

SKRIPSI

**DEALUMINASI ZEOLIT MONCONGLOE, KABUPATEN
MAROS, PROVINSI SULAWESI SELATAN SECARA
KIMIA MENGGUNAKAN ASAM KLORIDA**

Disusun dan diajukan oleh:

**SULHAMDI
D111 20 1021**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

DEALUMINASI ZEOLIT MONCONGLOE, KABUPATEN MAROS, PROVINSI SULAWESI SELATAN SECARA KIMIA MENGUNAKAN ASAM KLORIDA

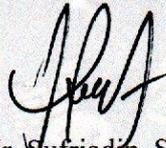
Disusun dan diajukan oleh

Sulhamdi
D111201021

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 04 Oktober 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

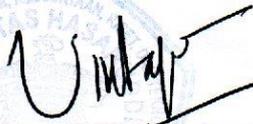
Menyetujui,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T.
NIP 196608172000121001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.
NIP 197010052008012026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Sulhamdi
NIM : D111201021
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Dealuminasi Zeolit Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan
Secara Kimia Menggunakan Asam Klorida}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 04 Oktober 2024

Yang Menyatakan



Sulhamdi

ABSTRAK

SULHAMDI. *Dealuminasi Zeolit Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan Secara Kimia Menggunakan Asam Klorida (dibimbing Sufriadin)*

Zeolit adalah mineral alumino silikat dengan struktur kristal tiga dimensi serta mengandung ion Na, K, Mg, Ca, dan Fe serta molekul air. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan rasio Si/Al zeolit Moncongloe sebagai parameter kualitas dari zeolit melalui proses dealuminasi menggunakan asam klorida (HCl). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik mineralogi zeolit alam Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan, serta menganalisis pengaruh konsentrasi HCl dan waktu dealuminasi terhadap peningkatan rasio Si/Al zeolit. Metode yang digunakan adalah dealuminasi kimia dengan HCl, di mana variabel yang diuji meliputi konsentrasi HCl (0,5 M, 1 M, 2 M, 3 M, dan 4 M) dan waktu dealuminasi (30 dan 60 menit) pada suhu 80°C dengan kecepatan pengadukan 450 rpm. Hasil percobaan dealuminasi memperlihatkan bahwa peningkatan konsentrasi HCl akan meningkatkan rasio Si/Al, dengan nilai tertinggi mencapai 2,06 pada konsentrasi 4 M dalam waktu 60 menit. Waktu dealuminasi yang lebih lama dibutuhkan bagi atom hidrogen (H⁺) untuk bereaksi dengan ion aluminium dan kation lain dalam struktur zeolit yang menyebabkan peningkatan rasio Si/Al. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dealuminasi zeolit Moncongloe menggunakan pelarut HCl dapat meningkatkan rasio Si/Al yang tergolong kategori sedang yaitu $2 < \text{Si/Al} \leq 5$.

Kata Kunci: Dealuminasi, HCl, Rasio Si/Al, Zeolit

ABSTRACT

SULHAMDI. *Dealumination of Moncongloe Zeolite, Maros Regency, South Sulawesi Province, Chemically Using Hydrochloric Acid Solvent (supervised Sufriadin)*

Zeolite is an alumino silicate mineral with a three-dimensional crystal structure and contains Na, K, Mg, Ca, and Fe ions as well as water molecules. This research aims to increase the Si/Al ratio of Moncongloe zeolite as a quality parameter of zeolite through the dealumination process using hydrochloric acid (HCl). The purpose of this study was to determine the mineralogical characteristics of Moncongloe natural zeolite, Maros Regency, South Sulawesi Province, and analyze the effect of HCl concentration and dealumination time on increasing the Si/Al ratio of zeolite. The method used was chemical dealumination with HCl, where the variables tested included HCl concentration (0.5 M, 1 M, 2 M, 3 M, and 4 M) and dealumination time (30 and 60 minutes) at 80°C with a stirring speed of 450 rpm. The results of the dealumination experiment show that increasing the HCl concentration will increase the Si/Al ratio, with the highest value reaching 2.06 at a concentration of 4 M in 60 minutes. Longer dealumination time is needed for hydrogen atoms (H⁺) to react with aluminum ions and other cations in the zeolite structure which causes an increase in the Si/Al ratio. The results of this study indicate that the dealumination of Moncongloe zeolite using HCl solvent can increase the Si/Al ratio which is classified as a medium category, namely $2 < \text{Si/Al} \leq 5$.

