

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

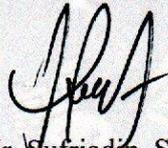
Disusun dan diajukan oleh

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

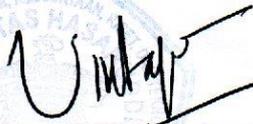
Menyetujui,

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, analim, 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).

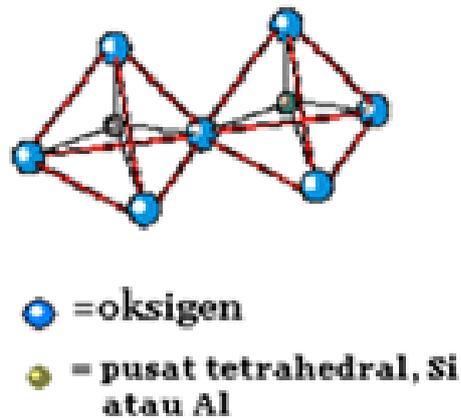
Zeolit sintesis kini telah banyak dikembangkan, zeolit sintesis adalah zeolit yang dibuat secara rekayasa yang sedemikian rupa sehingga didapatkan karakter

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 $LmAl_xSi_yO_z \cdot nH_2O$, 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 alkalik.

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

Nama	Kation dominan	Rumus kimia	Massa jenis
Faujasit	Na, Ca	$\text{NaAlSi}_2,4\text{O}_{7,2} \cdot 4,6\text{H}_2\text{O}$	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
Kabasit	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

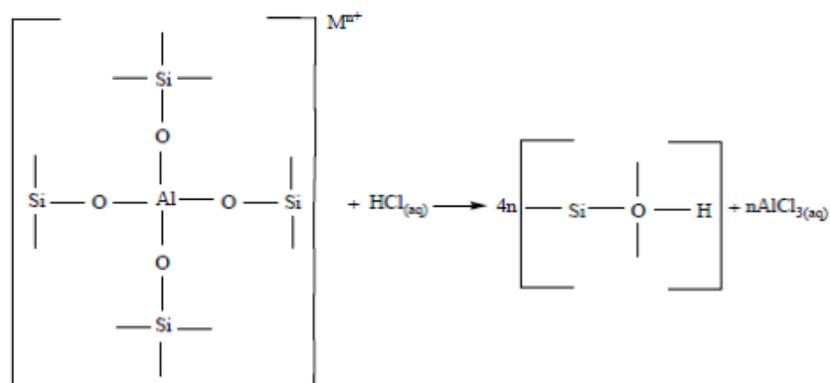
Aktivasi zeolit secara kimia bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Proses aktivasi zeolit dengan perlakuan asam HCl menyebabkan zeolit mengalami dealuminasi dan dekationisasi yaitu keluarnya Al dan kation-kation 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).

