 2 M	
Bilangan gelombang 4000 cm^{-1} -300 cm^{-1}	101
Lampiran 15. Spektra IR zeolit aktivasi HCl 3 M	
Bilangan gelombang 4000 cm^{-1} -300 cm^{-1}	102
Lampiran 16. Spektra IR zeolit aktivasi HCl 1 M	
Bilangan gelombang 4000 cm^{-1} -1250 cm^{-1}	103
Lampiran 17. Spektra IR zeolit aktivasi HCl 2 M	
Bilangan gelombang 4000 cm^{-1} -1250 cm^{-1}	104
Lampiran 18. Spektra IR zeolit aktivasi HCl 3 M	
Bilangan gelombang 4000 cm^{-1} -1250 cm^{-1}	105
Lampiran 19. Spektra IR zeolit aktivasi HCl 1 M	
Bilangan gelombang 1250 cm^{-1} -300 cm^{-1}	106
Lampiran 20. Spektra IR zeolit aktivasi HCl 2 M	
Bilangan gelombang 1250 cm^{-1} -300 cm^{-1}	107
Lampiran 21. Spektra IR zeolit aktivasi HCl 3 M	
Bilangan gelombang 1250 cm^{-1} -300 cm^{-1}	108
Lampiran 22. Analisis varians.....	109
Lampiran 23. Analisis regresi.....	113
Lampiran 24. Surat Ijin Penelitian.....	116
Lampiran 25. Surat Penetapan Pembimbing.....	117
Lampiran 26. Surat Penetapan Ujian Tugas Akhir II.....	118

BAB I

PENDAHULUAN

A. Alasan Pemilihan Judul

Air merupakan bahan yang sangat penting bagi kehidupan umat manusia, fungsinya bagi kehidupan tidak pernah bisa digantikan oleh senyawa lain. Namun air yang tersedia tidak semuanya langsung bisa dimanfaatkan, karena air yang bersifat sadah cenderung menimbulkan masalah baru.

Air sadah adalah air yang mengandung garam-garam kalsium dan magnesium dalam jumlah yang cukup besar. Garam-garam ini biasanya berupa garam bikarbonat, klorida, sulfat dan nitrat. Senyawa kalsium dan magnesium bereaksi dengan sabun membentuk endapan dan mencegah terjadinya busa dalam air. Oleh karena senyawa-senyawa kalsium dan magnesium relatif sukar larut dalam air, maka senyawa-senyawa itu cenderung untuk memisah dari larutan dalam bentuk endapan atau presipitat yang akhirnya menjadi kerak. Dalam pemakaian yang cukup lama air sadah dapat menimbulkan gangguan ginjal akibat terakumulasinya endapan CaCO_3 dan MgCO_3 dalam ginjal.

Untuk memperoleh air bersih yang layak dikonsumsi diperlukan suatu cara pengolahan yang lebih baik. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah filtrasi (penyaringan). Metode ini dapat diterapkan di daerah pedesaan yang berada ditepi sungai ataupun sumber air lain.

Media filter yang biasanya digunakan adalah pasir, kerikil, ijuk, arang aktif dan zeolit. Di Indonesia zeolit tampaknya belum mendapat perhatian yang memadai sebagai media filtrasi air bersih. Padahal Indonesia secara geografis terletak pada jalur gunung berapi yang memiliki potensi zeolit yang cukup besar.

Dalam rangka mempelajari metode alternatif untuk menurunkan kesadahan air, pada penelitian ini digunakan zeolit alam sebagai penukar ion (ion exchange). Yang dimaksud pertukaran ion adalah proses pertukaran ion-ion dari suatu larutan elektrolit dengan ion dari zeolit. Pertukaran hanya dapat terjadi diantara ion-ion yang sejenis dan berlangsung dalam waktu yang sangat singkat. Pertukaran kation berlangsung bila kation yang bergerak dan bermuatan positif terikat pada gugus yang bermuatan negatif saling bertukar dengan kation lain yang terdapat dalam larutan. Demikian sebaliknya dengan anion.

Dalam penelitian ini asam yang digunakan adalah asam klorida (HCl) karena asam klorida dikenal sebagai asam yang mampu melarutkan senyawa yang bersifat anorganik (Nuryono, dkk 2002). Aktivasi zeolit dengan HCl dapat membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan (Wibowo, 2001 yang dikutip oleh Dina). Konsentrasi asam klorida (HCl) yang digunakan adalah sebesar 1, 2, 3 M. Sedangkan massa zeolit yang digunakan bervariasi dengan harapan untuk mengetahui berapa massa zeolit yang paling optimum untuk menjerap logam-logam penyebab kesadahan air.

B. Permasalahan

Berdasarkan uraian diatas, maka masalah yang diharapkan dapat dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Adakah pengaruh konsentrasi HCl terhadap kemampuan zeolit alam dalam menyerap logam-logam penyebab kesadahan air.
2. Adakah pengaruh massa zeolit yang digunakan terhadap kemampuan zeolit alam dalam menyerap logam-logam penyebab kesadahan air.

C Tujuan Penelitian

1. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya pengaruh konsentrasi HCl terhadap kemampuan zeolit alam dalam menyerap logam-logam penyebab kesadahan air.
2. Mengetahui adanya pengaruh massa zeolit yang digunakan terhadap kemampuan zeolit alam dalam menyerap logam-logam penyebab kesadahan air.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan, utamanya dalam hal penurunan kesadahan air dengan menggunakan zeolit alam. Mengingat keberadaan zeolit alam cukup melimpah karena di Indonesia secara geografis terletak pada jalur gunung berapi sehingga memiliki potensi zeolit yang cukup besar maka hasil penelitian ini akan memberikan kontribusi yang positif terhadap pemecahan masalah lingkungan.

Data hasil penelitian yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai bahan pertimbangan dalam pengolahan air yang memiliki tingkat kesadahan tinggi.

E. Penegasan Istilah

Untuk membatasi guna menghindari kesalahan penafsiran, peneliti perlu memberikan batasan dan keterangan arti kata yang menjadi masalah dalam Tugas Akhir II ini.

1. Zeolit

Zeolit berasal dari kata Yunani *zein* yang berarti membuih dan *lithos* yang berarti batu. Zeolit merupakan mineral hasil tambang yang bersifat lunak dan mudah kering. Warna dari zeolit adalah putih keabu-abuan, putih kehijau-hijauan, atau putih kekuning-kuningan. Ukuran kristal zeolit kebanyakan tidak lebih dari 10-15 mikron (Mursi Sutarti, 1994).

2. Aktivasi

Aktivasi adalah proses yang dilakukan agar dapat diperoleh luas permukaan pori serta membuang senyawa pengotor dari zeolit.

3. Menjerap

Menjerap adalah gejala yang terjadi di permukaan karena adanya perbedaan potensial kimia suatu zat di permukaan terhadap konsentrasi di bagian dalam pada fasa yang berbatasan. Hal tersebut bisa terjadi bila permukaan padatan menarik spesies ionik atau molekuler dari cairan.

4. Air sadah

Air sadah adalah air yang mengandung garam-garam kalsium/magnesium bikarbonat, kalsium/magnesium sulfat serta kalsium/magnesium klorida.

F. Sistematika Tugas Akhir II

Untuk memberikan gambaran isi dari penelitian, maka peneliti membuat sistematika tugas akhir II. Secara garis besar sistematika tugas akhir II ini adalah sebagai berikut :

A. Bagian Pendahuluan

Bagian ini terdiri dari halaman judul, halaman pengesahan, abstrak, halaman motto dan persembahan, kata pengantar, daftar tabel, daftar gambar dan daftar lampiran.

B. Bagian Isi

Bagian ini terdiri dari lima bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang alasan pemilihan judul, permasalahan, penegasan istilah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika tugas akhir.

BAB II LANDASAN TEORI

Landasan teori ini berisi mengenai tinjauan pustaka.

BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini berisi mengenai populasi penelitian, sampel penelitian, variabel penelitian, metode penumpulan data dan metode analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

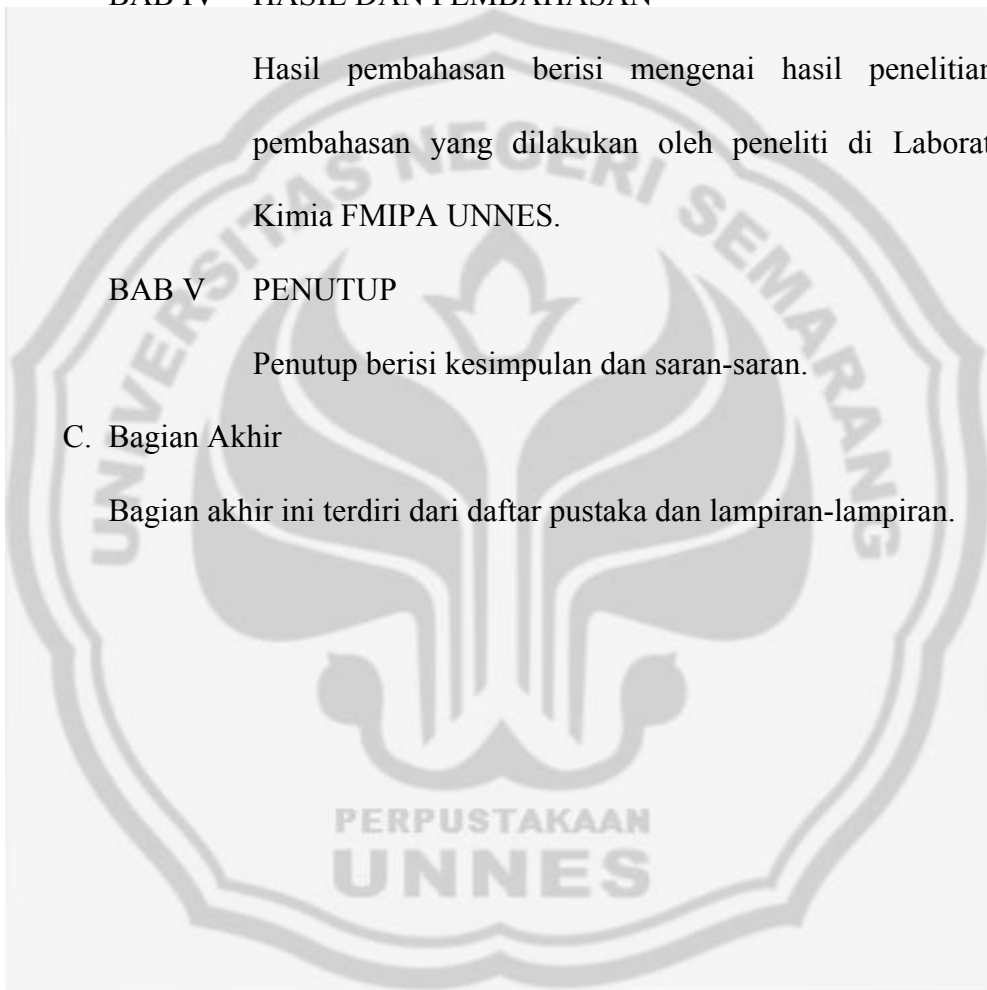
Hasil pembahasan berisi mengenai hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan oleh peneliti di Laboratorium Kimia FMIPA UNNES.

BAB V PENUTUP

Penutup berisi kesimpulan dan saran-saran.

C. Bagian Akhir

Bagian akhir ini terdiri dari daftar pustaka dan lampiran-lampiran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Zeolit

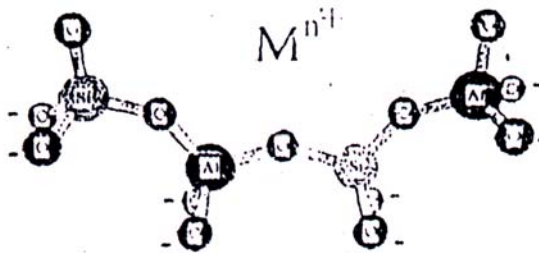
a. Tentang Zeolit

Kata “zeolit” berasal dari kata Yunani *zein* yang berarti membuih dan *lithos* yang berarti batu. Zeolit merupakan mineral hasil tambang yang bersifat lunak dan mudah kering. Warna dari zeolit adalah putih keabu-abuan, putih kehijau-hijauan, atau putih kekuning-kuningan. Ukuran kristal zeolit kebanyakan tidak lebih dari 10–15 mikron (Mursi Sutarti, 1994)

Zeolit terbentuk dari abu vulkanik yang telah mengendap jutaan tahun silam. Sifat-sifat mineral zeolit sangat bervariasi tergantung dari jenis dan kadar mineral zeolit. Zeolit mempunyai struktur berongga biasanya rongga ini diisi oleh air serta kation yang bisa dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekuler, senyawa penukar ion, sebagai filter dan katalis.

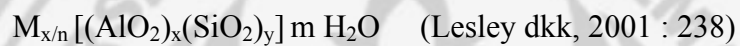
b. Struktur Zeolit

Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral $[AlO_4]$ dan $[SiO_4]$ yang saling berhubungan melalui atom O (Barrer, 1987).