Keywords: Dealumination, HCl, Si/Al Ratio, Zeolite

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Zeolit.....	4
2.2 Karakteristik Zeolit.....	6
2.3 Pengolahan dan Pemanfaatan Zeolit.....	10
2.4 Dealuminasi Zeolit.....	12
2.5 Metode Analisis Zeolit.....	16
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN.....	19
3.1 Lokasi Pengambilan Sampel.....	19
3.2 Variabel Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	20
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	22
3.4 Teknik Analisis.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Karakteristik Mineralogi dan Komposisi Kimia Sampel Awal Zeolit.....	33
4.2 Kondisi Setelah Proses Dealuminasi.....	35
4.3 Pengaruh Konsentrasi HCl dan Waktu Dealuminasi Terhadap Rasio Si/Al.....	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Struktur tiga dimensi zeolit (Fatimah dan Wijaya, 2005).	7
Gambar 2 Reaksi pelepasan Al dari dalam kerangka zeolit (Dina, 2004).	15
Gambar 3 Lokasi pengambilan sampel	19
Gambar 4 Pengeringan sampel.....	23
Gambar 5 Reduksi sampel	24
Gambar 6 Proses pengayakan	24
Gambar 7 Penimbangan sampel.....	25
Gambar 8 Pengenceran asam klorida (HCl).....	26
Gambar 9 Proses dealuminasi	27
Gambar 10 Penyaringan sampel.....	28
Gambar 11 Pengeringan sampel.....	29
Gambar 12 Alat analisis XRD.....	30
Gambar 13 Alat analisis XRF	30
Gambar 14 Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 15 Difraktogram hasil XRD sampel awal zeolit	33
Gambar 16 Perbandingan difraktogram XRD zeolit hasil dealuminasi 30 menit dengan variabel konsentrasi HCl.....	35
Gambar 17 Perbandingan difraktogram XRD zeolit hasil dealuminasi 60 menit dengan variabel konsentrasi HCl.....	36
Gambar 18 Grafik peningkatan persentase SiO ₂ hasil dealuminasi 30 menit	38
Gambar 19 Grafik penurunan persentase Al ₂ O ₃ hasil dealuminasi 30 menit.....	38
Gambar 20 Grafik peningkatan persentase SiO ₂ hasil dealuminasi 60 menit	40
Gambar 21 Grafik penurunan persentase Al ₂ O ₃ hasil dealuminasi 60 menit.....	40
Gambar 22 Grafik peningkatan rasio Si/Al pada dealuminasi selama 30 menit...	42
Gambar 23 Grafik peningkatan rasio Si/Al pada dealuminasi selama 60 menit...	43
Gambar 24 Grafik perbandingan rasio Si/Al dengan waktu 30 dan 60 menit pada konsentrasi HCl yang berbeda	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Komposisi dan formula zeolit tipe kalsik (Hay, 1966).	7
Tabel 2 Komposisi dan formula zeolit tipe alkalik (Hay, 1966).	8
Tabel 3 Hasil pengenceran asam klorida (HCl)	26
Tabel 4 Komposisi mineral zeolit	34
Tabel 5 Komposisi kimia awal zeolit	34
Tabel 6 Komposisi kimia zeolit setelah proses dealuminasi selama 30 menit	37
Tabel 7 Komposisi kimia zeolit setelah proses dealuminasi selama 60 menit	39
Tabel 8 Rasio Si/Al zeolit pada dealuminasi selama 30 menit	41
Tabel 9 Rasio Si/Al zeolit pada dealuminasi selama 60 menit	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil analisis XRD	49
Lampiran 2 Hasil analisis XRF	63
Lampiran 3 Perhitungan pengenceran HCl	75
Lampiran 4 Perhitungan komposisi Si dan Al	77
Lampiran 5 Kartu Konsultasi Tugas Akhir	81

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Dealuminasi Zeolit Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan Secara Kimia Menggunakan Asam Klorida" data dalam skripsi ini diperoleh melalui eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan daya adsorpsi zeolit alam Moncongloe melalui proses dealuminasi menggunakan asam klorida (HCl). Sehingga diharapkan, proses dealuminasi menggunakan HCl dapat meningkatkan sifat khusus zeolit, sehingga zeolit Moncongloe dapat digunakan secara lebih efektif sebagai adsorben dalam berbagai aplikasi.

Proses eksperimen sampai penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan hormat dan terima kasih kepada: Kedua Orang Tua penulis serta keluarga besar yang selalu memberikan motivasi dan semangat kepada Penulis, Bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T. selaku Pembimbing dan Kepala Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian, Seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah memberikan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama berkuliah di Departemen Teknik Pertambangan, serta keluarga besar mahasiswa Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2020 (DRILLING) yang memberikan semangat kepada penulis.

Penulis sangat berharap skripsi ini dapat berguna dalam rangka menambah wawasan serta pengetahuan mengenai dealuminasi zeolit secara kimia menggunakan pelarut asam klorida. Penulis juga menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan skripsi ini kedepannya.

Gowa, 04 Oktober 2024

Penulis.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Zeolit merupakan mineral dengan susunan kristal alumino silikat yang membentuk rangka tiga dimensi, memiliki ruang dan saluran, serta mengandung ion Na, K, Mg, Ca, dan Fe beserta molekul air. Zeolit secara alami ditemukan di daerah batuan sedimen di sekitar gunung api atau terendapkan sebagai batuan sedimen, terutama di jenis tanah basalt di wilayah mata air panas. Komposisi kimia zeolit alami sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrotermal di lingkungan lokal, seperti suhu, tekanan uap air setempat, dan komposisi air tanah di lokasi tersebut. Karena faktor ini, zeolit alami dari satu lokasi, meskipun memiliki warna dan tekstur serupa, mungkin memiliki perbedaan dalam komposisi kimia dibandingkan dengan yang ditemukan di tempat lain karena adanya campuran mineral lain, seperti partikel halus sebagai impuritis (Las & Zamroni, 2002).

Saat ini, terdapat banyak jenis zeolit alam yang telah diidentifikasi dan dikelompokkan berdasarkan kesamaan struktur. Meskipun zeolit sintetis juga telah dihasilkan dalam jumlah besar, namun keberadaan zeolit alam tetap memiliki peran penting karena ketersediaannya yang melimpah di alam, terutama di Indonesia (Senda dkk., 2006). Zeolit alam dari Moncongloe, Kabupaten Maros, merupakan salah satu sumber zeolit yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan. Namun, zeolit Moncongloe memiliki rasio Si/Al yang rendah yaitu hanya 1,09 (Sufriadin, dkk, 2022). Rasio ini membatasi penggunaannya di industri dengan kebutuhan spesifik terutama dalam proses adsorpsi yang memerlukan zeolit dengan kinerja tinggi. Oleh karena itu, untuk meningkatkan nilai tambah zeolit ini, diperlukan modifikasi struktur zeolit guna meningkatkan rasio Si/Al.