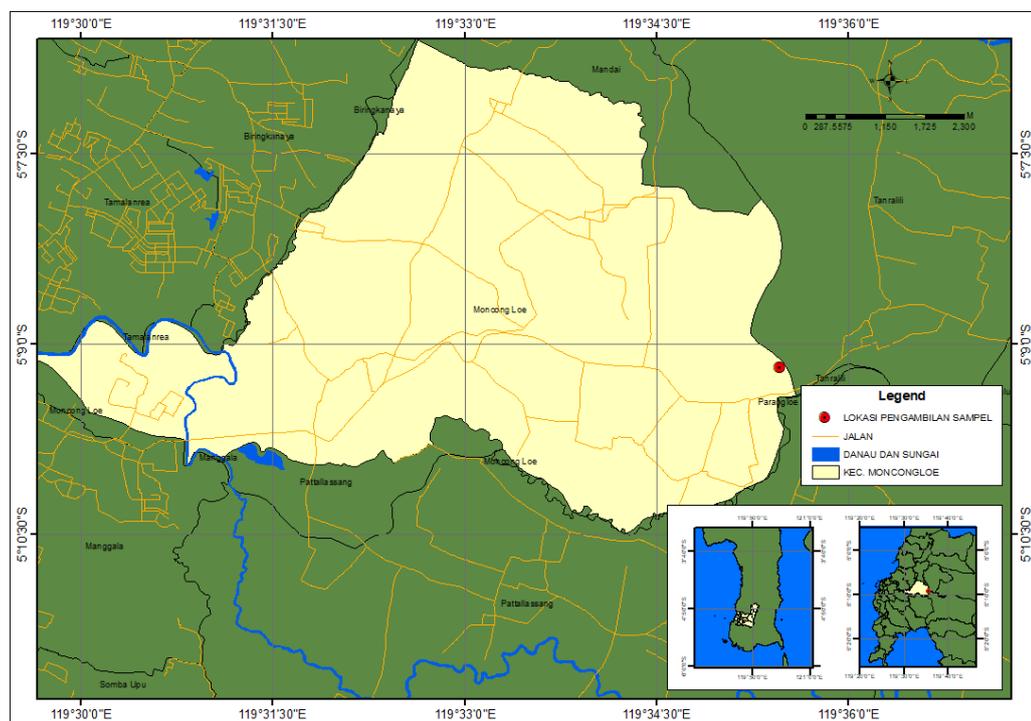
Analisis unsur-unsur utama dan jejak dalam bahan oleh *x-ray fluorescence* dimungkinkan oleh perilaku atom ketika mereka berinteraksi dengan radiasi. Ketika bahan-bahan dengan energi tinggi, radiasi panjang gelombang pendek (misalnya, sinar-X), mereka dapat terionisasi. Energi radiasi yang cukup untuk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

BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN

3.1 Lokasi Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian kali ini merupakan sampel zeolit dari daerah Moncongloe, Kabupaten Maros. Lokasi pengambilan sampel merupakan wilayah penambangan batuan yang dikelola oleh masyarakat setempat sebagai bahan material timbunan. Secara geografis lokasi pengambilan sampel terletak antara 5°09'10"S dan 119°35'22"E.



Gambar 3 Lokasi pengambilan sampel

3.2 Variabel Penelitian

variabel penelitian pada dasarnya adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya. Secara teoritis variabel dapat didefinisikan sebagai atribut seseorang, atau obyek, yang mempunyai variasi antara satu orang dengan yang lain atau satu obyek dengan obyek yang lain, variabel penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

1. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan. Variabel kontrol sering digunakan oleh peneliti bila akan melakukan penelitian yang bersifat membandingkan. Adapun kondisi pelindian dalam percobaan ini adalah sebagai berikut:

- a) Berat sampel zeolit : 25 gram
- b) Ukuran butir sampel : 200 mesh
- c) Pelarut : asam klorida (HCl)
- d) Volume pelarut : 200 mL
- e) Kecepatan pengadukan : 450 rpm
- f) Suhu pelindian : 80°C

2. Variabel Bebas (Variabel Independen)

Variabel ini sering disebut sebagai variabel stimulus, prediktor, antecedent. Dalam bahasa Indonesia sering disebut sebagai variabel bebas. Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel dependen (terikat). Adapun variabel bebas pada penelitian ini adalah:

- a) Waktu pelindian : 30 menit dan 60 menit.
- b) Konsentrasi pelarut: 0,5 Molar, 1 Molar, 2 Molar, 3 Molar dan 4 Molar.

3. Variabel Terikat (Variabel Dependen)

Variabel Dependen sering disebut sebagai variabel output, kriteria, konsekuen. Dalam bahasa Indonesia sering disebut sebagai variabel terikat. Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah rasio Si/Al pada setiap sampel hasil percobaan.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan selama penelitian ini yaitu sebagai berikut.