Gambar 2.1 Kerangka utama zeolit

Dalam struktur tersebut Si^{4+} dapat diganti Al^{3+} (gambar 2), sehingga rumus umum komposisi zeolit dapat dinyatakan sebagai berikut :

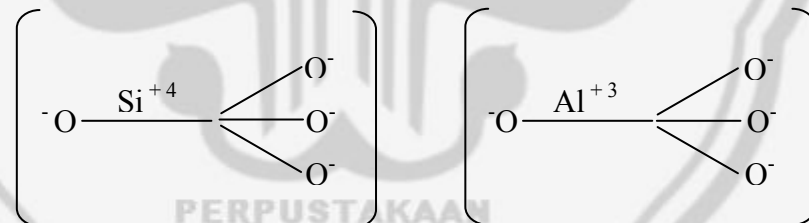


Dimana : n = Valensi kation M (alkali / alkali tanah)

x, y = Jumlah tetrahedron per unit sel

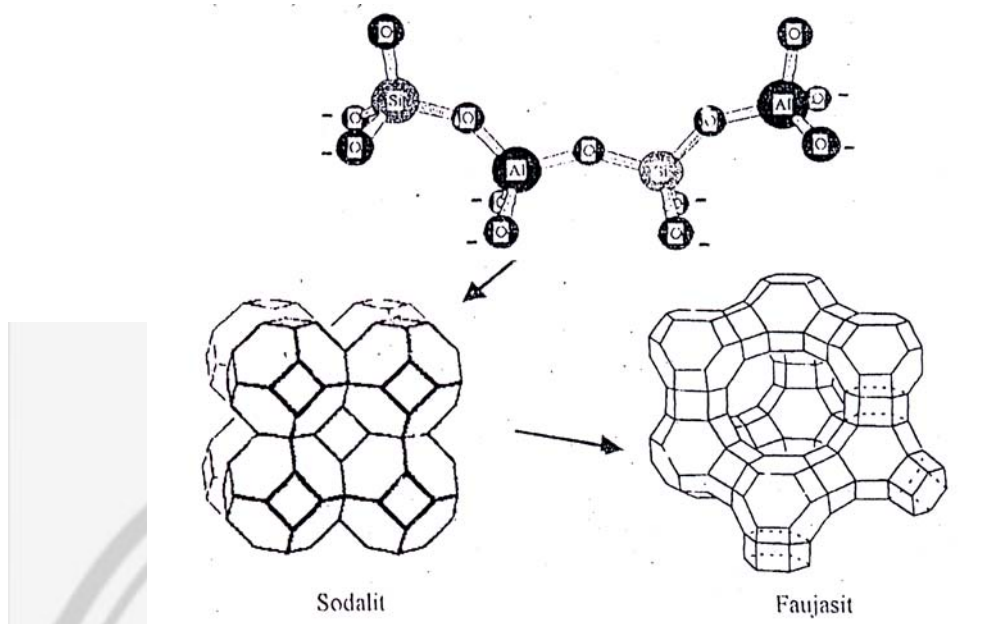
m = Jumlah molekul air per unit sel

M = Kation alkali / alkali tanah



Gambar 2.2 Unit pembangun zeolit

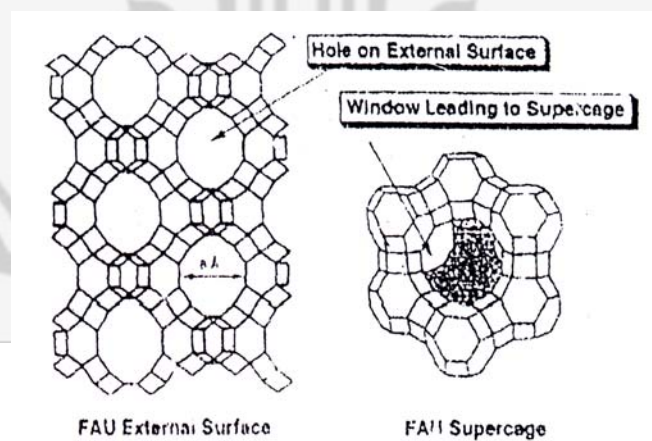
Sedangkan struktur penyusun zeolit dapat dilihat dari gambar 3 (Weller, 1994)



Gambar 2.3 Struktur Penyusun Zeolit

c. Sifat – sifat Zeolit

Zeolit mempunyai struktur berongga (gambar 4) yang biasanya diisi oleh air dan kation yang bisa dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu.



Gambar 2.4 Struktur Pori di dalam Zeolit
(Weller, 1994)

Zeolit mempunyai sifat-sifat kimia, diantaranya :

1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi zeolit berpengaruh terhadap sifat jerapannya. Keunikan zeolit terletak pada struktur porinya yang spesifik. Pada zeolit alam didalam pori-porinya terdapat kation-kation atau molekul air. Bila kation-kation atau molekul air tersebut dikeluarkan dari dalam pori dengan suatu perlakuan tertentu maka zeolit akan meninggalkan pori yang kosong (Barrer, 1982).

2. Penjerapan

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air yang berada disekitar kation. Bila zeolit dipanaskan maka air tersebut akan keluar. Zeolit yang telah dipanaskan dapat berfungsi sebagai penjerap gas atau cairan (Khairinal, 2000).

3. Penukar Ion

Ion-ion pada rongga berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari sifat kation, suhu, dan jenis anion (Bambang P, dkk, 1995).

4. Katalis

Zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi karena mampu menaikkan perbedaan lintasan molekular dari reaksi. Katalis berpori dengan pori-pori sangat kecil

akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk. Selektivitas molekuler seperti ini disebut *molecular sieve* yang terdapat dalam substansi zeolit alam (Bambang P, dkk, 1995).

5. Penyaring / pemisah

Zeolit sebagai penyaring molekul maupun pemisah didasarkan atas perbedaan bentuk, ukuran, dan polaritas molekul yang disaring. Sifat ini disebabkan zeolit mempunyai ruang hampa yang cukup besar. Molekul yang berukuran lebih kecil dari ruang hampa dapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar dari ruang hampa akan ditahan (Bambang P, dkk, 1995).

Zeolit adalah silikat hidrat dengan struktur sel berpori dan mempunyai sisi aktif yang mengikat kation yang dapat bertukar. Struktur inilah yang membuat zeolit mampu melakukan pertukaran ion. Zeolit alam merupakan mineral yang mempunyai sifat sebagai penjerap yaitu mampu menjerap ion-ion logam penyebab kesadahan air.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa zeolit alam mampu dimanfaatkan sebagai adsorben limbah pencemar dari beberapa industri. Zeolit mampu menjerap berbagai macam logam, antara lain Ni, Np, Pb, U, Zn, Ba, Ca, Mg, Sr, Cd, Cu dan Hg (Kosmulski, 2001).

Zeolit dibedakan menjadi 2 jenis yaitu zeolit alam dan zeolit buatan. Zeolit alam terbentuk karena adanya perubahan alam (zeolitisasi) dari bahan vulkanik dan dapat digunakan secara langsung untuk berbagai keperluan, namun daya jerap maupun

daya tukar ion zeolit ini belum maksimal. Untuk memperoleh zeolit dengan daya guna tinggi diperlukan suatu perlakuan yaitu dengan aktivasi. Sedangkan zeolit buatan merupakan hasil rekayasa manusia secara proses kimia yang bisa dimodifikasi sesuai kebutuhan.

Proses aktivasi zeolit alam dapat dilakukan dengan 2 cara, yang pertama yaitu secara fisika melalui pemanasan dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap di dalam pori-pori kristal zeolit, sehingga luas permukaannya bertambah (Khairinal, 2000). Proses pemanasan zeolit dikontrol, karena pemanasan yang berlebihan kemungkinan akan menyebabkan zeolit tersebut rusak.

Yang kedua aktivasi zeolit secara kimia dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Proses aktivasi zeolit dengan perlakuan asam HCl pada konsentrasi 0,1N hingga 11N menyebabkan zeolit mengalami dealuminasi dan dekationisasi yaitu keluarnya Al dan kation-kation dalam kerangka zeolit. Aktivasi asam menyebabkan terjadinya dekationisasi yang menyebabkan bertambahnya luas permukaan zeolit karena berkurangnya pengotor yang menutupi pori-pori zeolit. Luas permukaan yang bertambah diharapkan meningkatkan kemampuan zeolit dalam proses penjerapan (Weitkamp, 1999). Menurut Hamdan yang dikutip oleh Dina tingginya kandungan Al dalam kerangka zeolit menyebabkan kerangka zeolit sangat hidrofilik. Sifat hidrofilik dan polar dari zeolit ini merupakan

hambatan dalam kemampuan penjerapannya. Proses aktivasi dengan asam dapat meningkatkan kristalinitas, keasaman dan luas permukaan (Hari, 2001 yang dikutip oleh Dina).

(Herald, 2003) juga mengkaji aktivasi asam terhadap zeolit alam asal Ponorogo dan Wonosari. Asam yang dipergunakan adalah HCl, HNO₃, H₂SO₄ dan H₃PO₄. Hasilnya menunjukkan bahwa perlakuan asam terhadap zeolit alam asal Ponorogo dan Wonosari meningkatkan daya jerap zeolit terhadap limbah cair. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa perlakuan asam telah berhasil melepaskan aluminium dari kerangka zeolit dan mampu meningkatkan keasaman zeolit. Peningkatan keasaman zeolit disebutkan mampu memperbesar kemampuan penjerapan zeolit. Hal itu terjadi karena banyaknya pori-pori zeolit yang terbuka dan permukaan padatnya menjadi bersih dan luas.

B. Kesadahan Air

Air merupakan unsur penting dalam kehidupan yang hampir seluruh kehidupan di dunia tidak lepas dari adanya air. Sebuah molekul air terdiri dari sebuah atom oksigen yang berikatan kovalen dengan dua atom hidrogen dengan rumus kimiawi H₂O (Winarno, 1997).

Syarat Air minum menurut WHO :

Syarat kimia dan fisik

1 Zat-zat yang membahayakan kesehatan

Timbal (Pb) tidak boleh melebihi 0,1 ppm

Selenium (Se) tidak boleh melebihi 0,05 ppm

Arsen (As) tidak boleh melebihi 0,05 ppm

Krom (Cr) tidak boleh melebihi 0,05 ppm

Tembaga (Cu) tidak boleh melebihi 1,5 ppm

Fluorida (F) tidak boleh melebihi 1 ppm

2 Zat-zat dan sifat-sifat yang tidak membahayakan kesehatan, akan tetapi tidak dikehendaki dalam air bila melewati batas.

Rasa : harus tidak mengganggu indera

Bau : harus tidak mengganggu indera

Sisa pengesatan : tidak boleh melebihi 500-1000 ppm

Warna : tidak boleh melebihi 5-30 units

Derajat kekeruhan : tidak boleh melebihi 5-25 ppm SiO_2

Besi (Fe) : tidak boleh melebihi 0,3-1 ppm

Mangan (Mn) : tidak boleh melebihi 0,1-0,3 ppm

Seng (Zn) : tidak boleh melebihi 1,0-15 ppm

Kalsium (Ca) : tidak boleh melebihi 75-100 ppm

Magnesium (Mg) : tidak boleh melebihi 50-100 ppm

Sulfat (SO_4) : tidak boleh melebihi 250-500 ppm

Klorida (Cl) : tidak boleh melebihi 300-600 ppm

Nitrogen Nitrat : tidak boleh melebihi 10-30 ppm

pH : tidak boleh melebihi 7,0-8,5

6,5-9,2

Tabel 2.1 Syarat Air minum berdasarkan Standart Internasional :

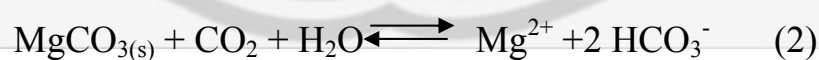
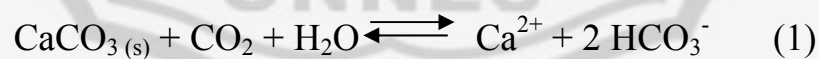
	Diperbolehkan	Maksimum
Total Solid	500 mg/L	1500 mg/L
Warna	5 unit	50 unit
Turbiditi	5 unit	25 unit
Rasa	Tidak berasa	-

Bau	Tidak berbau	-
Besi (Fe)	0,3 mg/L	1,0 mg/L
Mangan (Mn)	1,0 mg/L	0,5 mg/L
Tembaga (Cu)	1,0 mg/L	1,5 mg/L
Zink (Zn)	5,0 mg/L	15 mg/L
Kalsium (Ca)	75 mg/L	200 mg/L
Magnesium (Mg)	50 mg/L	150 mg/L
Sulfat (SO ₄)	200 mg/L	400 mg/L
Klorida (Cl)	200 mg/L	600 mg/L
Interval pH	7,0–8,5	< 6,5
Magnesium+sodium sulfat	500 mg/L	1000mg/L
Senyawa phenol	0,001 mg/L	0,002 mg/L

Mineral-mineral yang menjadi penyebab kesadahan air adalah garam–garam kalsium/magnesium bikarbonat, kalsium/magnesium sulfat serta kalsium /magnesium klorida.

Air sadah pada umumnya terdapat pada daerah yang mempunyai pembentukan batu kapur secara geologi yang berlangsung ekstensif. Batu-batuan karbonat mudah mengalami erosi dengan adanya air yang mengandung CO₂ terlarut, yang reaksinya dapat ditunjukkan oleh :

Persamaan 1 dan 2 (O'Neill, 1994)



Adapun pembagian air menurut derajat kesadahannya adalah sebagai berikut : Tabel. 2.2 Pembagian air menurut tingkat kesadahan (Winarno, 1986)

Jenis Air	mg / L(ppm) CaCO ₃
Air Lunak	50
Air agak Sadah	50 – 100
Air Sadah	100 – 200
Air sangat Sadah	>200

Kesadahan air yang dianggap baik bila nilai kesadahannya antara 50 – 80 mg/L. Kesadahan dibagi menjadi 2 kelompok :

1. Kesadahan karbonat atau kesadahan temporer atau kesadahan sementara

Yaitu kesadahan yang disebabkan oleh kalsium, magnesium, karbonat dan bikarbonat. Jenis kesadahan ini dapat dihilangkan dengan cara pemanasan.

2. Kesadahan non-karbonat atau kesadahan permanen atau kesadahan tetap.

Yaitu kesadahan yang disebabkan oleh garam kalsium sulfat, kalsium klorida, magnesium sulfat, dan magnesium klorida. Jenis kesadahan ini tidak dapat dihilangkan dengan pemanasan.

Interaksi antara Zeolit dengan Air Sadah

Zeolit dalam berinteraksi dengan Ca dan Mg yang merupakan logam-logam penyebab kesadahan air, sesuai dengan sifatnya sebagai penjerap dan penukar ion. Sifat-sifat penjerap disebabkan karena adanya pori-pori atau ruang hampa yang terbentuk bila kristal

dipanaskan. Selektivitas penjerapan zeolit terhadap ukuran molekul tertentu dapat disesuaikan dengan jalan pertukaran kation.

Ion-ion pada rongga atau kerangka zeolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga dapat dipertukarkan. Pertukaran ion dalam zeolit merupakan proses pertukaran kation yang ada dalam sistem pori intra kristalin dengan kation lain yang berasal dari larutan. Pertukaran ion tidak berlangsung sempurna jika konsentrasi larutan tidak cukup besar. Kekuatan zeolit sebagai penjerap, katalis, dan penukar ion sangat tergantung dari perbandingan Al dan Si, sehingga dikelompokkan menjadi 3 (Mursi Sutarti, 1994 :285) :

1. Zeolit dengan kadar Si rendah

Zeolit jenis ini banyak mengandung Al (kaya Al), berpori, mempunyai nilai ekonomi tinggi karena efektif untuk pemisahan atau pemurnian dengan kapasitas besar. Volume porinya dapat mencapai $0,5 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ volume zeolit. Kadar maksimum Al dicapai jika perbandingan Si/Al mendekati 1 dan keadaan ini mengakibatkan daya penukaran ion maksimum.