Untuk meningkatkan rasio Si/Al zeolit, diperlukan adanya modifikasi melalui proses dealuminasi, baik secara kimia maupun fisika. Dealuminasi secara kimia dilakukan dengan perlakuan menggunakan asam klorida, yang melarutkan oksida-oksida aluminium sehingga rasio Si/Al akan meningkat, dealuminasi ini juga melarutkan oksida lain seperti kalsium, besi, dan magnesium yang sebelumnya mengisi pori-pori, sehingga pori-pori tersebut menjadi kosong. Selanjutnya,

permukaan zeolit akan mengikat ion H^+ dari asam tersebut. Keberadaan ion H^+ pada permukaan zeolit membuat zeolit menjadi aktif karena memiliki situs H^+ aktif. Ion H^+ ini nantinya akan berfungsi sebagai penukar ion dalam proses adsorpsi pada pertukaran ion (Laksono, 2009).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penelitian ini diharapkan mampu memberikan alternatif pengolahan zeolit alam Moncongloe dengan formula yang mampu meningkatkan nilai fungsi dari Zeolit alam Moncongloe.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik mineralogi zeolit alam Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi HCl zeolit terhadap peningkatan rasio Si/Al zeolit.
3. Bagaimana pengaruh waktu dealuminasi terhadap peningkatan rasio Si/Al zeolit.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik mineralogi zeolit alam Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Menganalisis pengaruh konsentrasi HCl pada proses dealuminasi zeolit terhadap peningkatan rasio Si/Al zeolit.
3. Menganalisis pengaruh waktu dealuminasi zeolit terhadap peningkatan rasio Si/Al zeolit.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Meningkatkan pengetahuan tentang proses dealuminasi secara kimia zeolit menggunakan pelarut asam klorida (HCL).
2. Memberikan referensi pengolahan batuan non-logam zeolit agar dapat dimanfaatkan dengan maksimal.

3. Meningkatkan rasio Si/Al zeolit yang dihasilkan dari proses dealuminasi sehingga dapat meningkatkan fungsi dari zeolit.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan

Penelitian dilakukan di Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian Galian Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Penelitian dilakukan melalui percobaan untuk meningkatkan rasio Si/Al dalam zeolit yang diambil di daerah Moncongloe, kabupaten Maros, Sulawesi Selatan melalui proses dealuminasi secara kimia yaitu pengurangan persentase Al dengan menggunakan pelarut asam klorida (HCl). Penelitian ini dimulai dengan proses preparasi sampel menjadi 200 *mesh* sebelum dilakukannya proses dealuminasi. Proses dealuminasi menggunakan 25 gram sampel dan 200 ml pelarut dipanaskan dengan suhu 80°C dan diaduk dengan kecepatan 450 rpm. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Shimadzu Maxima X-7000 untuk analisis XRD dan Shimadzu EDX-720 untuk analisis XRF.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zeolit

Zeolit alam terjadi melalui proses kimia dan fisika yang rumit pada batuan yang mengalami berbagai perubahan di lingkungan alam. Para ahli geokimia dan mineralogi berpendapat bahwa zeolit awalnya berasal dari bahan vulkanik yang membeku menjadi berbagai jenis batuan seperti vulkanik, sedimen, atau metamorfosa. Batuan-batuan ini kemudian mengalami pelapukan akibat fluktuasi suhu yang ekstrem. Hal ini akhirnya menyebabkan pembentukan mineral-mineral zeolit. Teori lain mengusulkan bahwa zeolit mungkin terbentuk dari partikel-partikel vulkanik yang tersebar di udara, kemudian mengendap di dasar danau atau lautan. Partikel-partikel ini kemudian mengalami transformasi oleh air danau atau laut, membentuk sedimen yang mengandung zeolit di dasar perairan tersebut (Setyawan, 2002).

Mineralisasi zeolit yang berasosiasi dengan smektit di daerah Moncongloe Maros terbentuk secara genetik melalui proses alterasi akibat interaksi antara mineral-mineral penyusunnya - fenokris K-feldspar serta massa tanah kristalin halus dan gelas vulkanik, dengan fluida hidrotermal dalam kondisi air laut yang bersifat basa. Cairan hidrotermal kemungkinan besar berasal dari intrusi magma yang membentuk batuan beku basaltik, yang mengintrusi Formasi Camba (termasuk batuan induk vulkanik dari mineralisasi zeolit) selama Miosen Akhir hingga Pliosen. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perubahan hidrotermal terjadi pada rentang waktu tersebut. Magma yang membentuk batuan induk gunung api adalah magma seri basa, berkemposisi menengah hingga asam, dan berasal dari zona subduksi. Penyebaran batuan gunung api anggota Formasi Camba di Sulawesi Selatan sangat luas. Penelitian lebih lanjut masih perlu dilakukan untuk memetakan sebaran endapan zeolit di daerah ini (Nur, dkk., 2024).

Zeolit alam dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelompok utama (Lestari, 2010):

- a. Zeolit yang terdapat di dalam celah-celah batuan atau antara lapisan batuan. Kelompok pertama ini umumnya terdiri dari berbagai jenis mineral zeolit

yang bersama-sama dengan mineral lain seperti kalsit, kuarsa, renit, klorit, fluorit, dan mineral sulfida.

- b. Zeolit dalam bentuk batuan; hanya sedikit jenis zeolit yang memiliki struktur batuan. Beberapa contohnya termasuk klinoptilolit, analsim, laumontit, mordenit, filipsit, erionit, kabasit, dan heulandit.

Zeolit alam adalah jenis zeolit yang diekstraksi langsung dari alam. Karena ini, harganya lebih terjangkau dibandingkan dengan zeolit sintesis. Zeolit alam mencakup berbagai mineral seperti klinoptilolit, mordenit, phillipsit, chabazit, dan laumontit, namun distribusinya tidak merata. Meskipun demikian, zeolit alam memiliki kekurangan, termasuk kandungan tinggi unsur pengotor seperti Na, K, Ca, Mg, dan Fe, serta tingkat kristalinitas yang kurang optimal. Untuk meningkatkan sifat-sifat zeolit alam agar dapat digunakan sebagai katalis, adsorben, atau dalam aplikasi lainnya, umumnya diperlukan proses aktivasi dan modifikasi. Selain untuk menghilangkan pengotor, aktivasi zeolit bertujuan untuk mengubah karakteristik zeolit, termasuk peningkatan luas permukaan dan keasaman. Peningkatan ini akan meningkatkan aktivitas katalitik zeolit. Salah satu keunggulan zeolit adalah kemampuannya untuk dimodifikasi dalam hal luas permukaan dan keasaman (Yuanita, 2010).