3.2.1 Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan beragam alat sesuai keperluan untuk mendukung setiap fase dalam proses penelitian. Berikut adalah beberapa alat yang digunakan:

1. Alat tulis, terdiri atas pulpen dan spidol yang digunakan untuk mencatat data yang dibutuhkan dan menuliskan kode sampel.
2. Kertas HVS, digunakan untuk mencatat data dan sebagai alas seluruh alat saat percobaan dilakukan.
3. Tisu, digunakan untuk membersihkan dan mengeringkan alat yang digunakan
4. Memmert Oven Laboratorium tipe UN 55 531 digunakan untuk mengeringkan sampel dengan suhu 105°C.
5. Agate mortar, mortar baja dan alu adalah jenis alat yang digunakan untuk menggerus sampel.
6. Kantong sampel digunakan untuk menyimpan sampel dan arang tongkol jagung.
7. Timbangan digital Sartorius tipe CPA 124S, digunakan untuk menimbang sampel sesuai berat yang dibutuhkan.
8. Ayakan 200 mesh digunakan untuk mengayak atau memisahkan material sampel berdasarkan ukuran butirnya.
9. Cawan krusibel ukuran 50 ml digunakan sebagai wadah sampel pada saat proses pengeringan di oven.
10. Sendok digunakan untuk memindahkan sampel.
11. Talang digunakan sebagai alas untuk mengangkat atau memindahkan cawan yang berisi sampel.
12. *Beaker glass*, digunakan sebagai media pelindian.
13. Termometer, digunakan untuk mengukur suhu pelindian.
14. *Hot plate* dan *magnetic stirrer* tipe PC-420 D, digunakan untuk mengaduk dan memanaskan larutan dengan bantuan pengaduk batang magnet atau yang disebut *magnetic stir bar*.
15. *Magnetic stir bar*, digunakan untuk mengaduk larutan pelindian.
16. Labu erlenmeyer, digunakan untuk menampung larutan pada proses penyaringan.
17. Pompa vakum, digunakan untuk menarik dan mengeluarkan udara dari dalam labu erlenmeyer dalam rangka mempercepat proses penyaringan sampel
18. Corong *bunchner*, digunakan untuk penyaringan sampel dan larutan asam klorida dengan bantuan vakum.

19. Mesin Uji XRD dan XRF digunakan untuk mengetahui komposisi mineralogi dan komposisi kimia dari sampel yang diteliti.

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan selama proses penelitian yaitu:

1. Zeolit, digunakan sebagai sampel atau objek utama penelitian.
2. Larutan asam klorida (HCl)
3. Aquades
4. Kertas saring Whatman nomor 42.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dalam prosesnya. Data penelitian kuantitatif berdasarkan sumbernya terbagi atas data primer dan data sekunder. Data sekunder didapatkan dari literatur ilmiah yang relevan dengan penelitian ini, Kemudian data primer adalah data yang diperoleh dengan percobaan langsung. Data primer dalam penelitian ini diperoleh melalui penerapan teknik analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Pemanfaatan instrumen ini bertujuan untuk mengidentifikasi mineralogi dan komposisi kimia dari sampel zeolit yang sedang diselidiki.

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu sebagai berikut.

3.3.1 Studi literatur

Studi literatur merupakan rangkaian kegiatan yang melibatkan pengumpulan data dari sumber-sumber pustaka, proses membaca, mencatat, dan mengelola materi penelitian. Tahapan ini yang dilakukan dengan mengumpulkan berbagai sumber seperti buku teks, jurnal, dan laporan yang telah ada terkait dengan isu atau tujuan penelitian ini. Tujuan dari teknik ini adalah untuk menemukan teori-teori yang relevan dengan permasalahan yang sedang diselidiki sebagai dasar referensi dalam pembahasan hasil penelitian. Studi literatur juga dapat diartikan sebagai pencarian referensi teori yang sesuai dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan.