2. Zeolit dengan kadar Si sedang

Kerangka tetrahedral Al dari zeolit tidak stabil terhadap pengaruh asam dan panas. Jenis zeolit mordenit mempunyai perbandingan Si/Al = 5 sangat stabil.

3. Zeolit dengan kadar Si tinggi

Zeolit ini mempunyai perbandingan Si/Al =10-100 sehingga sifat permukaannya tidak dapat diperkirakan lebih awal. Sangat

higroskopis dan menyerap molekul non-polar sehingga baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon.

C. Teori Penjerapan

Penjerapan adalah gejala yang terjadi pada permukaan karena adanya perbedaan potensial kimia suatu zat dipermukaan terhadap konsentrasi dibagian dalam pada fasa yang berbatasan. Hal tersebut bisa terjadi bila permukaan padatan menarik spesies ionik atau molekuler dari cairan. Padatan berpori yang mudah menyerap dan mempunyai luas permukaan yang besar serta merupakan butir kristal yang sangat halus disebut sebagai penyerap. Bahan padatan yang digunakan sebagai penyerap diantaranya adalah zeolit.

Zeolit mempunyai struktur pori dengan ukuran tertentu dan luas permukaan yang besar sehingga dapat berfungsi sebagai penyerap dengan selektivitas dan kemampuan penyerapan yang cukup tinggi. Struktur zeolit yang memiliki pori dengan ukuran tertentu menyebabkan molekul-molekul dengan ukuran kecil mampu terjebak dalam struktur zeolit. Struktur zeolit yang mempunyai pori dan saluran-saluran biasanya diisi oleh molekul air yang dapat dipertukarkan dengan kation-kation yang sesuai, seperti Ca^{2+} , Na^+ , K^+ dan Mg^{2+} . Molekul air dapat dikeluarkan dari pori zeolit dengan pemanasan. Struktur pori yang ada pada zeolit mampu digunakan untuk memisahkan gas-gas yang berbeda ditinjau dari ukurannya (Guisnet, 1998 yang dikutip Dina). Selain itu, zeolit mampu digunakan untuk memisahkan senyawa polar dan non-polar berdasarkan muatan yang ada pada permukaan zeolit. Beberapa faktor yang mempengaruhi

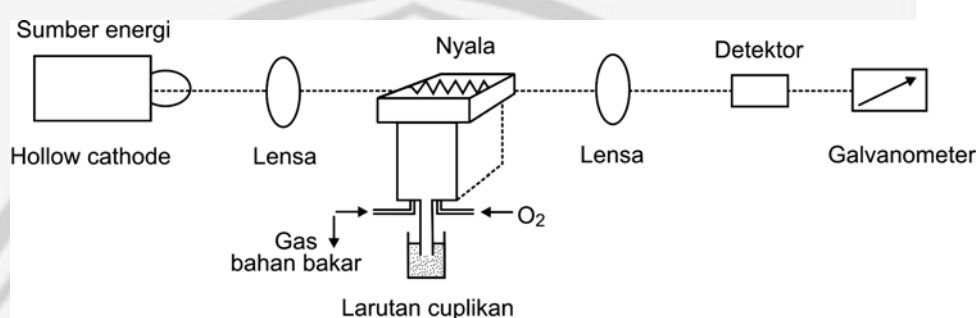
sifat penjerapan pada padatan zeolit antara lain : rasio Si/Al dalam struktur zeolit, ukuran pori dan volume pori, ukuran dan bentuk dari kerangka serta lorong dari zeolit (Bekum, 1991).

Menurut Cheremisinoff dan Ellerbush (1970) yang dikutip Itnawita (1996: 9) ada 2 metode penjerapan, yaitu secara fisika dan kimia. Penjerapan secara fisika terjadi karena perbedaan energi atau gaya tarik menarik (gaya Van der Waals). Penjerapan ini bersifat reversible, yang berarti atom-atom atau ion-ion yang terikat dapat dilepaskan kembali dengan bantuan pelarut tertentu yang sesuai dengan sifat atom atau ion yang diikat. Penjerapan secara fisika umumnya terjadi pada temperatur rendah, dengan bertambahnya temperatur jumlah penjerapan berkurang dengan menyolok (Castellan, 1971). Penjerapan secara kimia adalah molekul-molekul yang terjerap pada permukaan bereaksi secara kimia kemudian terjadi pemutusan dan pembentukan ikatan, penjerapan ini bersifat irreversible, pada pembentukannya diperlukan energi pengaktifan, sehingga untuk melepaskan diperlukan energi yang besarnya relatif sama dengan energi pada saat pembentukan.

D. Analisis Secara Spektrofotometri Serapan Atom

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) adalah suatu metode atau cara analisis secara kuantitatif menggunakan instrumen spektrofotometer serapan atom. Alat spektrofotometer serapan atom berprinsip pada penyerapan cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu tergantung pada sifat-sifat unturnya. Penyerapan tersebut menyebabkan tereksitasinya atom ke

tingkat energi yang lebih tinggi. Prinsip kerja metode ini mirip dengan metode fotometri nyala tetapi sumber energinya berupa lampu katode berlubang (*hollow cathode lamp*) sedang nyala pembakar berguna untuk mengaktifkan atom-atom logam sebelum menyerap energi. Karena itu, dengan metode ini hampir semua atom logam yang terdaftar dalam sistem periodik dapat ditentukan konsentrasinya.



Cuplikan yang diukur dalam SSA adalah berupa larutan, biasanya air sebagai pelarutnya. Larutan cuplikan tersebut mengalir ke dalam ruang pengkabutan, karena terisap oleh aliran gas bahan bakar dan oksigen yang cepat. Berbeda dengan spektroskopi sinar tampak, metode ini tidak mempedulikan warna larutan, sedangkan larutan cuplikan diatomisasi dahulu (Sumar Hendayana, 1994).

1. Instrumen

a. Sumber Radiasi

Sumber yang dapat memberikan garis emisi yang tajam dari suatu unsur spesifik tertentu dikenal sebagai lampu pijar *hollow cathode*. Lampu ini mempunyai 2 elektrode, dan diisi dengan gas mulia (Ne atau Ar) bertekanan rendah (1–5 torr). Katode berbentuk silinder dan terbuat dari unsur yang dianalisis. Dengan pemberian

tegangan (30–400 Volt) pada arus tertentu (3–25 Ampere), logam mulai memijar, dan atom-atom logam katodenya akan teruapkan, tereksitasi kemudian mengemisikan radiasi pada panjang gelombang seperti logam yang dianalisis.

Sekarang ini telah tersedia lampu *hollow cathode* yang terbuat dari bermacam-macam unsur, sehingga memudahkan pekerjaan karena tidak perlu menukar lampu. Misalkan saja : (Ca, Mg, Al); (Fe, Cu, Mn); dan (Cr, Co, Cu, Fe), dikenal sebagai *hollow cathode* multi unsur (S.M Khopkar, 1984).

b. Unit atomisasi

Pada unit ini unsur yang akan dianalisis yang semula ada dalam bentuk ion (dalam larutan) diubah menjadi atom-atom bebas. Atomisasi dapat dilakukan dengan nyala atau tanpa nyala (dengan tungku grafit, pembentukan hibrida, pembentukan uap dingin). Agar atomisasi dapat berjalan dengan sempurna maka suhu harus benar-benar terkendali. Ionisasi harus dihindari dan ini dapat terjadi pada suhu yang terlalu tinggi (S.M Khopkar, 1984).

c. Monokromator

Monokromator berfungsi mengisolasi salah satu garis resonansi dari sekian banyak spektra yang dihasilkan oleh lampu katode cekung. Monokromator akan menghasilkan berkas sinar

monokromatik dari polikromatik. Dalam monokromator digunakan cermin, lensa, prisma, celah / slit, dan filter.

d. Detektor

Detektor berfungsi mengubah energi sinar menjadi energi listrik sehingga dapat terbaca oleh sistem pembacaan. Energi listrik yang dihasilkan tersebut nantinya dapat menggerakkan jarum, mengeluarkan angka digital, menggerakkan pen pada rekorder, atau menampilkan angka pada monitor.

e. Sistem Pembacaan

Sistem ini berfungsi membaca serapan sinar yang telah diubah menjadi energi listrik oleh monokromator, dapat berupa rekorder atau monitor tergantung keperluan.

2. Kelebihan Analisis SSA

Kelebihan analisis unsur dengan SSA antara lain analisis dapat dilakukan dengan cepat, ketelitian tinggi sampai tingkat runtu (kemungkinan untuk menentukan konsentrasi semua unsur pada konsentrasi runtu), dan tidak memerlukan pemisahan (penentuan suatu unsur dapat dilakukan dengan kehadiran unsur lain, asalkan katoda berongga yang diperlukan tersedia) (S.M Khopkar, 1984).

Dalam penelitian ini, SSA digunakan untuk mengetahui kadar logam-logam penyebab kesadahan air diantaranya Ca^{2+} dan Mg^{2+} oleh zeolit.

E. Spektrofotometri Infra Merah (Infra Red / IR)

1. Pengertian

Spektroskopi infra merah merupakan teknik analisis kimia yang metodenya berdasarkan pada penyerapan sinar infra merah (IR) oleh molekul senyawa. Panjang gelombang IR tergolong pendek, yakni sekitar 0.78 – 1000 μm , sehingga tidak mampu mentransisikan elektron, melainkan hanya menyebabkan molekul bergetar (vibrasi) (S.M Khopkar, 1984).

2. Vibrasi Molekul dan Spektra IR

Atom–atom dalam suatu molekul tidak diam melainkan bervibrasi / bergetar. Hal ini disebabkan karena ikatan kimia yang menghubungkan 2 atom dapat dimisalkan sebagai 2 bola yang dihubungkan oleh pegas (Sumar Hendayana, 1994). Bila radiasi IR dilewatkan melalui suatu cuplikan (dapat berupa padatan atau cairan murninya) maka molekul – molekul dapat menyerap energi sehingga terjadi perubahan tingkat vibrasi, yakni dari tingkat vibrasi dasar (*ground state*) ke tingkat vibrasi tereksitasi (*excited state*) (S.M Khopkar, 1984).

Spektroskopi IR digunakan untuk penentuan stuktur, yakni informasi penting tentang gugus fungsional suatu molekul. Penentuan stuktur ini dilakukan dengan melihat plot spektrum IR yang terdeteksi oleh alat spektrofotometer IR. Spektrum ini menyatakan jumlah radiasi infra merah yang

diteruskan melalui cuplikan sebagai fungsi frekuensi atau bilangan gelombang (Sumar Hendayana, 1994).

Semakin rumit struktur suatu molekul, semakin banyak bentuk-bentuk vibrasi yang mungkin terjadi. Akibatnya kita akan melihat banyak pita-pita absorpsi yang diperoleh pada spektrum IR. Perlu diketahui bahwa atom-atom dengan massa rendah cenderung lebih mudah bergerak daripada atom dengan massa lebih tinggi. Contohnya vibrasi yang melibatkan atom hidrogen sangat berarti (Sumar Hendayana, 1994).

3. Instrumen Spektrofotometer Infra Merah

Mula-mula sinar infra merah dilewatkan melalui sampel dan larutan pembanding, kemudian dilewatkan pada monokromator untuk menghilangkan sinar yang tidak diinginkan (*stray radiation*). Berkas ini kemudian didispersikan melalui prisma atau grating. Dengan melewatkannya melalui slit, sinar tersebut dapat difokuskan pada detektor yang akan mengubah berkas sinar menjadi sinyal listrik yang selanjutnya direkam oleh rekorder (S.M Khopkar, 1984).

a. Sumber radiasi

Sumber radiasi yang umum digunakan adalah Nernst atau lampu Glower, yang dibuat dari oksida zirkonium dan ytrium, berupa batang berongga dengan diameter 2 mm dan panjang 30 mm. Batang

ini dipanaskan sampai suhu 1500–2000 °C dan akan memberikan radiasi di atas 7000 cm⁻¹.

b. Monokromator

Monokromator yang digunakan dalam spektrofotometer IR terdiri dari berbagai macam bahan, seperti prisma dan celah yang terbuat dari gelas, lelehan silika, LiF, CaF₂, BaF₂, NaCl, AgCl, KBr, atau CsI. Prisma NaCl digunakan untuk daerah 4000–600 cm⁻¹ dan prisma KBr untuk 400 cm⁻¹. Dispersi paling tinggi dihasilkan dari refleksi grating yang disubstitusikan dalam prisma.

c. Detektor

Detektor yang banyak digunakan adalah detektor termal, yakni termokopel. Bolometer memberikan sinyal listrik sebagai hasil perubahan dalam tahanan konduktor metal dengan temperatur (S.M Khopkar, 1984)

4. Pengerjaan Sampel

Pengerjaan sampel untuk spektrofotometer IR menggunakan *window material*, berupa alkali halida seperti NaCl, KBr, atau CsI. Sampel yang dikerjakan dalam bentuk cair pada suhu kamar dan keadaan murni biasanya menggunakan jarum suntik untuk meneteskan sampel (S.M Khopkar, 1984). Salah satu teknik pengerjaan sampel yang berupa padatan adalah teknik KBr pellet. Padatan sampel digerus dalam mortar kecil bersama dengan kristal KBr

kering dalam jumlah sedikit sekali (0.5 – 2 mg cuplikan + 100 mg KBr kering). Campuran tersebut kemudian dipress dengan alat penekan hidrolik hingga menjadi pellet yang transparan. KBr harus kering dan akan lebih baik bila penumbukan dilakukan di bawah lampu IR untuk mencegah terjadinya kondensasi uap dari atmosfer. Tablet cuplikan tipis tersebut kemudian diletakkan di tempat sel spektrofotometer IR dengan lubang mengarah ke sumber radiasi (Sumar Hendayana, 1994).

Spektrofotometer IR dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui karakteristik padatan yang dihasilkan, seperti struktur ikatan dan gugus fungsi yang dikandungnya.

F. Metode Difraksi Sinar – X (X – Ray Diffraction)

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 $\pm 10^7 \text{ eV}$), yakni pengukuran radiasi sinar-X yang terdifraksi oleh bidang kristal (Endang Tri Wahyuni, 2003). Penghamburan sinar-X oleh unit-unit padatan kristalin, akan menghasilkan pola-pola difraksi yang digunakan untuk menentukan susunan partikel pada kisi padatan (Raymond Chang, 1998).

Kegunaan metode ini adalah :

1. Penentuan struktur kristal yakni bentuk dan ukuran sel satuan kristal, pengindeksan bidang kristal, dan jumlah atom per sel satuan.

2. Analisis kimia yakni identifikasi kristal, penentuan kemurnian hasil sintesis dan deteksi senyawa baru. Dasar dari analisis kimia adalah bahwa setiap jarak antar bidang kristal (d) karakteristik untuk senyawa tertentu.