Terlepas dari aplikasinya yang luas, zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Zeolit memiliki sifat fisika dan kimia yang unik dan serba guna. Sifat-sifat unik tersebut meliputi dehidrasi, adsorben dan penyaring molekul, katalisator dan penukar ion. Zeolit alam tercampur dengan mineral lain seperti feldspar, sodalit, nephelit, dan leusit. Diduga zeolit alam terbentuk dari lava gunung berapi yang mengeras menjadi batuan vulkanik, kemudian mengalami proses pelapukan akibat fluktuasi suhu, membentuk mineral zeolit. Zeolit merupakan mineral kelompok tambang yang memiliki berbagai manfaat, terbentuk dari batuan bekas letusan gunung berapi pada periode Cenozoikum. Di Indonesia, zeolit alam dapat ditemukan di pulau Jawa bagian Selatan, Lampung, dan Sumatera Utara (Said, dkk., 2008).

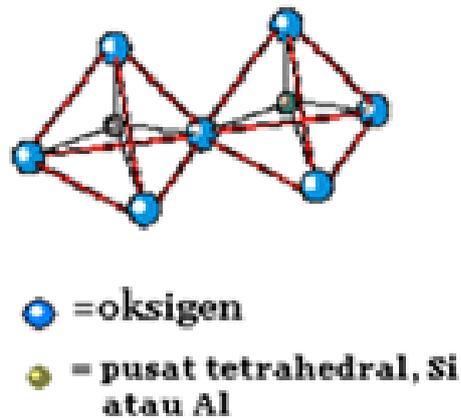
Zeolit sintesis kini telah banyak dikembangkan, zeolit sintesis adalah zeolit yang dibuat secara rekayasa yang sedemikian rupa sehingga didapatkan karakter

yang lebih baik dari zeolit alam. Prinsip dasar produksi zeolit sintetik adalah komponennya yang terdiri dari silika dan alumina, sehingga dapat disintesis dari berbagai bahan baku yang mengandung kedua komponen di atas. Komponen minor dalam zeolit juga dapat ditambahkan dengan mudah menggunakan senyawa murni, sehingga zeolit sintesis memiliki komposisi yang tetap dengan tingkat kemurnian yang tinggi (Georgiev, 2009).

2.2 Karakteristik Zeolit

Zeolit adalah mineral aluminium silikat terhidrasi yang terdiri dari logam alkali dan alkali tanah seperti Na, K, Ca, dan Mg. Komposisinya dapat dinyatakan sebagai $LmAlxSiyOz \cdot nH_2O$, di mana m, x, y, dan z adalah bilangan dari 2 hingga 10, dan n adalah koefisien dari H_2O . L dalam rumus mewakili logam tertentu. Dalam notasi empiris, zeolit dapat ditulis sebagai $(M^+, M^{2+})Al_2O_3gSiO_2 \cdot zH_2O$, di mana M^+ dapat berupa Na atau K, dan M^{2+} dapat berupa Mg, Ca, atau Fe. Kadang-kadang, Li, Sr, atau Ba dapat menggantikan M^+ atau M^{2+} , g dan z merupakan bilangan koefisien. Beberapa jenis zeolit memiliki warna yang bervariasi, termasuk putih, kebiruan, kemerahan, atau coklat, tergantung pada kandungan oksida besi atau logam lainnya. Zeolit memiliki densitas antara 2,0 hingga 2,3 g/cm^3 , dengan tekstur halus dan lembut. Kilapnya juga bervariasi. Struktur zeolit terdiri dari tiga komponen utama: rangka aluminosilikat, ruang kosong yang saling terhubung berisi kation logam, dan molekul air terperangkap dalam fase zeolit. Zeolit memiliki morfologi dan sistem kristal yang merupakan kristal aluminosilikat terhidrasi. Di dalam strukturnya, zeolit mengandung muatan positif dari ion-ion logam alkali dan alkali tanah. Setiap oksigen dalam struktur zeolit membentuk batasan antara dua tetrahedra (Hay, 1966).

Primary Building Unit (PBU) merupakan satuan pembangunan dasar zeolit berupa $[AlO_4]^{5-}$ atau $[SiO_4]^{4-}$ tetrahedral terikat bersama membentuk jembatan oksigen atau dengan kata lain dua tetrahedral SiO_4/AlO_4 saling terikat Tetrahedral ini bermuatan listrik negatif yang saling berikatan dalam kerangka tiga dimensinya (Trisunaryanti, 2018).



Gambar 1 Struktur tiga dimensi zeolit (Fatimah dan Wijaya, 2005).

Zeolit adalah aluminosilikat terhidrasi dari alkali dan alkali tanah, yang merupakan bentuk turunan dari feldspar terhidrasi. Mereka adalah tektosilikat, memiliki kerangka anion tiga dimensi dengan rasio atom (Al + Si): O = 2. Muatan negatif kerangka ini diimbangi oleh kation, umumnya Ca^{2+} , Na^+ , atau K^+ . Berbeda dengan feldspar, kerangka zeolit memiliki rongga besar yang saling berhubungan di mana kation dan molekul air terikat secara longgar. Kation dan molekul air dapat dengan mudah dihilangkan atau diganti pada sebagian besar zeolit tanpa mengganggu kerangka dasarnya. Posisi dan ikatan longgar kation dan molekul H_2O memungkinkan dehidrasi dan pertukaran kation secara terus menerus dan sebagian dapat dibalik. Penggantian tipe $\text{K}^+ \rightarrow \text{Na}^+$ dan $\text{CaAl} \rightarrow \text{NaSi}$ dimungkinkan seperti pada feldspar, tetapi penggantian tipe $\text{Ca}^{2+} \rightarrow 2\text{Na}^+$ juga cukup umum. Pada beberapa zeolit, pertukaran kation menghasilkan modifikasi struktur pada kerangka Si-Al-O (Hay, 1966).

Zeolit secara umum dibedakan dalam tipe yaitu kalsik dan alkalik, dengan komposisi yang berbeda, berikut komposisi dan formula dari zeolit untuk tipe kalsik.

Tabel 1 Komposisi dan formula zeolit tipe kalsik (Hay, 1966).