3.3.2 Preparasi sampel

Preparasi sampel merupakan tahapan menyiapkan sampel dalam bentuk layak serta siap untuk dilakukan pengujian maupun analisis melalui media perangkat di laboratorium Pengolahan Bahan Galian, Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Preparasi sampel yang dilakukan meliputi:

1. Pengeringan sampel

Tahapan awal dalam preparasi sampel adalah pengeringan sampel. Pengeringan sampel dilakukan untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam zeolit yang telah diambil dari lokasi penelitian. Metode pengeringan dilakukan dalam penelitian ini adalah pengeringan udara (*air drying*). Proses pengeringan sampel di perlihatkan pada gambar 4



Gambar 4 Pengeringan sampel

2. Reduksi ukuran sampel

Reduksi ukuran bertujuan untuk mengurangi dimensi partikel zeolit tanpa mengubah massa atau komposisi sampel, sehingga memenuhi persyaratan untuk aplikasi dan pengujian dalam penelitian ini. Proses reduksi ukuran dilakukan dengan menghancurkan sampel menggunakan *crusher* dan kemudian digerus menggunakan mortar. Proses dimulai dengan membersihkan *crusher* dan memasukkan sampel ke dalamnya, lalu menggiling sampel yang telah dihancurkan menggunakan agate mortar hingga mencapai ukuran yang diinginkan. Aktivitas ini ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Reduksi sampel

3. Pengayakan sampel

Pengayakan merupakan proses pemisahan sampel untuk mendapatkan sampel yang memiliki ukuran seragam. Proses pengayakan menggunakan ayakan 200 *mesh* (75 *micron*). Hasil dari pengayakan adalah sampel berbentuk bubuk dengan ukuran 200 *mesh*. Proses pengayakan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Proses pengayakan

4. Penimbangan sampel

Penimbangan sampel adalah proses pengukuran berat sampel menggunakan timbangan dengan maksud untuk mendapatkan jumlah sampel yang tepat untuk proses dealuminasi selanjutnya. Berat setiap sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 25 gram untuk setiap variabel. menggunakan timbangan digital tipe CPA124S dari merek Sartorius. Proses penimbangan sampel dapat dilihat dalam Gambar 7.



Gambar 7 Penimbangan sampel

3.3.3 Pengenceran asam klorida (HCl)

Pengenceran HCl ini merupakan proses untuk menurunkan atau memperkecil konsentrasi larutan HCl, konsentrasi yang dimaksud adalah molaritas dari HCl yang akan digunakan. Pada proses pengenceran ini, volume dan molaritas berubah, sedangkan jumlah molnya tetap. Diketahui HCl yang digunakan adalah HCl 37% dengan molaritas 12, maka untuk memperoleh molaritas yang diinginkan digunakan rumus berikut:

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2 \text{ Atau } V_1 = \frac{V_2 \cdot M_2}{M_1}$$

Keterangan:

V_1 = Volume larutan sebelum diencerkan (mL)

M_1 = Molaritas larutan sebelum diencerkan (M)

V_2 = Volume larutan setelah diencerkan (mL)

M_2 = Molaritas larutan setelah diencerkan (M)

Berikut ini hasil pengenceran larutan HCl dapat di lihat pada Tabel 3 .

Tabel 3 Hasil pengenceran asam klorida (HCl)

Reagen	V_1 (mL)	M_1 (M)	V_2 (mL)	M_2 (M)
HCl 37%	18,75	12	450	0,5
	37,5			1
	75			2
	112,5			3
	150			4

Proses pengenceran dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi dari asam klorida (HCl) yaitu 0,5 M, 1 M, 2 M, 3 M dan 4 M. Berdasarkan hasil perhitungan pengenceran (Tabel 3) diperoleh volume larutan pekat yang dibutuhkan yang kemudian dicampurkan aquades untuk membuat 450 mL larutan. Proses pengenceran larutan asam dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Pengenceran asam klorida (HCl)