Pola difraksi pada setiap materi akan berbeda satu sama lain sehingga dapat digunakan untuk identifikasi dan memberikan informasi mengenai kesimetrian serta ukuran unit-unit molekuler (Endang Tri Wahyuni, 2003).

Proses difraksi sinar-X dipelajari oleh Bragg, yakni jika dua berkas sinar yang parallel mengenai bidang-bidang kristal yang sama dengan jarak antar bidang (d), maka perbedaan jarak yang ditempuh oleh kedua sinar tersebut berbanding langsung dengan panjang gelombangnya. Persamaan Bragg dinyatakan sebagai berikut :

$$n \lambda = 2 d \sin \theta$$

dengan λ = panjang gelombang sinar-X, d = jarak antar bidang (*interplanar distances*), dan θ = sudut difraksi.

Metode difraksi pada sampel berbentuk serbuk halus digunakan secara luas, karena semua bidang kristal yang ada dapat terorientasi sedemikian rupa sehingga dapat mendifraksi sinar-X. Pada metode ini, susunan alat difraksi sinar-X sebagai berikut :

1. Tabung sinar-X , merupakan tempat produksi sinar-X, berisi katoda filamen tungsten (W) sebagai sumber elektron dan anoda yang berupa logam target.
2. Goniometer, bergerak memutar selama alat dioperasikan. Alat ini satu unit dengan tempat sampel dan detektor.

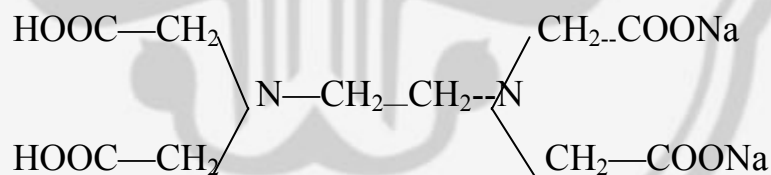
3. Tempat sampel, berupa lempeng logam atau plat kaca yang cekung atau berlubang ditengahnya, dimana sampel serbuk diisikan. Sampel akan berputar bersama goniometer dan membentuk sudut terhadap sinar-X yang datang.
4. Detektor gas, berisi gas yang sensitif terhadap sinar-X, katoda dan anoda. Atom-atom gas terionisasi saat terkena sinar-X membentuk elektron yang menuju katoda dan kation menuju anoda sehingga menghasilkan arus listrik yang diubah menjadi pulsa yang dihitung oleh *Scaler and counter*.
5. Difraktometer (*Scaler and counter*), berfungsi mendeteksi posisi sudut difraksi dan intensitasnya.
6. Rekorder, berfungsi menampilkan keluaran berupa pola difraksi atau difraktogram yang menyatakan hubungan antara intensitas dengan sudut difraksi 2θ (Endang Tri wahyuni, 2003).

Sedangkan dalam penelitian ini, difraksi sinar-X digunakan untuk memberikan informasi tentang jenis mineral dan tingkat kristalinitas struktur komponen penyusun sampel. Jenis mineral penyusun sampel ditunjukkan oleh daerah munculnya puncak 2θ , sedangkan tingkat kristalinitas struktur komponen ditunjukkan oleh tinggi-rendahnya intensitas puncak. Spektra mineral dari hasil analisis difraksi sinar-X dicocokkan nilai 2θ nya dengan data *JCPDS (Joint Commite on Powder Diffraction Standards)* sehingga akan diketahui jenis mineral di dalam sampel.

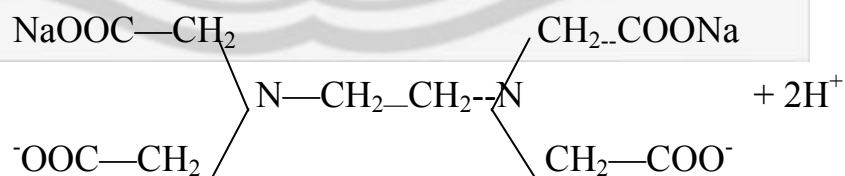
G. Titrasi Kompleksometri

Kompleksometri adalah suatu analisa volumetri yang didasarkan atas pembentukan senyawa kompleks yang stabil. Analisa ini digunakan untuk menentukan bermacam-macam kation yaitu : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} dan lain-lain. Dengan menggunakan larutan standart kompleks organik dimana logam-logam tersebut membentuk senyawa-senyawa yang stabil.

Banyak kompleks organik logam yang tidak larut dalam air dan dipakai untuk pemisahan ion-ion logam. Schwarsen Back telah menemukan asam amino poly karboksilat dan garam-garamnya, yang ternyata adalah kompleks yang sangat stabil dan baik. Tetapi karena asam tersebut sukar larut dalam air, maka dipakai garamnya yaitu Na-Ethylen Diamine Tetra Acetat ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$) dengan rumus bangunnya adalah sebagai berikut :



EDTA sering ditulis dalam bentuk H_4Y . Reaksi yang terjadi dalam kompleksometri yaitu :



Dari titrasi diatas makin lama ion H^+ makin banyak, maka untuk menjaga agar pH tetap harus ditambah larutan buffer yaitu campuran dari NH_4OH dan NH_4Cl . Sedangkan indikator yang

digunakan adalah Eriochrome Black T (EBT), apabila indikator ditambahkan dalam air yang dianalisa akan membentuk senyawa kompleks dengan Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam bentuk yang lebih stabil dengan EDTA. Pada titik ekuivalen warna merah anggur dari larutan menjadi biru karena terbentuk anion indikator. Metode ini digunakan untuk menentukan kesadahan air.



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah Zeolit alam Bandung.

B. Sampel

Sampel dalam penelitian ini adalah cuplikan zeolit alam yang digiling dan diayak dengan ukuran ayakan 170 Mesh. Adapun sampel air yang digunakan adalah air sumur yang kesadahanannya cukup tinggi, yaitu air sumur yang ada di daerah Kradenan Sukorejo Kodya Semarang. Sampel air diambil secara langsung dari salah satu sumur yang ada di Kradenan.

C. Variabel Penelitian

Variabel yang dipelajari dalam penelitian ini adalah :

- a. Variabel bebas
 1. Massa zeolit : (2, 4, 6, 8, 10 gram)
 2. Konsentrasi HCl: (1, 2, 3 M)
- b. Variabel terikat

Kemampuan penjerapan zeolit terhadap logam-logam penyebab kesadahan air.

- c. Variabel kontrol
 1. Waktu Pengadukan 1 jam

2. pH air awal dan akhir
3. Suhu pengeringan residu 70 °C

D. Metode Pengumpulan Data

Semua data yang diperlukan diperoleh melalui penelitian langsung di laboratorium. Karakteristik air sumur yaitu pH dan tingkat kesadahan air, ditentukan sebelum dan sesudah perlakuan dengan zeolit alam. Pengukuran pH air dilakukan di laboratorium kimia Analisa Universitas Negeri Semarang. Penentuan kesadahan mula-mula menggunakan metode titrasi kompleksometri, sedangkan penentuan kadar logam-logam penyebab kesadahan air menggunakan metode SSA. Adsorben zeolit hasil perlakuan kemudian dipergunakan untuk menjerap logam-logam penyebab kesadahan air.

E. Prosedur Penelitian

1. Alat dan Bahan :

Alat :

- a. Labu Erlenmeyer 250 ml Iwaki Pyrex
- b. Beakerglass (50 ml, 100 ml, 250 ml) Iwaki Pyrex
- c. Labu takar (100 ml, 250 ml, 500 ml, 1000 ml) Iwaki Pyrex
- d. Gelas ukur (100 ml, 250 ml) Iwaki Pyrex
- e. Pipet volume (10 ml, 50 ml) Iwaki Pyrex
- f. Buret Iwaki Pyrex

- g. Corong
- h. Karet Hisap
- i. Magnetic stirrer merk Cimarec 2 thermolyne
- j. Sentrifuge
- k. pH meter merk Hanna Instruments
- l. Timbangan listrik merk Ohaus Explorer
- m. Oven pemanas merk Memmert
- n. Spektrometer Serapan Atom (SSA) merk Perkin Elmer
- o. Satu set alat difraktometer sinar – X model Shimadzu
XRD-6000
- p. Satu set alat spektrofotometer inframerah model
Shimadzu FTIR-8201

Bahan :

- a. Zeolit alam Bandung
- b. Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah buatan E-Merck, meliputi: HCL, CaCl_2 , NH_4Cl , NH_3 , EDTA, dan aquades.

2. Cara Kerja

1. Preparasi Awal

1.1 Sampel Zeolit Alam Bandung

Zeolit alam yang digunakan adalah zeolit alam yang diperoleh dari Bandung, Jawa Barat. Zeolit alam dihancurkan kemudian diayak menggunakan ayakan dengan ukuran 170 mesh. Selanjutnya material ini digunakan sebagai bahan awal untuk membuat adsorben.

1.2 Sampel Air Sumur

Sampel air yang digunakan adalah air sumur yang kesadahanannya cukup tinggi, yaitu air sumur yang ada di daerah Kradenan Sukorejo Kodya Semarang. Sampel air diambil secara langsung dari salah satu sumur yang ada di Kradenan. Penentuan kesadahan mula-mula menggunakan metode titrasi kompleksometri, sedangkan penentuan kadar logam-logam penyebab kesadahan air diantaranya Ca^{2+} dan Mg^{2+} menggunakan SSA.

1.3 Perlakuan Asam

Sebanyak 30 gram zeolit alam dicampurkan dengan 300 ml larutan HCl dengan konsentrasi 1, 2, 3 M. Campuran dipanaskan sambil diaduk selama 1 jam sampai mendidih. Campuran kemudian didinginkan, disaring dan dicuci dengan aquades sampai pH filtrat 6-7. Residu dikeringkan pada temperatur 70°C selama 5 jam, yang selanjutnya disebut dengan adsorben. Adsorben zeolit hasil perlakuan kemudian dipergunakan untuk menjerap logam-logam penyebab kesadahan air.

2. Karakterisasi zeolit alam dan zeolit hasil perlakuan

2.1 Analisis kandungan jenis mineral Zeolit Alam

Untuk mengetahui tentang jenis mineral dan tingkat kristalinitas struktur penyusun sampel dilakukan dengan menggunakan alat difraktometer sinar-X. Sekitar 0,5 gram bubuk zeolit ditempatkan dalam tempat sampel dan dianalisis langsung dengan difraktometer sinar-X Shimadzu model XRD-6000 menggunakan radiasi Cu K_{α} pada tegangan 40 kV, arus 30 mA.

2.2 Analisa Spektroskopi Inframerah terhadap zeolit alam dan zeolit hasil perlakuan

Penentuan gugus fungsional dilakukan dengan alat spektrofotometer FTIR model Shimadzu 8201 PC dengan metode padatan. Sampel dibuat pelet dengan menambahkan garam KBr kemudian diletakkan dalam tempat sampel dan analisis spektra dilakukan pada bilangan gelombang 4000-300 cm^{-1} .

3. Penjerapan

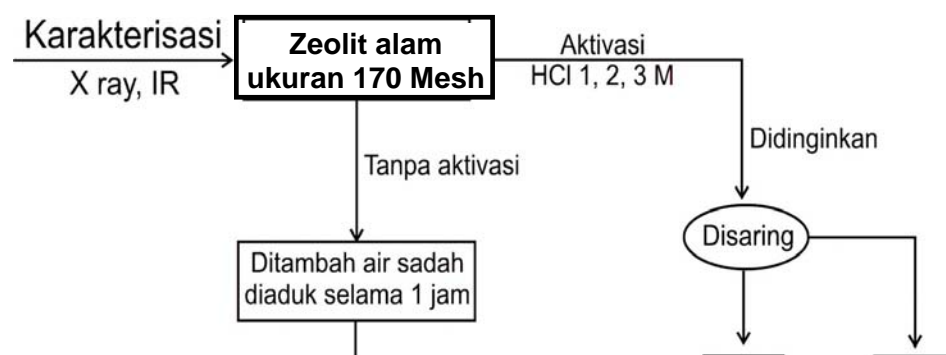
3.1 Penjerapan oleh zeolit alam

Sebanyak 2 gram zeolit alam ditambahkan dengan 25 ml air sadah. Campuran diaduk dengan pengaduk magnet selama 1 jam kemudian disentrifuge. Supernatan yang dihasilkan dianalisis. Perlakuan diulang untuk massa zeolit (4, 6, 8, 10 gram).

3.2 Penjerapan oleh zeolit hasil perlakuan

Sebanyak 2 gram adsorben dengan 25 ml air sadah. Campuran diaduk dengan pengaduk magnet selama 1 jam kemudian disentrifuge. Supernatan yang dihasilkan dianalisis. Perlakuan diulang untuk massa zeolit (4, 6, 8, 10 gram).

3. Diagram Cara Kerja





Gambar 3.1 Diagram cara kerja penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan disajikan data-data hasil penelitian beserta pembahasannya yang meliputi karakterisasi zeolit alam, karakteristik air sumur, kajian perlakuan asam terhadap zeolit alam, penjerapan zeolit terhadap logam-logam penyebab kesadahan air dan analisis data.