Nama	Kation dominan	Rumus kimia	Massa jenis
Stilbit	Ca, Na	$\text{Ca}_{0,5}\text{AlSi}_{2,6-3,5}\text{O}_{7,2-9,2} \cdot 8-3,5\text{H}_2\text{O}$	2,18
Kabazit	Ca, Na	$\text{Ca}_{0,5}\text{AlSi}_{1,7-3,0}\text{O}_{5,4-8,0} \cdot 2,7-4\text{H}_2\text{O}$	2,08

Heulandit	Ca, Na	$\text{Ca}_{0,5}\text{AlSi}_{2,7-3,7}\text{O}_{7,4-9,4} \cdot 2,5-3,1\text{H}_2\text{O}$	2,18
Epistilbit	Ca, Na	$\text{Ca}_{0,5}\text{AlSi}_{2,4-3,2}\text{O}_{7,8-8,4} \cdot 2,6-2,8\text{H}_2\text{O}$	2,25
Filipsit	Ca, Na	$\text{Ca}_{0,5}\text{AlSi}_{1,3-2,2}\text{O}_{4,6-6,4} \cdot 1,7-2,4\text{H}_2\text{O}$	2,0-2,3
Gismondin	Ca, Na	$\text{Ca}_{0,5}\text{AlSi}_{1-1,2}\text{O}_{4-4,4} \cdot 2-2,2\text{H}_2\text{O}$	2,1-2,2
Laumontit	Ca	$\text{Ca}_{0,5}\text{AlSi}_2\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,29
Skolesit	Ca	$\text{Ca}_{0,5}\text{AlSi}_{1,5}\text{O}_5 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$	2,27
Thomsonit	Ca, Na	$\text{Ca}_{0,5}\text{AlSi}_{1-1,1}\text{O}_{4-4,2} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,37
Wairakit	Ca	$\text{Ca}_{0,5}\text{AlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,265

Zeolit yang terbentuk pada suhu rendah dalam batuan sedimen umumnya lebih mengandung silika dan kaya akan alkali dibandingkan jenis yang sama yang ditemukan dalam batuan beku. Keterkaitan ini paling jelas terlihat pada *analcime*, *phillipsite*, dan kelompok struktur *heulandite*. Berikut komposisi dan formula dari zeolit untuk tipe alkali.

Tabel 2 Komposisi dan formula zeolit tipe alkali (Hay, 1966).

Nama	Kation dominan	Rumus kimia	Massa jenis
Faujasit	Na, Ca	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_7 \cdot 4,6\text{H}_2\text{O}$	1,92
Klinoptilotit	K, Na, Ca	$\text{NaAlSi}_{4,2-5}\text{O}_{10,4-12} \cdot 3,5-4\text{H}_2\text{O}$	2,13-2,17
Mordenit	Na, Ca	$\text{NaAlSi}_{4,5-5}\text{O}_{11-12} \cdot 3,2-3,5\text{H}_2\text{O}$	2,12
Erionit	Na, K, Ca	$\text{NaAlSi}_{3-3,5}\text{O}_{8-9} \cdot 3-3,4\text{H}_2\text{O}$	2,07
Kabazit	Na, Ca	$\text{NaAlSi}_{1,7-3}\text{O}_{5,4-8} \cdot 2,7-4\text{H}_2\text{O}$	2,08
Filipsit	K, Na, Ca	$\text{NaAlSi}_{1,3-3,4}\text{O}_{4,6-8,8} \cdot 1,7-3,3\text{H}_2\text{O}$	2,0-2,3
Gonardit	Na, Ca	$\text{NaAlSi}_{1,1-1,4}\text{O}_{4,4-4,8} \cdot 1,2-1,3\text{H}_2\text{O}$	2,27
Analsim	Na	$\text{NaAlSi}_{2-2,8}\text{O}_{6-7,6} \cdot 1-1,3\text{H}_2\text{O}$	2,26
Natrolit	Na	$\text{NaAlSi}_{1,5}\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,24

2.2.1 Sifat-Sifat Zeolit

Zeolit merupakan mineral aluminosilikat unik yang memiliki sejumlah sifat khusus yang membuatnya sangat berharga dalam berbagai aplikasi industri dan lingkungan. Sifat-sifat zeolit termasuk kemampuannya untuk melakukan dehidrasi, adsorpsi, pertukaran ion, serta berperan sebagai katalis dan penyaring. Setiap sifat ini memberikan zeolit kegunaan yang luas dalam berbagai bidang, mulai dari industri petrokimia hingga pengolahan air, sifat-sifat zeolit meliputi (Said, dkk., 2008):

1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit akan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan akan efektif berinteraksi dengan molekul yang akan diadsorpsi.

2. Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila mineral zeolit dipanaskan pada suhu 300°C hingga 400°C maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Selain mampu menyerap gas atau cairan, zeolit juga mampu memisahkan molekul dan kepolarannya, meskipun ada 2 molekul atau lebih yang dapat melintas tetapi hanya 1 yang dapat lolos. Hal ini dikarenakan faktor selektivitas dari mineral zeolit tersebut yang tidak ditemukan pada adsorbent padat lainnya.

3. Penukar Ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya.

4. Katalis

Ciri paling khusus dari zeolit yang secara praktis akan menentukan sifat khusus mineral ini adalah adanya ruang kosong yang akan membentuk saluran di dalam strukturnya. Bila zeolit digunakan pada proses penyerapan atau katalis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas diantara

kristal. Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori yang besar dengan permukaan yang maksimum.

5. Penyaring atau Pemisah

Meskipun banyak media berpori yang dapat digunakan sebagai penyaring atau pemisah campuran uap atau cairan, tetapi distribusi diameter dari pori-pori media tersebut tidak cukup efektif seperti halnya penyaring molekular zeolit yang mampu memisahkan campuran berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk dan polaritas dari molekul yang disaring. Contohnya pori-pori zeolit A berbentuk silinder dapat memisahkan nparafin dari campuran hidrokarbon. Zeolit dapat memisahkan molekul gas atau zat lain dari suatu campuran tertentu karena mempunyai ruang hampa yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam berkisar antara 2\AA hingga 8\AA , tergantung dari jenis zeolit.

2.3 Pengolahan dan Pemanfaatan Zeolit

Zeolit agar dapat diaplikasikan sesuai fungsinya, diperlukan proses tertentu agar diperoleh zeolit dengan kualitas yang baik. Cara yang digunakan untuk menaikkan kualitas zeolit biasanya dilakukan melalui proses pengolahan dan aktivasi, baik dengan cara pemanasan, penambahan asam atau basa, maupun pelapisan dengan senyawa kimia tertentu. Aktivasi secara fisis berupa pemanasan zeolit dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit, sehingga luas permukaan pori-pori bertambah. Aktivasi dengan pemanasan ini sering juga dikenal dengan kalsinasi. Aktivasi secara kimiawi dilakukan dengan asam atau basa, dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Pereaksi kimia ditambahkan pada zeolit dalam jangka waktu tertentu. Zeolit kemudian dicuci sampai netral dan kemudian dikeringkan. Pengaktifan dengan asam mineral akan melarutkan logam alkali seperti Ca^{2+} , K^+ , Na^+ dan Mg^+ yang menutup sebagian rongga pori dan pengaktifan dengan H^+ dalam ruang interlamener sehingga zeolit lebih porous dan permukaan lebih aktif (Atikah, 2017).

Penggunaan zeolit didasarkan atas sifat-sifat fisika dan kimia yang unik dimilikinya. Dengan mengeksplotasi sifat-sifat zeolit telah dikembangkan

teknologi industri, pertanian, perlindungan lingkungan. Pemahaman tentang sifat-sifat zeolit menjadi dasar untuk memanfaatkan zeolit seluas-luasnya zeolit untuk berbagai kegunaan. Pada umumnya jenis zeolit alam Indonesia termasuk jenis mordenite dan clinoptilolite. Zeolit jenis mordenit dapat digunakan untuk mengadsorpsi gas H₂O, CO, CO₂, CH₄ dan jenis klinoptilolit dapat digunakan untuk mengadsorpsi gas CO, CO₂, NO (Trisunaryanti, dkk., 2005).

Zeolit awalnya kaya akan aluminium (Al) dengan rasio silika (Si) terhadap Al yang rendah, di mana konsentrasi Al setara dengan Si. Jika atom Al tidak memiliki atom Al dalam koordinasi kedua, maka rasio Si/Al ≥ 1 . Zeolit dengan silika rendah memiliki rasio $1 \leq \text{Si/Al} \leq 2$, sedangkan zeolit dengan rasio Si/Al menengah memiliki rasio $2 < \text{Si/Al} \leq 5$. Pada akhir 1960-an dan awal 1970-an, zeolit dengan rasio Si/Al > 5 disintesis. Dengan meningkatnya rasio Si/Al, sifat-sifat zeolit berubah signifikan; pada rasio yang lebih tinggi, kristal menjadi hidrofobik (Byrappa dan Yoshimura, 2001).

Zeolit alam, sebagai salah satu sumber daya alam yang melimpah di Indonesia, telah menjadi fokus penelitian yang luas. Komposisi mineral zeolit alam meliputi oksida seperti Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, CaO, dan MgO, yang sebagian besar terdapat dalam batuan sedimen, terutama kristal dari kelompok alumina dan silikat. Penerapan zeolit alam meliputi fungsi sebagai absorben, penukar ion, dan katalis, menjadikannya relevan dalam berbagai sektor seperti industri, pertanian, peternakan, dan lingkungan. Selain itu, zeolit alam juga telah diterapkan dalam berbagai bidang seperti katalis, pengisi material kertas, cat, bahan semen, pengurang berat jenis, pupuk, mitigasi polusi industri, dan proses pemurnian gas seperti oksigen, nitrogen, dan metana, serta penyerap amonia (Siregar, dkk., 2019).

Zeolit telah diterapkan secara luas dalam berbagai bidang, antara lain (Anggoro, 2017):

1. Peternakan

Digunakan untuk meningkatkan berat badan hewan ternak, menjaga kebersihan kandang, meningkatkan ketahanan terhadap penyakit, dan menyerap kontaminan.

2. Pertanian

Berperan dalam pembuatan pupuk, meningkatkan hasil panen, menyerap logam berat dalam tanah, serta memperkuat efek herbisida dan fungisida.

3. Kedokteran/Kesehatan

Dalam bidang kedokteran gigi, zeolit digunakan untuk tapal gigi, resin gigi, semen gigi, dan pembuatan mahkota gigi. Selain itu, digunakan dalam produk kesehatan seperti penghilang bau nafas dan penanganan luka bakar.

4. Bahan Bangunan

Dimasukkan ke dalam pembuatan semen, agregat ringan, dan berfungsi sebagai penyerap air serta pengotor.

5. Lingkungan

Membantu dalam pengolahan air dan menyerap kotoran, mengelola limbah radioaktif, menyerap polutan udara, serta memperkaya kandungan oksigen di ruangan tertutup.

6. Industri

- a. Industri kertas: berperan sebagai bahan pengisi, penyerap tinta, serta meningkatkan ketahanan terhadap panas, sinar, dan asam.
- b. Industri ban: meningkatkan modulus elastisitas, mencegah polimerisasi selama proses vulkanisasi.
- c. Industri sabun: digunakan sebagai komponen detergen dan penurun kesadahan air.
- d. Industri minyak bumi/gas alam: berfungsi sebagai penyerap CO_2 , H_2O , H_2S dalam gas alam, katalisator dalam proses alkilasi, isomerisasi, *cracking*, aromatisasi, serta sebagai pemisah dan pengering.