A. Hasil Penelitian

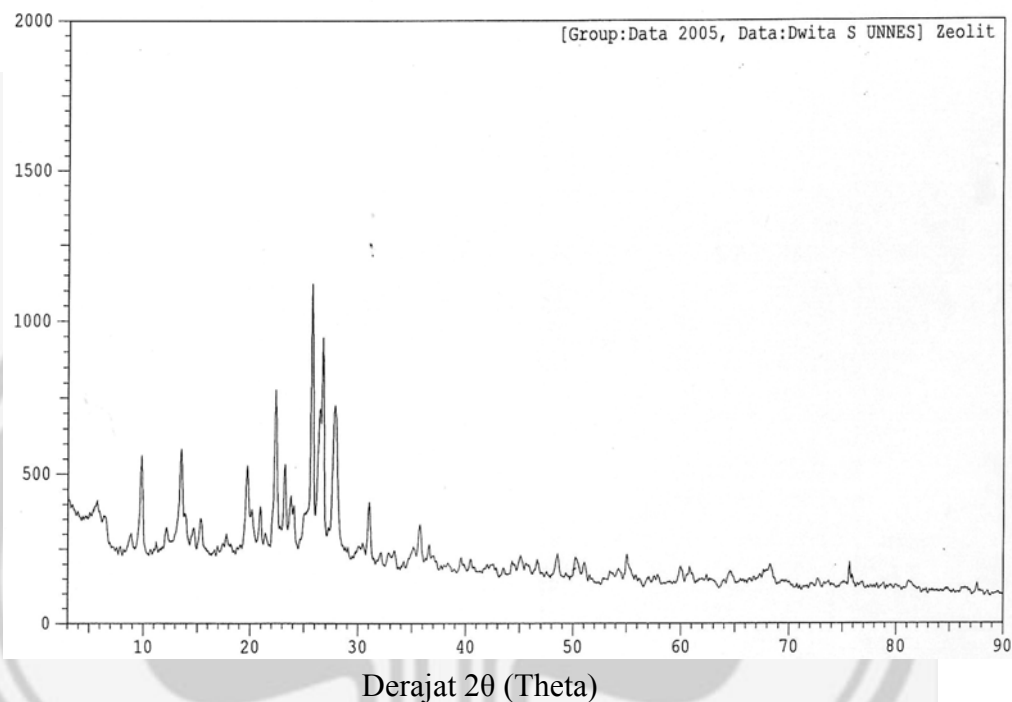
a. Karakterisasi Zeolit Alam

Sampel zeolit alam yang digunakan sebagai material awal dalam penelitian ini adalah zeolit alam yang berasal dari daerah Bandung, Jawa Barat. Zeolit alam dari daerah ini merupakan batuan zeolit yang berwarna kehijau-hijauan. Zeolit ini selanjutnya disebut dengan zeolit alam. Analisis mineral zeolit alam meliputi penentuan jenis mineral penyusun zeolit dengan menggunakan difraksi sinar-X dan penentuan gugus fungsional dengan menggunakan spektroskopi inframerah.

1. Analisis Jenis Mineral

Spektra difraksi sinar-X sampel zeolit alam Bandung (gambar 4.1) memberikan informasi tentang jenis mineral dan tingkat kristalinitas struktur komponen penyusun sampel. Jenis mineral penyusun sampel ditunjukkan oleh daerah munculnya puncak (2 θ). Sedangkan tingkat kristalinitas struktur komponen ditunjukkan oleh tinggi rendahnya intensitas puncak. Spektra

mineral dari hasil analisis difraksi sinar-X dicocokkan nilai 2θ nya dengan data JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) sehingga akan diketahui jenis mineral di dalam sampel.



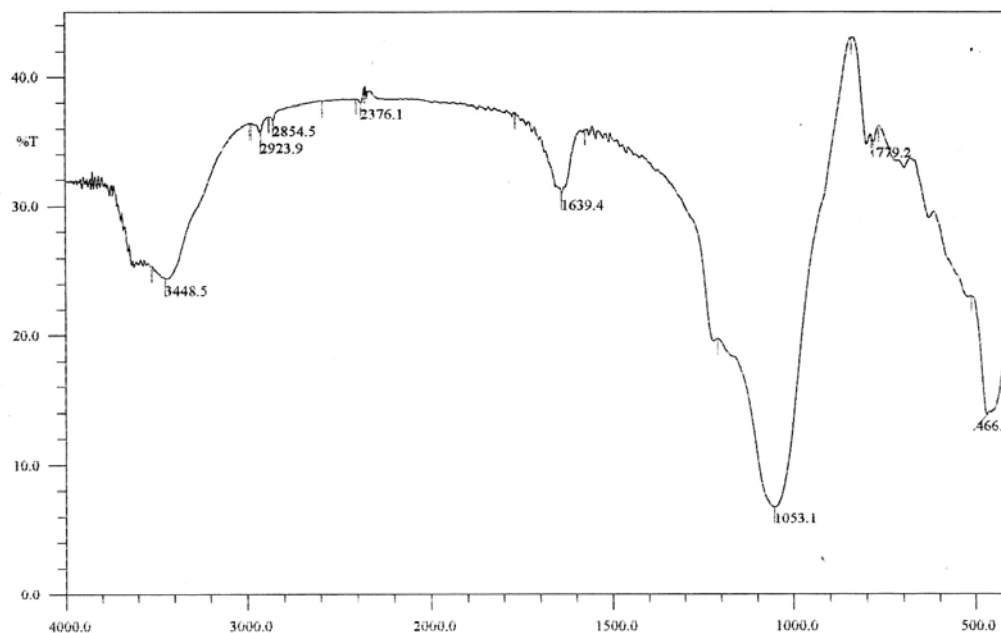
Gambar 4.1 Difraktogram zeolit alam

Puncak yang muncul pada 2θ $20,9064^{\circ}$; $26,6800^{\circ}$; $36,5700^{\circ}$, merupakan puncak untuk kuarsa (Quartz), JCPDS no 5-0490. Puncak pada 2θ $6,4800^{\circ}$; $14,4400^{\circ}$; $19,1720^{\circ}$; $22,3418^{\circ}$; $25,3200^{\circ}$ dan $27,7989^{\circ}$ merupakan puncak untuk mineral mordenit (kristal zeolit), JCPDS no 6-239. Puncak pada 2θ $5,7800^{\circ}$ merupakan puncak untuk mineral monmorilonit, JCPDS no 13-135. Puncak pada 2θ $23,7800^{\circ}$ merupakan puncak untuk mineral albite, JCPDS no 10-393. Sedangkan puncak pada 2θ $30,9839^{\circ}$ merupakan puncak untuk mineral napheline, JCPDS no 19-1176. Mineral mordenit merupakan

jenis mineral penyusun zeolit, sehingga dapat disimpulkan bahwa batuan ini merupakan batuan zeolit.

2. Analisis Spektroskopi Inframerah terhadap Zeolit Alam

Analisis Inframerah dilakukan untuk penentuan gugus aktif di padatan zeolit. (Sumar Hendayana 1994) menyatakan spektroskopi inframerah digunakan untuk penentuan struktur, yakni informasi penting tentang gugus fungsional suatu molekul. Penentuan struktur ini dilakukan dengan melihat plot spektrum IR yang terdeteksi oleh alat spektrofotometer IR. Spektrum ini menyatakan jumlah radiasi inframerah yang diteruskan melalui cuplikan sebagai fungsi frekuensi atau bilangan gelombang. Analisis spektra inframerah dikelompokkan menjadi 2 bagian, yaitu pada bilangan gelombang $4000-1250\text{ cm}^{-1}$ dan $1250-350\text{ cm}^{-1}$ (Geidel dkk, 2003 yang dikutip dari Tony Suroto). Kelompok pertama mengamati gugus yang bukan merupakan identitas spesifik dari struktur zeolit sedangkan kelompok kedua merupakan identitas spesifik dari struktur zeolit. Hasil pengamatan dengan spektrofotometer inframerah menunjukkan puncak-puncak yang spesifik. Spektra inframerah zeolit alam tersaji pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Spektra Inframerah Zeolit Alam

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa zeolit alam mempunyai puncak serapan pada daerah bilangan gelombang 3448,5 ; 1639,4 ; 1053,1 ; 466,7 cm^{-1} . Pada gambar 4.2 puncak 3448,5 cm^{-1} menunjukkan serapan dari gugus O-H pada zeolit terhidrasi. Hasil yang sama dengan karakter zeolit alam Wonosari dan zeolit alam Ponorogo pada kisaran 3442,7 cm^{-1} (Heraldly, 2003). Pita serapan pada daerah 3448,5 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur O-H dari molekul air yang teradsorb. Dan serapan pada 1639,4 cm^{-1} merupakan vibrasi tekuk gugus O-H dari molekul H_2O yang teradsorb. Hasil yang hampir sama dengan karakter zeolit alam Malang pada kisaran 1637,5 cm^{-1} (Tony Suroto, 2004). (Carrado dkk, 2001) melaporkan bahwa H_2O yang terjerap memberikan pita serapan pada daerah 3435 dan 1628 cm^{-1} . (Madejova, 2003) melaporkan hal tersebut pada daerah serapan 3424 dan 1628 cm^{-1} .

Puncak $1053,1 \text{ cm}^{-1}$ adalah serapan yang menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetris Si-O atau Al-O pada TO_4 . Hasil yang hampir sama dengan karakter zeolit alam Malang pada kisaran $1055,0 \text{ cm}^{-1}$ (Tony Suroto, 2004). (Heraldly, 2003) menyatakan angka $1043,3$ dan $1052,3 \text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi ulur asimetris Si-O-Si atau Al-O-Al pada zeolit alam Ponorogo dan zeolit alam Wonosari. (Han dkk, 1997) melaporkan intensitas serapan pada sekitar 1050 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur dari Si-O-Si untuk zeolit. (Shigemoto dkk, 1995) mengungkapkan bahwa puncak ini dapat dihubungkan dengan adanya gugus silanol (Si-O-H) dalam kerangka zeolit.

Puncak $779,2 \text{ cm}^{-1}$ merupakan interpretasi dari serapan ikatan pada unit struktur utama zeolit yang berbentuk simetris, vibrasi tekuk Si-O pada jalinan eksternal (kerangka zeolit). Pada zeolit alam Malang berada pada kisaran $796,5$ dan $777,3 \text{ cm}^{-1}$. Pada zeolit alam Ponorogo pada bilangan $794,6 \text{ cm}^{-1}$.

Serapan vibrasi tekuk T-O berada pada kisaran $420\text{-}500 \text{ cm}^{-1}$. Puncak $466,7 \text{ cm}^{-1}$ pada gambar 4.2 menunjukkan adanya vibrasi tekuk dari ikatan T-O. Puncak ini merupakan interpretasi dari jalinan internal pada kerangka zeolit. Pada zeolit alam Ponorogo menunjukkan serapan pada $447,2 \text{ cm}^{-1}$ dan zeolit alam Wonosari pada $470,6 \text{ cm}^{-1}$ (Heraldly, 2003). Sedangkan pada zeolit alam Malang menunjukkan serapan pada $445,5 \text{ cm}^{-1}$ (Tony Suroto, 2004). Liu dkk yang dikutip oleh Tony Suroto mengamati hal tersebut pada daerah pita serapan daerah bilangan gelombang $463,0 \text{ cm}^{-1}$.

Komparasi spektra inframerah zeolit alam dengan hasil penelitian terdahulu disajikan dalam tabel 4.1. Berdasarkan hasil analisis spektroskopi inframerah tersebut dapat disimpulkan bahwa zeolit alam menunjukkan karakter kerangka struktur zeolit.

Tabel 4.1 Spektra Inframerah dari Zeolit Alam

Jenis Vibrasi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	
	Zeolit Alam	Referensi
Vibrasi ulur O-H	3448,5	3442,7 dan 3448,5 (Herald, 2003) 3435 (Carrado dkk, 2001) 3442,7 (Tony Suroto, 2004) 3424 (Madejova, 2003)
Vibrasi ulur TO ₄	1053,1	1055,0 (Tony Suroto, 2004) 1043,3 dan 1052,3 (Herald, 2003)
Vibrasi tekuk T-O pada jalinan eksternal (kerangka zeolit)	779,2	796,5 dan 777,3 (Tony Suroto, 2004) 794,6 (Herald, 2003)
Vibrasi tekuk T-O	466,7	445,5 (Tony Suroto, 2004) 447,2 dan 470,6 (Herald, 2003)

b. Karakteristik Air Sumur

Karakteristik air sumur yaitu pH dan tingkat kesadahan air ditentukan sebelum dan sesudah perlakuan dengan zeolit. Hasil pengukuran pH air sumur mula-mula adalah sebesar 9,9, hal tersebut menunjukkan bahwa air sumur tersebut bersifat basa. Sifat basa yang ditimbulkan disebabkan oleh adanya logam alkali tanah yang terlarut dalam air sumur memiliki konsentrasi yang cukup tinggi. Sesudah perlakuan dengan zeolit, pH air sumur menjadi 6-7. Kesadahan air mula-mula ditentukan dengan metode titrasi kompleksometri, 50 ml air sumur ditambahkan dengan 2,5 ml larutan

buffer kemudian ditambahkan indikator EBT warnanya menjadi merah muda, lalu dititrasi dengan EDTA sampai warna menjadi biru jernih. Perhitungan nilai kesadahan air total menggunakan rumus :

$$\frac{1000}{V_s} \times N \text{ EDTA} \times V \text{ EDTA} \times \text{BM CaCO}_3$$

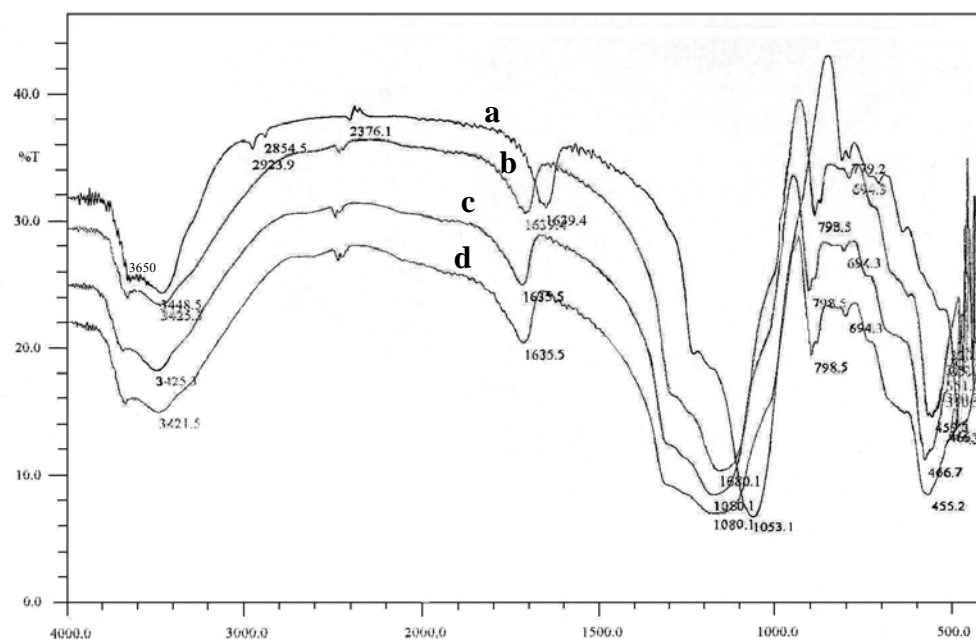
didapatkan nilai kesadahan sebesar 351,068 mg/L yang menunjukkan bahwa air sumur tersebut memang memiliki kesadahan yang cukup tinggi. Sedangkan kandungan Ca dalam air sumur di analisis dengan spektrofotometer serapan atom juga menunjukkan kadar yang cukup tinggi sebesar 132,424 mg/L. Sedangkan kadar Mg^{2+} masih dalam batas yang diperbolehkan yaitu sebesar 19,706 mg/L.

c. Kajian Perlakuan Asam terhadap Zeolit Alam

Bagian ini akan membahas tentang proses modifikasi zeolit alam yang diharapkan mampu memperbaiki sifat-sifat zeolit sebagai adsorben. Zeolit alam sebagai material awal dimodifikasi dengan perlakuan asam. Asam yang digunakan dalam hal ini adalah HCl dengan variasi konsentrasi 1, 2, 3 M. Zeolit alam yang telah dimodifikasi selanjutnya disebut sebagai zeolit hasil perlakuan. Pada bagian ini juga akan dijelaskan fenomena yang terjadi pada proses modifikasi zeolit alam. Karakterisasi adsorben zeolit hasil perlakuan dilakukan menggunakan spektroskopi inframerah. Spektroskopi inframerah digunakan untuk membantu menjelaskan fenomena perubahan zeolit alam menjadi zeolit perlakuan.