2.4 Dealuminasi Zeolit

Dealuminasi adalah proses perusakan struktur kerangka zeolit dimana terjadi pemutusan Al dalam kerangka (*Al framework*) menjadi Al luar kerangka (*Al non-framework*) akibatnya rasio Si/Al akan menjadi semakin meningkat. Perubahan rasio Si/Al pada suatu material akan mempengaruhi sifat dari material tersebut. Semakin tinggi rasio Si/Al suatu material maka material tersebut semakin bersifat hidrofobik. Dealuminasi adalah metode komersial yang paling penting untuk mendapatkan jumlah Al yang diinginkan. Kenaikan rasio Si/Al akan memberikan

pengaruh terhadap sifat-sifat zeolit seperti terjadinya perubahan medan magnet elektrostatik dalam zeolit, sehingga mempengaruhi interaksi adsorpsi zeolit. Zeolit bersilika rendah akan bersifat hidrofilik sementara zeolit bersilika tinggi bersifat hidrofobik (dan lipofilik). Zeolit bersilika rendah dapat stabil pada temperatur 800-900° K, sedangkan zeolit bersilika tinggi stabil hingga temperatur 1300° K. Zeolit bersilika rendah mudah rusak pada pH kurang dari 4, sedangkan zeolit bersilika tinggi lebih stabil dalam lingkungan asam kuat. Kekuatan asam akan meningkat, sedangkan sisi Asam Bronsted akan berkurang dengan naiknya rasio Si/Al. Kekuatan asam ini disebabkan oleh posisi aluminium dalam kerangka yang lebih terisolasi. Semakin banyak kandungan Al dalam *framework* zeolit (rasio Si/Al menurun) akan menyebabkan kekuatan atau total situs asam zeolit menurun. Sehingga berdasarkan data tersebut dapat dinyatakan bahwa dealuminasi akan menyebabkan peningkatan keasaman zeolit. Keasaman yang dimaksud adalah kekuatan asam yang terdapat pada permukaan zeolit atau banyaknya situs asam yang terdapat pada permukaan zeolit (Lestari, 2010).

Proses dealuminasi zeolit memberikan efek penghilangan komponen pengotor (*impurities*) serta mengoptimalkan kandungan alumina pada zeolit. Hal ini bertujuan memurnikan zeolit dari komponen pengotor, menghilangkan jenis kation logam tertentu dan molekul air yang terdapat dalam rongga, atau memperbesar volume pori, sehingga memiliki kapasitas yang lebih tinggi (Lestari, 2010). Oleh sebab itu zeolit alam perlu diaktifkan terlebih dahulu sebelum digunakan, untuk mempertinggi daya kerjanya. Pengaktifan zeolit dapat dilakukan melalui dua metode yakni secara fisika dan kimia.

2.4.1 Dealuminasi Secara Fisika

Pemanasan terhadap zeolit alam bertujuan untuk mengeluarkan air atau garam pengotor dari dalam rongga-rongga kristal zeolit. Kemampuan atau sifat pertukaran kation zeolit terutama selektifitas dan kapasitas pertukarannya akan sangat ditentukan oleh struktur kristalnya. Pemakaian panas terlalu tinggi menyebabkan terjadinya pelepasan aluminium dari struktur kerangka tetrahedral zeolit. Aktifasi pemanasan yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya dehidroksilasi gugus OH pada struktur zeolit. Akibat terjadinya pemutusan ikatan

Si-O-Al, menyebabkan pembentukan gugus siloksan (Si-O-Al) dan aluminium yang miskin gugus hidroksil. Akibatnya bila terjadi kerusakan pada struktur zeolit tersebut maka kemampuan mempertukarkan kation dan adsorbsinya berkurang/menurun. Kestabilan zeolit terhadap temperatur tergantung pada jenis kandungan mineral zeolitnya (perbandingan Si dengan Al, dan kation yang terdapat dalam zeolit). Umumnya zeolit dengan silika lebih banyak mempunyai kestabilan yang lebih besar. *Clinoptilolite* alam yang kaya akan kalsium rusak pada temperature 5000°C, jika kationnya diganti dengan kalium, maka akan tetap utuh pada temperature 8000°C. Komposisi kation yang berbeda dan perbandingan Si dan Al yang berbeda dan perbandingan Si dengan Al yang berbeda pada beberapa zeolit alam menyebabkan kestabilannya pada temperatur yang berbeda-beda. Seperti modernit yang stabil pada 800-10000°C sedangkan philipsit stabil pada 360-4000°C (Saputra, 2006).

2.4.2 Dealuminasi Secara Kimia

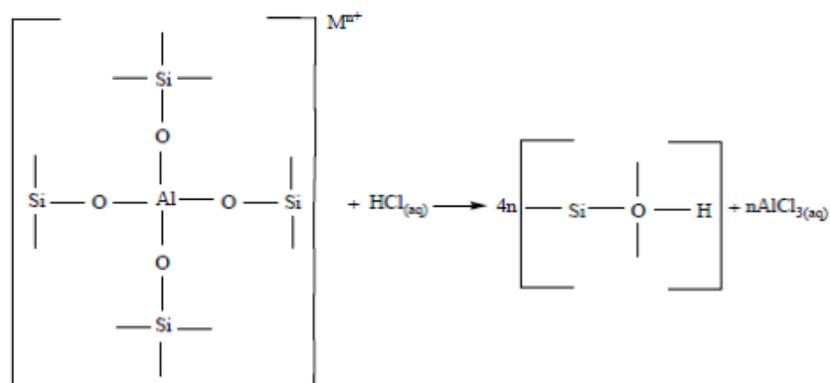
Aktivasi zeolit secara kimia bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Proses aktivasi zeolit dengan perlakuan asam HCl menyebabkan zeolit mengalami dealuminasi dan dekationisasi yaitu keluarnya Al dan kation-kation 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 penyerapan. Tingginya kandungan Al dalam kerangka zeolit menyebabkan kerangka zeolit sangat hidrofilik. Sifat hidrofilik dan polar dari zeolit ini merupakan hambatan dalam kemampuan penyerapannya. Proses aktivasi dengan asam dapat meningkatkan kristalinitas, keasaman dan luas permukaan (Shrihapsari, 2006).

Dealuminasi ini dilakukan untuk meningkatkan rasio Si/Al. Meningkatnya rasio Si/Al berarti juga akan meningkatkan situs asam dari zeolit itu sendiri. Situs asam ini merupakan situs yang berfungsi sebagai sisi aktif pada zeolit. Dengan meningkatnya situs asam berarti juga meningkatkan keaktifan zeolit. Adapun larutan asam yang dapat digunakan antara lain HCl, HNO₃, H₂SO₄ dan H₃PO₄.

Larutan HCl berfungsi untuk menghilangkan pengotor sehingga membuka pori-pori zeolit menjadi berukuran pori lebih besar dan oksida aluminium dari kerangka dalam kristal akan keluar dari struktur zeolit dan terlarut dalam larutan HCl. Larutan HCl dipilih sebagai medium karena larutan HCl dapat mengekstraksi Al dalam zeolit, yaitu Al dalam kerangka zeolit menjadi Al di luar kerangka zeolit disebut sebagai proses dealuminasi.

Pada saat dealuminasi, ion H^+ yang dihasilkan dari ionisasi HCl akan memutus ikatan Al pada kerangka zeolit dan diserang oleh atom oksigen yang terikat pada Si dan Al. Ion H^+ cenderung lebih mudah memutus ikatan Al-O daripada Si-O. Hal ini dikarenakan energi disosiasi ikatan Al-O (116 kkal/mol) lebih rendah dibandingkan Si-O (190 kkal/mol). Ion Cl yang juga merupakan hasil ionisasi dari HCl akan mempengaruhi kekuatan ikatan Al-O dan Si-O. Ion Cl^- yang memiliki elektronegativitas tinggi (3,16) dan berukuran kecil ($r = 0,97\text{\AA}$) akan cenderung berikatan dengan kation-kation bervalensi besar seperti Si^{4+} dan Al^{3+} . Namun, ion Cl^- akan cenderung berikatan dengan atom Al yang memiliki nilai keelektronegatifan yang lebih kecil (1,61) daripada Si (1,90) (Weitkamp and Puppe, 1999). Pemutusan Al oleh ion H^+ dan pengikatan ion Cl^- terhadap Al inilah yang menyebabkan Al terisolasi dari kerangka zeolit sehingga dapat meningkatkan rasio Si/Al.

Berikut contoh reaksi pelepasan Al dari dalam kerangka zeolit oleh pelarut HCl pada gambar 2.



Gambar 2 Reaksi pelepasan Al dari dalam kerangka zeolit (Dina, 2004).

Setiap oksigen dalam ikatan ini cenderung akan mengikat H^+ membentuk OH atau gugus silanol yang bersifat polar. Ion hidrogen pada gugus hidroksilini siap

dipertukarkan dengan kation lain. Pada keadaan netral atau agak asam, dapat terjadi hidrolisis akan menyebabkan kenaikan pada pH. Keadaan yang demikian akan menyebabkan kapasitas pertukarannya meningkat. Pada harga konsentrasi tertentu, asam juga menghidrolisa aluminium dari kerangka zeolit yang menyebabkan struktur menjadi rusak. Bila proses dealuminasi dilakukan berlebihan maka akhirnya $\text{Si}(\text{OH})_4$ mudah berpolimerisasi dan terjadi pemisahan gugus OH (dehidroksilasi), membentuk Si-O-Si yang merupakan ikatan yang kuat. Hasil dari proses dealuminasi zeolit ini berbentuk silika gel, seperti pada pemanasan yang terlalu tinggi dan terbentuk bahan amorf sebagai bahan akhir (Bambang, dkk., 1995).

Secara umum konsentrasi larutan asam serta jenis asam yang dipergunakan di dalam aktivasi akan mempengaruhi sifat pertukaran dan struktur kristal dari mineral zeolit. Berdasarkan kelarutan di dalam asam klorida (HCl), zeolit dibagi dalam empat kelompok yaitu sangat resisten, resisten, sedikit resisten dan sedang klinoptilolit resisten. Keadaan ini merupakan sifat dari struktur Kristal dan ratio Si/Al yang dimiliki oleh masing-masing jenis zeolit tersebut (Sarno, 1983).

2.5 Metode Analisis Zeolit

2.5.1 Metode Analisis XRD

Salah satu teknik yang digunakan untuk menentukan struktur suatu padatan kristalin adalah metode difraksi sinar-X serbuk (*X-ray powder diffraction*). Sampel berupa serbuk padatan kristalin yang memiliki ukuran kecil dengan diameter butiran kristalnya sekitar 10^{-7} - 10^{-4} m ditempatkan pada suatu plat kaca. Sinar-X diperoleh dari elektron yang keluar dari filamen panas dalam keadaan vakum pada tegangan tinggi, dengan kecepatan tinggi menumbuk permukaan logam, biasanya tembaga (Cu). Sinar- X tersebut menembak sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg.

Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memiliki beberapa sudut orientasi

sudut tertentu, sehingga difraksi sinar-X memenuhi Hukum Bragg; $n\lambda = 2d \sin \theta$ (Warren, 1969). Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafik garis-garis yang terekam per menit sinkron, dengan detektor dalam sudut 2θ per menit, sehingga sumbu-x setara dengan sudut 2θ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik. Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai 2θ tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut. Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, yang bergantung pada kisi kristal, unit parameter dan panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Dengan demikian, sangat kecil kemungkinan dihasilkan pola difraksi yang sama untuk suatu padatan kristalin yang berbeda (Suharyana, 2012).

2.5.2 Metode Analisis XRF

Metode analisis yang biasa digunakan untuk pengendalian kualitas sampel yaitu dengan XRF. *X-ray fluorescence* (XRF) spektrometer adalah suatu alat X-ray digunakan yang relatif non-destruktif dalam analisis kimia batuan, mineral, sedimen dan cairan. Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (Munasir, 2012).

Analisis unsur-unsur utama dan jejak dalam bahan oleh *x-ray fluorescence* dimungkinkan oleh perilaku atom ketika mereka berinteraksi dengan radiasi. Ketika bahan-bahan dengan energi tinggi, radiasi panjang gelombang pendek (misalnya, sinar-X), mereka dapat terionisasi. Energi radiasi yang cukup untuk mengeluarkan

sebuah elektron akan menyebabkan atom menjadi tidak stabil dan sebuah elektron terluar menggantikan elektron yang hilang. Ketika ini terjadi, energi dilepaskan karena energi yang mengikat penurunan orbital elektron dalam dibandingkan dengan elektron luar. Radiasi yang dipancarkan adalah energi yang lebih rendah dan disebut radiasi neon, karena energi dari foton yang dipancarkan adalah karakteristik transisi antara orbital elektron yang spesifik dalam elemen tertentu, neon dihasilkan sinar-X dapat digunakan untuk mendeteksi kelimpahan unsur-unsur yang hadir dalam sampel (Munasir, 2012).