1. Analisis Spektroskopi Inframerah

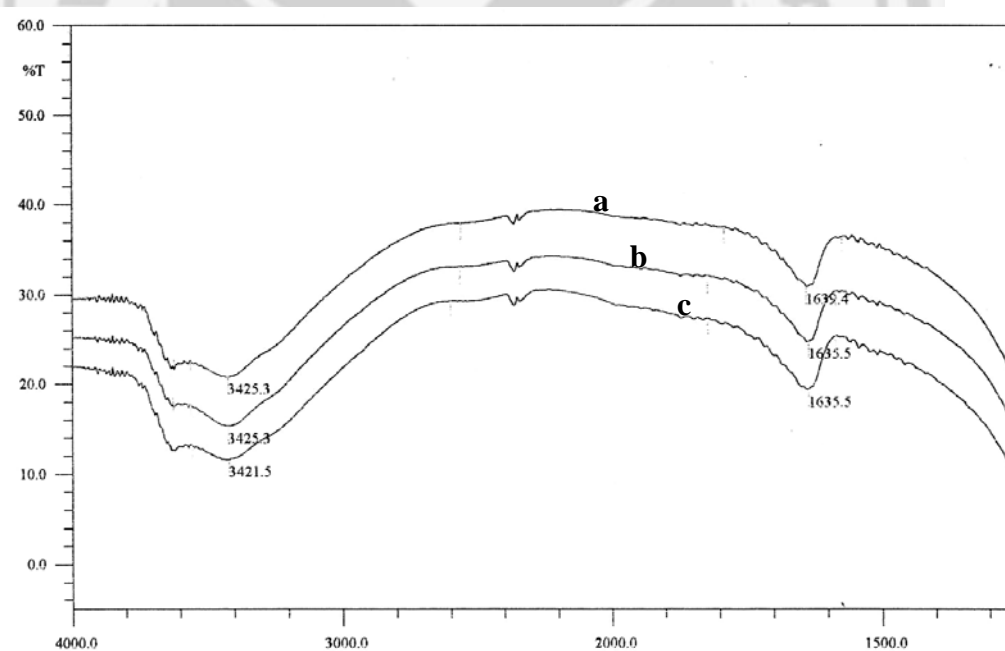
Spektra inframerah zeolit alam dan zeolit hasil perlakuan akan disajikan dalam gambar 4.3



Gambar 4.3 Spektra Inframerah zeolit alam dan zeolit hasil perlakuan pada bilangan gelombang 4000-300 cm^{-1} , **a**: Zeolit tanpa aktivasi, **b**: Zeolit aktivasi HCl 1M, **c**: Zeolit aktivasi HCl 2M, **d**: Zeolit aktivasi HCl 3M

Analisis terhadap data spektroskopi inframerah akan dibahas dalam dua kelompok yaitu serapan pada kelompok bilangan gelombang 4000-1250 cm^{-1} dan serapan 1250-300 cm^{-1} . Spektra inframerah zeolit hasil perlakuan tersaji dalam gambar 4.4 dan 4.5. Gambar 4.4 menunjukkan perubahan pada bilangan gelombang 3700-3300 cm^{-1} dan 1640-1620 cm^{-1} . Pada serapan 3700-3300 cm^{-1} terjadi pengurangan intensitas akibat dari meningkatnya konsentrasi HCl yang diberikan. Pada perlakuan HCl 1M dan 2M terjadi penurunan dari 3448,5 cm^{-1} menjadi 3425,3 cm^{-1} sedangkan pada perlakuan HCl 3M terjadi penurunan lagi menjadi 3421,5 cm^{-1} .

Pada bilangan gelombang 3650 cm^{-1} menunjukkan bahwa perlakuan asam menyebabkan hilangnya serapan vibrasi O-H pada struktur zeolit. Serapan ini lebih mencerminkan gugus O-H yang berada di luar kerangka zeolit. (Madejova, 2003) menyatakan bahwa perlakuan asam akan merusak struktur gugus O-H di dalam mineral zeolit. Diperkirakan penurunan ini disebabkan karena lepasnya molekul air di dalam zeolit yang terikat secara fisik. Hilangnya serapan ini membuktikan bahwa padatan zeolit lebih bersih dari pengotor sehingga pori-pori zeolit akan lebih terbuka. Prediksi ini didukung dengan penurunan serapan dari $1639,4\text{ cm}^{-1}$ menjadi $1635,5\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi dari O-H pada molekul air.



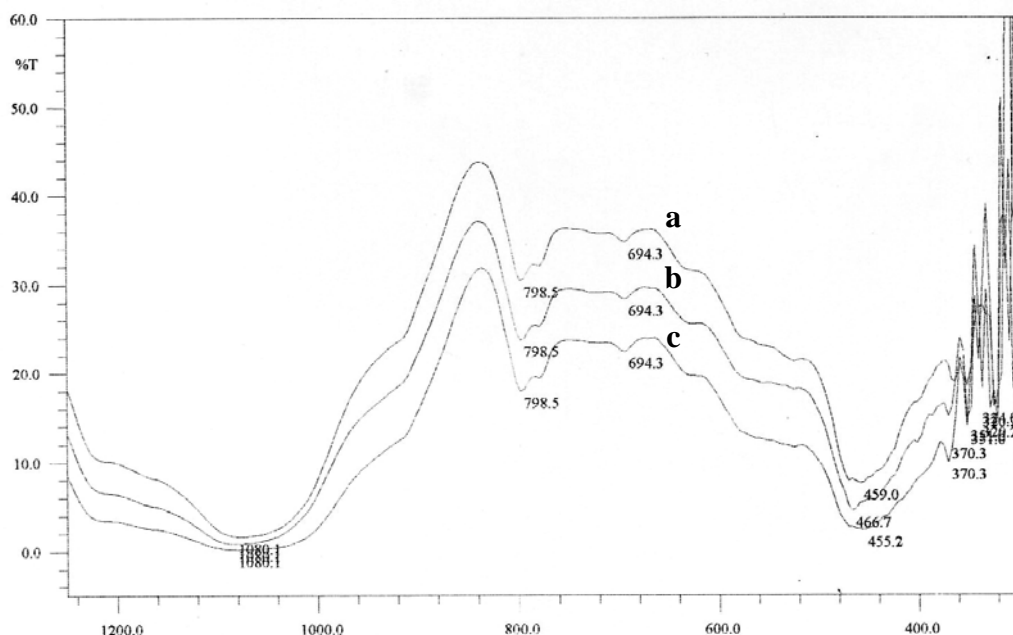
Gambar 4.4 Spektra Inframerah adsorben zeolit hasil perlakuan pada bilangan gelombang $4000\text{-}1250\text{ cm}^{-1}$, **a**: Zeolit aktivasi HCl 1M, **b**: Zeolit aktivasi HCl 2M, **c**: Zeolit aktivasi HCl 3M

Penurunan ini semakin memperkuat dugaan bahwa ada pengurangan intensitas molekul air di dalam zeolit, tetapi tidak sampai menghilangkan semua molekul air di dalam zeolit.

Gambar 4.5 menyajikan spektra inframerah zeolit hasil perlakuan pada serapan 1250-300 cm^{-1} . Spektra inframerah menunjukkan terjadi perubahan intensitas yang jelas pada bilangan gelombang 1080,1 cm^{-1} (vibrasi ulur asimetris Si-O atau Al-O pada TO_4). (Shigemoto dkk, 1995) mengungkapkan bahwa puncak ini dapat dihubungkan dengan adanya gugus silanol (Si-O-H) dalam kerangka zeolit, lebar puncak mengindikasikan gugus silanol yang semakin banyak hingga kristalinitas menurun. Pada serapan 798,5 cm^{-1} (vibrasi tekuk Si-O jalinan eksternal) dan 694,3 cm^{-1} (vibrasi ulur simetri T-O) juga terjadi perubahan intensitas yang jelas. Pada kisaran bilangan gelombang 420-500 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi tekuk dari ikatan T-O. Puncak ini merupakan interpretasi dari jalinan internal pada kerangka zeolit. Liu dkk yang dikutip oleh Tony Suroto mengamati hal tersebut pada daerah pita serapan daerah bilangan gelombang 463,0 cm^{-1} . Serapan pada 320,2 cm^{-1} merupakan interpretasi dari vibrasi yang menunjukkan adanya struktur pori terbuka pada zeolit.

Pada gambar 4.5 ditunjukkan bahwa serapan dari ulur asimetris T-O 1053,1 cm^{-1} mengalami kenaikan menjadi 1080 cm^{-1} akibat perlakuan asam. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi pengurangan Al-O pada kerangka zeolit.

Ikatan Si-O lebih kuat dibandingkan dengan ikatan Al-O sehingga bilangan gelombang yang dibutuhkan untuk melakukan vibrasi lebih besar.



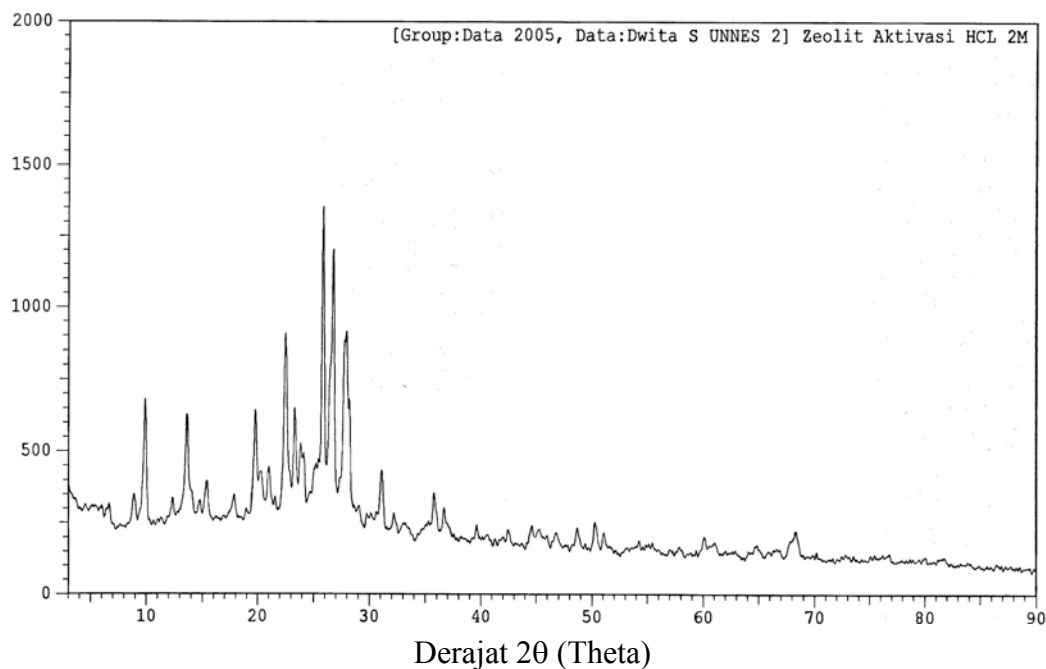
Gambar 4.5 Spektra Inframerah adsorben zeolit hasil perlakuan pada bilangan gelombang 1250-300 cm^{-1} , **a**: Zeolit aktivasi HCl 1M, **b**: Zeolit aktivasi HCl 2M, **c**: Zeolit aktivasi HCl 3M

Fenomena ini membuktikan bahwa perlakuan asam mampu menyebabkan dealuminasi pada padatan zeolit. Serapan vibrasi pori terbuka mengalami peningkatan intensitas. Meningkatnya konsentrasi HCl yang diberikan menyebabkan intensitas serapan $320,2 \text{ cm}^{-1}$ semakin tinggi dari konsentrasi HCl yang diberikan sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan pori terbuka semakin banyak. Perlakuan HCl menghilangkan pengotor yang berada pada pori zeolit sehingga pori zeolit semakin bersih.

2. Analisis Difraksi Sinar-X

Difraktogram zeolit hasil perlakuan HCl 2 M disajikan dalam gambar

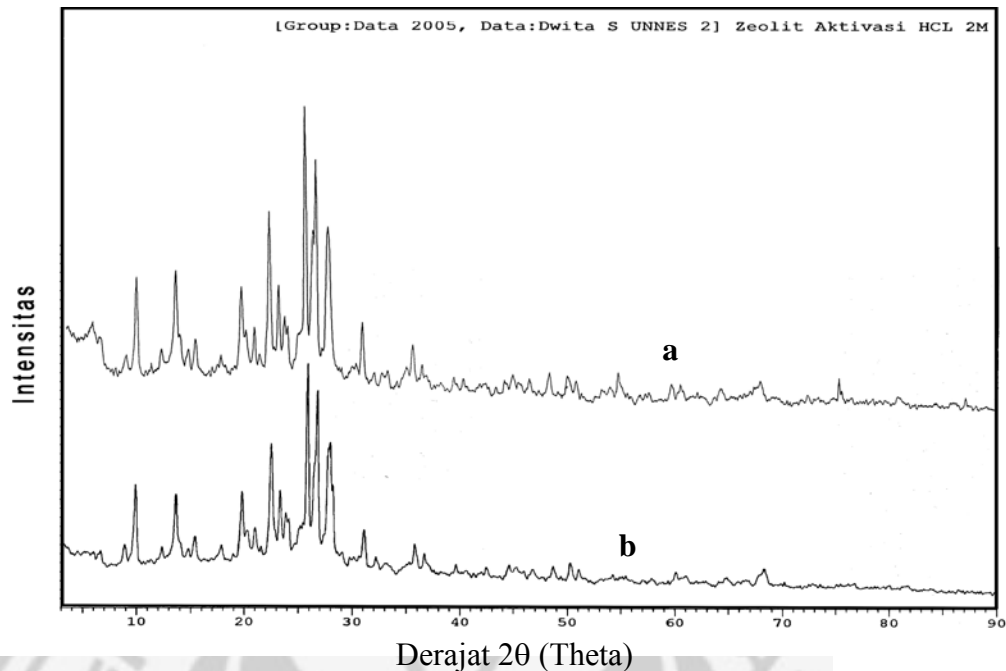
4.6



Gambar 4.6 Difraktogram zeolit hasil perlakuan HCl 2 M

Puncak yang muncul pada 2θ $20,9966^{\circ}$; $26,4800^{\circ}$; $36,6615^{\circ}$ merupakan puncak untuk kuarsa (Quartz), JCPDS no 5-4090. Puncak pada 2θ $6,4000^{\circ}$; $15,3650^{\circ}$; $22,1200^{\circ}$; $26,7174^{\circ}$; $27,7800^{\circ}$; $28,6737^{\circ}$ merupakan puncak untuk mineral mordenit (kristal zeolit), JCPDS no 6-239. Puncak pada 2θ $5,8600^{\circ}$ merupakan puncak untuk mineral monmorilonit, JCPDS no 13-135. Puncak pada 2θ $24,160^{\circ}$ merupakan puncak untuk mineral albite, JCPDS no 10-393. Sedangkan puncak pada 2θ $31,0768^{\circ}$ merupakan puncak untuk mineral napheline, JCPDS no 19-1176.

Difraktogram untuk zeolit alam dan zeolit hasil perlakuan HCl 2 M disajikan dalam gambar 4.7.



Gambar 4.7 Difraktogram zeolit alam dan zeolit hasil perlakuan HCl 2 M, **a**: Zeolit tanpa aktivasi, **b**: Zeolit aktivasi HCl 2M

Puncak yang muncul pada 2θ untuk mineral kuarsa, mordenit, monmorilonit, albite, napheline dari hasil analisis difraksi sinar-X menunjukkan tidak terjadi perubahan struktur padatan secara signifikan akibat perlakuan HCl 2 M. Puncak yang muncul pada 2θ hanya mengalami pergeseran karena adanya pengaruh perlakuan HCl 2 M.

d. Penjerapan Zeolit terhadap Logam-logam Penyebab Kesadahan Air

Uji penjerapan dilakukan untuk mengetahui kemampuan zeolit alam dan zeolit hasil perlakuan dalam menjerap logam-logam penyebab kesadahan air sehingga dapat menurunkan tingkat kesadahan air. Penurunan tingkat kesadahan air dipelajari dengan metode titrasi kompleksometri dan dari data hasil analisis dengan spektrofotometer serapan atom. Berikut disajikan data Hasil titrasi penentuan kesadahan total dan data penjerapan ion Ca^{2+} rata-rata :

Tabel 4.2 Data Titration Penentuan Kesadahan Total

Massa Zeolit (gram)	Kesadahan			
	Tanpa Aktivasi	Aktivasi HCl 1M	Aktivasi HCl 2M	Aktivasi HCl 3M
2	224,454	161,146	120,859	138,125
4	195,667	155,391	97,839	120,859
6	189,922	149,636	80,573	115,104
8	178,412	143,880	75,068	109,349
10	172,656	126,615	97,836	103,594

Tabel 4.3 Data Penjerapan Ion Ca^{2+} rata-rata

Massa Zeolit (gram)	Jumlah ion Ca^{2+} yang terjerap (mg/L)			
	Tanpa Aktivasi	Aktivasi HCl 1M	Aktivasi HCl 2M	Aktivasi HCl 3M
2	48,921	93,092	115,766	100,894
4	54,302	96,967	117,746	107,244
6	67,430	100,287	128,636	110,299
8	91,640	100,443	130,293	112,086
10	91,909	109,503	119,166	112,688

e. Hasil Analisis Data

1. Analisis Varians

Untuk menguji hipotesis penelitian ini digunakan analisis varians, yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Analisis Varians

Tests of Between-Subjects Effect
Dependent Variable: Jumlah ion yang terjerap (mg/l)

Source	Type III Sum of Squares	d f	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	27516.737 ^a	19	1448.249	23470.452	.000
Intercept	61154.381	1	61154.381	991073.110	.000
A	21334.009	3	7111.336	115246.920	.000
B	3478.302	4	869.575	14092.413	.000
A * B	2704.426	12	225.369	3652.347	.000
Error	2.468	4	6.171E-		

		0	02	
Total	88673.58	6		
Correct	27519.20	5		
ed Total	5	9		

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

Berdasarkan tabel analisis varians tersebut tampak bahwa F hitung untuk faktor konsentrasi HCl (A) sebesar 115246,92 dengan probabilitas 0,000. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi HCl terhadap besarnya daya jerap zeolit alam dalam menjerap logam-logam penyebab kesadahan air. Dilihat dari faktor massa zeolit (B) diperoleh F hitung sebesar 14092,413 dengan probabilitas 0,000. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh massa zeolit yang digunakan terhadap besarnya daya jerap zeolit alam dalam menjerap logam-logam penyebab kesadahan air. Untuk interaksi antara konsentrasi HCl dengan masa zeolit alam yang digunakan (A*B) diperoleh F hitung sebesar 3652,347 dengan probabilitas 0,000. Pada taraf kesalahan 5% menunjukkan bahwa ada pengaruh yang signifikan konsentrasi HCl dan massa zeolit yang digunakan secara simultan terhadap daya jerap zeolit.

2. Analisis Regresi

Untuk mengetahui bentuk dan besarnya pengaruh dari konsentrasi HCl dan massa zeolit yang digunakan dapat dilihat dari analisis regresi, seperti pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Analisis Regresi

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	67.862		14.339	.000
	[HCl]	-13.554	-.708	-8.651	.000
	Massa Zeolit	-2.601	-.344	-4.200	.000

a. Dependent Variable: Jumlah ion yang terjerap (mg/l)

Berdasarkan tabel analisis tersebut tampak bahwa koefisien regresi untuk variabel konsentrasi HCl (A) sebesar -13,554, untuk variabel massa zeolit (B) sebesar -2,601 dan konstanta sebesar 67,862. Koefisien-koefisien tersebut diuji keberartiannya menggunakan uji t, dan diperoleh t hitung berturut-turut dari konsentrasi HCl, massa zeolit dan konstanta sebesar -8,651, -4,200 dan 14,339 dengan probabilitas 0,000, yang berarti secara parsial ada pengaruh konsentrasi HCl dan massa zeolit yang digunakan terhadap daya jerap zeolit.

Berdasarkan koefisien-koefisien regresi tersebut diperoleh persamaan regresi :

$$Y = -13,554 A - 2,601 B + 67,862$$

Keterangan :

Y = jumlah ion Ca^{2+} akhir (mg/L)

A = konsentrasi HCl (M)

B = massa zeolit alam (gram)

Model persamaan tersebut menunjukkan bahwa setiap terjadi kenaikan konsentrasi HCl sebesar 1M dengan asumsi

massa zeolit konstan maka akan diikuti penurunan jumlah ion Ca^{2+} sebesar -13,554 mg/L. Setiap terjadi kenaikan massa zeolit yang digunakan sebesar 1 gram dengan asumsi konsentrasi HCl konstan akan diikuti penurunan jumlah ion Ca^{2+} sebesar -2,601.

Apabila dilihat dari korelasi parsialnya yaitu -0,753 untuk variabel konsentrasi HCl dan -0,486 untuk variabel massa zeolit, tampak bahwa konsentrasi yang paling tinggi terhadap perubahan penurunan jumlah ion Ca^{2+} adalah faktor konsentrasi kemudian baru diikuti oleh massa zeolit yang digunakan.

Secara simultan model regresi diatas diuji keberaturannya menggunakan uji F seperti yang tampak pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Uji F
ANOVA^b

Model	Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1	17025.3	2	8512.6	46.2	.00
Regression	29	65		39	0 ^a
Residual	10493.8	5	184.10		
Total	27519.2	7	3		
	05	9			

b. Predictors: (Constant), Massa Zeolit, [HCl]

c. Dependent Variable: Jumlah ion yang terjerap (mg/l)

Berdasarkan hasil analisis tersebut diperoleh F hitung sebesar 46,239 dengan probabilitas 0,000, yang berarti ada pengaruh yang nyata pada penggunaan konsentrasi HCl dan massa zeolit yang digunakan terhadap penurunan jumlah ion Ca^{2+} . Besarnya kontribusi kedua perlakuan tersebut dapat dilihat dari koefisien determinasi (R-square) yaitu sebesar 0,619 atau 61,9%.

B. Pembahasan

Air merupakan bahan yang sangat penting bagi kehidupan umat manusia, fungsinya bagi kehidupan tidak pernah bisa digantikan oleh senyawa lain. Namun air yang tersedia tidak semuanya langsung bisa dimanfaatkan, karena air yang bersifat sadah cenderung menimbulkan masalah baru seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Oleh karena itu dilakukan percobaan untuk mengurangi kesadahan menggunakan zeolit. Zeolit di pilih sebagai salah satu alternatif dalam proses penurunan kesadahan air karena di Indonesia itu sendiri secara geografis terletak pada jalur gunung berapi yang memiliki potensi zeolit yang cukup besar. Zeolit alam yang di peroleh dapat digunakan secara langsung untuk berbagai keperluan, namun daya jerap maupun daya tukar ion zeolit ini belum maksimal. Untuk memperoleh zeolit dengan daya guna tinggi diperlukan suatu perlakuan yaitu dengan aktivasi. Dalam penelitian ini digunakan proses aktivasi secara fisika maupun kimia. Aktivasi secara fisika yaitu dengan pemanasan sedangkan aktivasi secara kimia yaitu dengan perlakuan asam, menggunakan HCl. Untuk mempelajari pengaruh massa, variasi massa yang digunakan adalah 2 gram, 4 gram, 6 gram, 8 gram, 10 gram, sedangkan untuk mempelajari pengaruh konsentrasi HCl, variasi konsentrasi HCl yang digunakan adalah 1 M, 2 M, 3 M.

Zeolit alam yang diperoleh kemudian dihancurkan, dilakukan penghalusan kemudian diayak, hasil ayakan yang dipergunakan adalah ayakan yang lolos dengan ukuran 170 mesh. Setelah diperoleh zeolit dengan ukuran 170 mesh, kemudian dilakukan proses aktivasi dengan HCl. Residu yang didapatkan dicuci

dengan aquades sampai pH netral. Hal ini bertujuan karena proses ini nantinya akan digunakan untuk pengolahan air lebih lanjut. Setelah melalui proses pencucian, residu tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 5 jam. Zeolit hasil aktivasi ini selanjutnya digunakan sebagai adsorben.

Setelah didapatkan zeolit hasil aktivasi maka digunakan untuk menjerap logam-logam penyebab kesadahan air. Langkah yang dilakukan adalah mengambil zeolit sebanyak 2, 4, 6, 8, 10 gram kemudian di campurkan dengan 25 ml air sadah, diaduk dengan pengaduk magnet selama 1 jam kemudian di sentrifuge. Supernatan yang dihasilkan di analisis menggunakan titrasi dan spektrofotometer serapan atom.

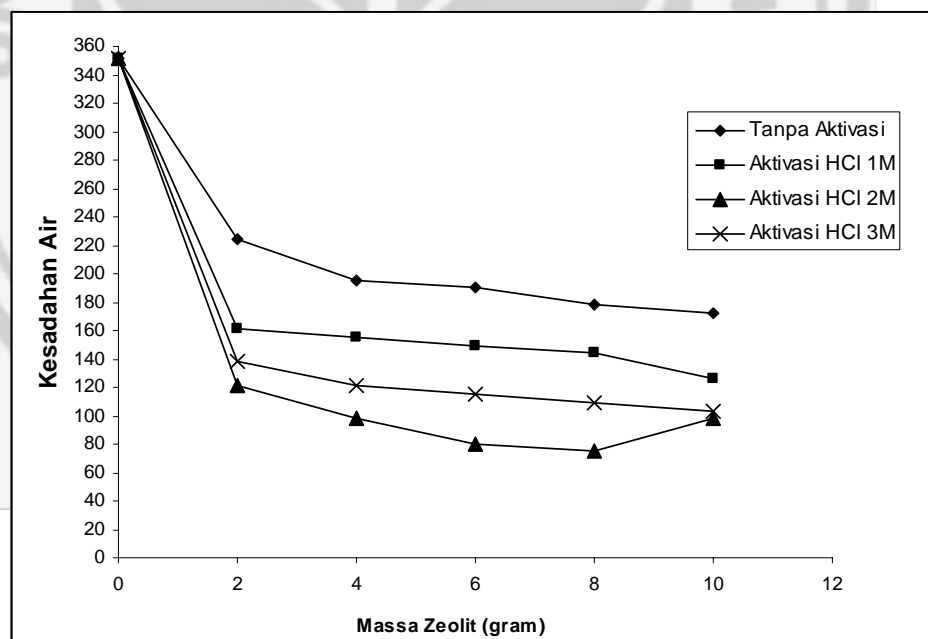
1. Titrasi Kompleksometri

Kompleksometri adalah suatu analisa volumetri yang didasarkan atas pembentukan senyawa kompleks yang stabil. Analisa ini digunakan untuk menentukan bermacam-macam kation yaitu : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} dan lain-lain. Dengan menggunakan larutan standart kompleks organik dimana logam-logam tersebut membentuk senyawa-senyawa yang stabil.

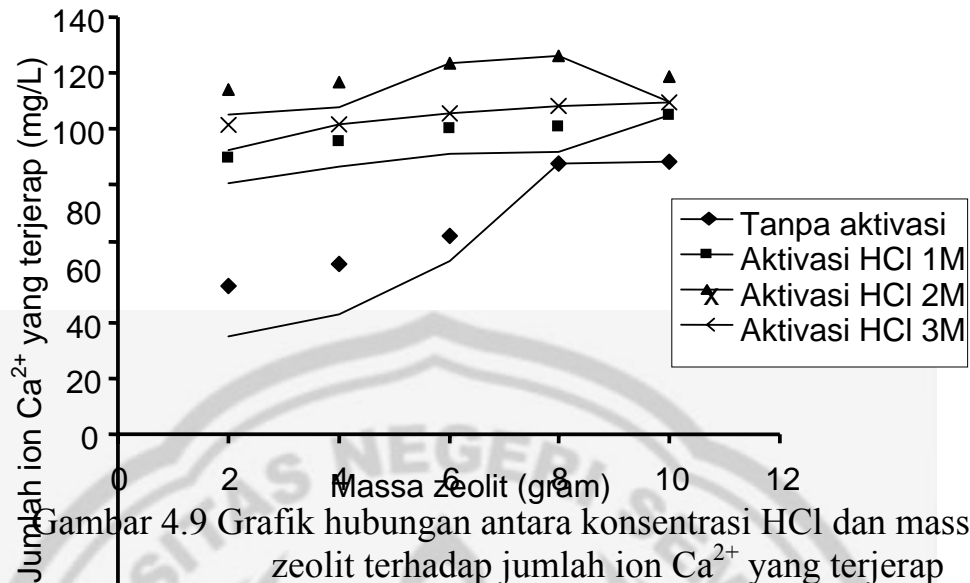
Banyak kompleks organik logam yang tidak larut dalam air dan dipakai untuk pemisahan ion-ion logam. Schwarsen Back telah menemukan asam amino poly karboksilat dan garam-garamnya, yang ternyata adalah kompleks yang sangat stabil dan baik. Tetapi karena asam tersebut sukar larut dalam air, maka dipakai garamnya yaitu Na-Ethylen Diamine Tetra Acetat ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$). Metode

titrasi kompleksometri digunakan untuk menetapkan kesadahan total sebelum dan sesudah perlakuan dengan zeolit.

Dalam percobaan yang telah dilakukan, diketahui kesadahan air sampel sebelum menggunakan zeolit adalah sebesar 351,068 mg/L dan menurut tabel 2.1 air itu termasuk air sangat sadah. Dari gambar 4.8 dapat diketahui bahwa setelah menggunakan zeolit, kesadahannya semakin berkurang. Baik yang menggunakan zeolit tanpa aktivasi maupun menggunakan zeolit aktivasi HCl. Nilai kesadahan yang paling baik ditunjukkan oleh penggunaan zeolit alam dengan massa 2 gram dan diaktivasi dengan HCl dengan konsentrasi 2 M (A2B1) yaitu sebesar 120,859 mg/L.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan antara konsentrasi HCl dan massa zeolit terhadap kesadahan



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara konsentrasi HCl dan massa zeolit terhadap jumlah ion Ca^{2+} yang terjerap

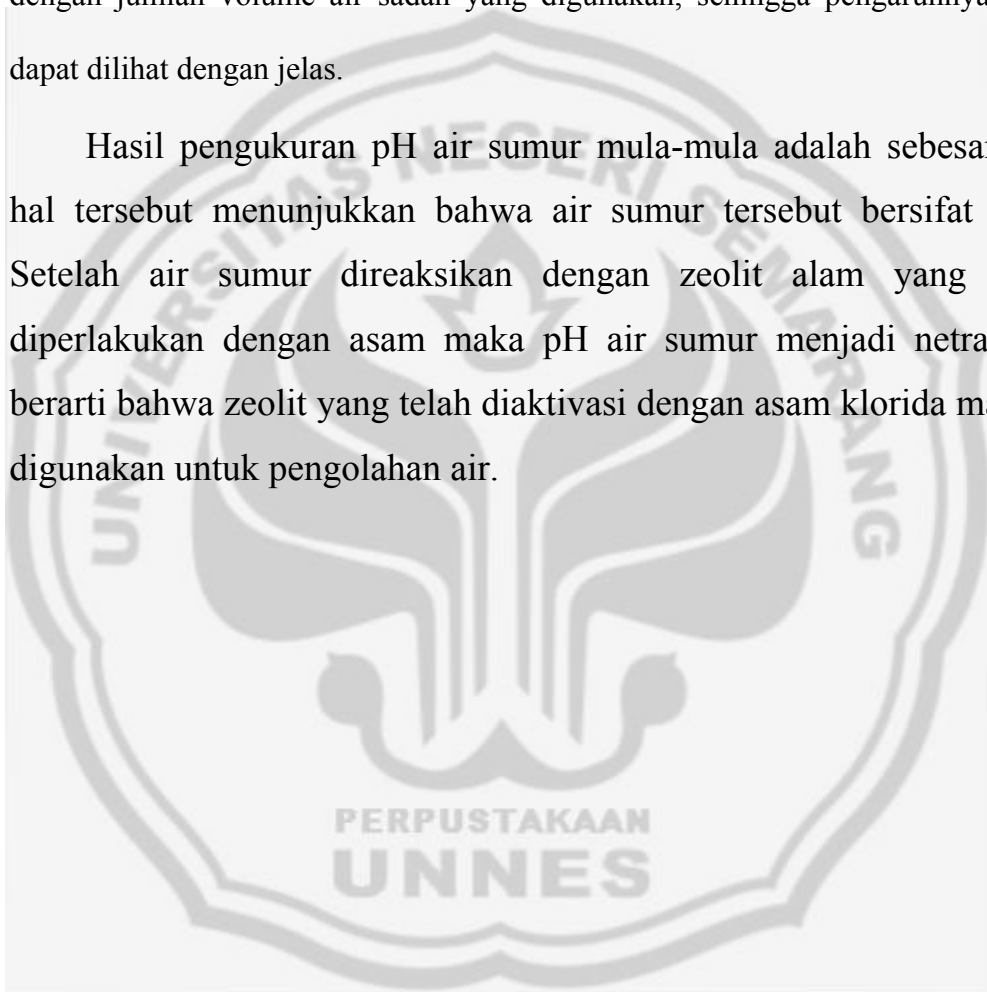
2. Spektrofotometer Serapan Atom

Sedangkan analisis dengan spektrofotometer serapan atom digunakan untuk mengetahui kadar logam-logam penyebab kesadahan air sebelum dan sesudah perlakuan dengan zeolit. Diketahui kadar Ca^{2+} dalam air sumur mula-mula dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom adalah sebesar 132,424 mg/L. Setelah menggunakan zeolit dengan massa 2 gram dan diaktivasi dengan HCl 2 M kadar Ca^{2+} nya menjadi 16,658 mg/L.

Dari hasil analisis data, dapat dikatakan bahwa terdapat adanya pengaruh konsentrasi HCl terhadap kemampuan zeolit alam dalam menjerap logam-logam penyebab kesadahan air. Dari hasil analisis dengan spektroskopi inframerah juga membuktikan bahwa dengan perlakuan asam padatan zeolit lebih bersih dari pengotor sehingga pori-pori zeolit lebih terbuka dan kemampuannya dalam menjerap logam-logam penyebab kesadahan air juga besar.

Akan tetapi pada penggunaan massa zeolit, setiap penambahan massa zeolit sebesar 2 gram tidak terlihat adanya pengaruh yang begitu berarti. Hal tersebut disebabkan karena kontak antara adsorben dan adsorbat terbatas dan menjadi tidak efektif karena terlalu banyaknya massa zeolit yang digunakan bila dibandingkan dengan jumlah volume air sadah yang digunakan, sehingga pengaruhnya tidak dapat dilihat dengan jelas.

Hasil pengukuran pH air sumur mula-mula adalah sebesar 9,9, hal tersebut menunjukkan bahwa air sumur tersebut bersifat basa. Setelah air sumur direaksikan dengan zeolit alam yang telah diperlakukan dengan asam maka pH air sumur menjadi netral. Ini berarti bahwa zeolit yang telah diaktivasi dengan asam klorida mampu digunakan untuk pengolahan air.



BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Dari data hasil pengamatan yang telah dianalisis dan dibahas dapat diambil kesimpulan bahwa kemampuan zeolit alam yang telah diaktivasi dengan larutan HCl dalam menjerap logam-logam penyebab kesadahan air adalah sebagai berikut :

1. Ada pengaruh konsentrasi HCl terhadap kemampuan zeolit alam dalam menjerap logam-logam penyebab kesadahan air.
2. Ada pengaruh massa zeolit yang digunakan terhadap kemampuan zeolit alam dalam menjerap logam-logam penyebab kesadahan air akan tetapi tidak begitu signifikan.
3. Kemampuan penjerapan maksimal zeolit yang diperoleh dari penelitian ini sebesar 115,766 mg/L pada konsentrasi HCl 2M dan massa zeolit yang digunakan 2 gram. Kesadahan air turun dari 351,068 mg/L menjadi 120,859 mg/L.

B. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka penulis dapat memberikan saran antara lain :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang menitikberatkan pada penggunaan variasi massa zeolit kurang dari 2 gram agar dapat diketahui dengan jelas pengaruhnya terhadap penurunan kesadahan air.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan volume air sadah yang diperbesar, misalnya minimal 100 ml.



DAFTAR PUSTAKA

Agung Tri Prasetya. 2002. *Paparan Perkuliahan Mahasiswa: Kimia Analisa Instrumen*; Semarang; UNNES

Atasrina S.B dkk. *Penghilang Kesadahan Air yang Mengandung Ion Ca^{2+} dengan Menggunakan Zeolit Alam Lampung Sebagai Penukar Kation*. Jurnal Teknik. Kampus UI Depok; Universitas Indonesia

Bambang Poerwadi, dkk. 1998. *Pemanfaatan Zeolit Alam Indonesia Sebagai Adsorben Limbah Cair dan Media Fluiditas dalam Kolom Fluidisasi*. Jurnal MIPA. Malang; Universitas Brawijaya

Barrer, R. M. 1982. *Hydrothermal Chemistry of Zeolite*. Academic Press, London

Barrer, R.M. 1987. *Zeolites and Clay Minerals as Sorbents and Molecular Sieves*. Academic Press, London

Bekkum, H.V, Flanigen, E.M, and Jansen, J.C. 1991. *Introduction to zeolite Science and Practice*, Elsevier Science Publisher. B.V Amsterdam

Carrado, K. A., Xu, L., Csenesits, R. and Muntean, J. V. 2001. *Use of Organo and Alkoxysilanes in the synthesis of Grafted and Pristine Clays*. Chem. Mater. 13, 3766-3773

Castellan. 1971. *Physical Chemistry*. Edisi kedua. Addison Wesley Publishing Company. Amsterdam

Danang Prasetya. 2004. *Adsorpsi Zat Warna Tekstil Oleh Arang Aktif Enceng Gondok (*Eichornia crassipes*) yang Diaktivasi secara Fisika Menggunakan Gas CO_2* , Skripsi. Semarang; UNNES

Dina Harlinawati. 2004. *Pengaruh Perlakuan Beberapa Jenis Asam Terhadap Kemampuan Adsorpsi Cd (II) oleh Zeolit*. Skripsi. Semarang; UNNES

Endang Tri wahyuni. 2003. *Hand Out Metode Difraksi Sinar-X*. Yogyakarta: Laboratorium Kimia Analitik. FMIPA; Universitas Gajah Mada

F. G. Winarno. 1986. *Air Untuk Industri Pangan*. Jakarta: PT. Gramedia

F. G. Winarno. 1997. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta; PT. Gramedia

Han, Y. S., Matsumoto, H. and Yamanaka, S. 1997. *Preparation of New Silica Sol-based Pillared Clays with High Surface Area and High Thermal Stability*. Chem. Mater. 9, 2013-2018

Heraldy, E, Hisyam SW, dan Sulistiyono. 2003. *Characterization and Activation of Natural Zeolite from Ponorogo Indonesian J. Chem* 3 (2)

It Nawita. 1996. *Penggunaan Arang Aktif dari Kayu Meranti (*Shorea ximia Sciff*) dan Kayu Kulin (*Scrodocarpushar Neensis BECC*) sebagai Adsorben pada Limbah Pulp dan Kertas*. Bandung; Program Pasca Sarjana ITB

Jumaeri, Endang Susilaningsih, Latifah. 2000. *Penggunaan Abu Layang Batubara untuk Penurunan Tingkat Kesadahan Air*. Laporan Penelitian. FMIPA. Semarang ; UNNES

Khairinal, Trisunaryanti, W. 2000. *Dealuminasi Zeolit Alam Wonosari dengan Perlakuan asam dan Proses Hidrotermal*. Prosiding Seminar Nasional Kimia VIII. Yogyakarta

Kosmulski, M. 2001. *Chemical properties of material surfaces, Surfactant Science Series, 102*. Marcel Dekker New York

Kristian Handoyo Sugiyanto. 2000. *Kimia Anorganik I*. Yogyakarta; Universitas Negeri Yogyakarta

L. Setiono, A. Hadyana Pudjaatmaka. 1985. *Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan SemiMikro Edisi ke-5*. Jakarta; PT. Kalman Media Pustaka

Listian Nurkhayati. 1997. *Penentuan Daya Jerap Optimum Zeolit Alam yang telah Diaktivasi dengan Larutan HF terhadap Krom dalam Limbah Industri Penyamakan Kulit*. Skripsi. Yogyakarta; IKIP Negeri Yogyakarta

Madejova, J. 2003. Review: *FTIR Techniques in Clay Mineral Studies*, Vibrational Spectroscopy. 31, 1-10

Mursi Sutarti. 1994. *Zeolit : Tinjauan Literatur*. Jakarta

Nuryono, Suyanta, dan Narsito. 2002. *Pengaruh Perlakuan Tanah Diatome dengan Asam Klorida dan Sulfat terhadap Kemampuan Adsorpsi Krom (III) dan Kadmium (III)*. Edisi Khusus, Jurnal MIPA vol 25, 40

O' Neill. 1994. *Environmental Chemistry*. Second edition. Chapman and Holl. London

Oudejans. 1984. *Zeolit Catalyst in Some Organic Reoactio Supported by Netherlands Foundation for Chemical Research CSDN*; Holland

Raymond Chang. 1998. *Chemistry Sixth Edition*. Boston; Mc Graw- Hill

Shigemoto, N, Sugiyama, S, Hayashi, H, and Miyaura, K. 1995. *Characterization of Na-X, Na-A and Coal Fly Ash Zeolite and Their Amorphorus Precursors by IR, MAS NMR and XPS*, J. Mater. Sci. 30, 5777-5782

Smart, Lesley and Moore, Elaine. 2001. *Solid State Chemistry*. Cheltenham; Nelson Thornes Ltd

S M Khopkar. 1984. *Konsep Dasar Kimia Analitik (Terjemahan)*. Bombay : Analytical Laboratory Departement of Chemistry Indian Institute of Technology Bombay

Sudjana. 1996. *Metode Statistika*. Bandung; Tarsito

Suhardi. 1991. *Petunjuk Laboratorium Analisa Air dan Penanganan Limbah*. Yogyakarta: Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi; Universitas Gajah Mada

Sumar Hendayana. 1994. *Kimia Analitik Instrumen*. Semarang; IKIP Semarang Press

Tony Suroto. 2004. *Kajian Pengaruh Konsentrasi Asam Klorida Terhadap Distribusi Ukuran Pori zeolit Alam dan Uji Kemampuan Sebagai Adsorben Untuk Kemurnian Minyak Daun Cengkeh*. Skripsi. Yogyakarta; Universitas Gajah Mada

Weitkamp, L. and Puppe, L. 1999. *Catalysis and Zeolite*. Springer, New York

Weller, M.T. 1994. *Inorganic Materials Chemistry*. Oxford University Press