3.3.4 Dealuminasi

Dealuminasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah dealuminasi secara kimia yang menggunakan asam klorida (HCl) sebagai reagen dengan kondisi dealuminasi sebagai berikut, Volume HCl 200 mL, Kecepatan pengadukan 450 rpm dan suhu dealuminasi 80°C. Setelah alat dan bahan siap, maka kegiatan dealuminasi dilakukan dengan langkah awal yaitu mengisi *beaker glass* dengan larutan asam klorida (0,5 M, 1 M, 2 M, 3 M dan 4 M) sebanyak 200 ml kemudian dimasukkan *magnetic bar* dan ditutup dengan *aluminium foil*. *beaker glass* tersebut kemudian diletakkan di alat hot plate dan *magnetic stirrer* untuk memanaskan larutan sampai ke suhu 80°C. Apabila suhu larutan asam yang digunakan sudah mencapai 80°C maka sampel zeolit sebanyak 25 gram dimasukkan dan *magnetic stirrer*-nya mulai diputar dengan kecepatan agitasi sebesar 450 rpm. Perhitungan waktu dealuminasi dimulai Ketika *magnetic stirrer* mulai diputar dan lama waktu dealuminasi selama 30 menit dan 60 menit, dan memastikan suhu pelindian berada pada suhu 80°C dengan putaran *magnetic bar* tepat pada bagian tengah dari *beaker glass*. Proses dealuminasi ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Proses dealuminasi

3.3.5 Penyaringan

Filtrasi, juga dikenal sebagai penyaringan, adalah proses pemisahan padatan dari cairan dengan menggunakan media berpori yang menahan padatan dan membiarkan cairan melewati untuk menghasilkan cairan yang jernih. Hasil dari proses penyaringan berupa padatan zeolit yang kemudian akan dikeringkan dan dianalisis menggunakan XRF untuk menentukan rasio Si/Al, serta analisis XRD untuk mengidentifikasi mineral-mineral yang terdapat dalam sampel setelah dilakukan proses dealuminasi. Dalam penelitian ini, sampel zeolit yang telah melalui proses dealuminasi disaring menggunakan kertas saring Whatman Nomor 42 dengan diameter yang disesuaikan dengan corong *buchner*. Proses penyaringan dilakukan setelah sampel yang telah melalui proses dealuminasi didiamkan selama satu hari penuh kemudian dicuci menggunakan aquades sampai pada keadaan netral dengan menggunakan pompa vakum dan corong *buchner* yang terpasang pada labu *Erlenmeyer*, yang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Penyaringan sampel

3.3.6 Pengeringan sampel

Proses pengeringan sampel zeolit hasil dealuminasi dilakukan setelah sampel disaring, sampel dikeringkan terlebih dahulu dengan metode pengeringan udara selama satu hari lalu kemudian menggunakan oven. Sampel dimasukkan ke dalam cawan berukuran 30 ml kemudian dimasukkan di dalam alat Memmert Oven

Laboratorium tipe UN 55 531. Suhu oven disetting pada suhu 105°C selama 2 jam. Proses pengeringan sampel dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Pengeringan sampel

3.3.7 Karakterisasi sampel

Setelah proses pengeringan selesai dilakukan, maka selanjutnya dilakukan karakterisasi sampel. Karakterisasi sampel merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui komposisi baik itu komposisi kimia ataupun komposisi mineral yang terkandung pada sampel yang diteliti. Karakterisasi sampel dilakukan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Analisis XRD merupakan metode yang digunakan dalam mengkarakterisasi sampel zeolit untuk mengetahui kandungan mineral yang terdapat dalam sampel. Sampel yang digunakan untuk analisis XRD adalah sampel bubuk yang berukuran <math><200\text{ mesh}</math> sebanyak ± 5 gram. Setelah dianalisis dalam alat difraktogram ini menghasilkan deretan puncak puncak difraksi dengan intensitas bervariasi sepanjang nilai 2θ tertentu. Hasil dari analisis XRD ini akan diolah menggunakan software Match! 3. Analisis ini menggunakan Instrument difraktometer tipe Shimadzu Maxima X-7000 yang dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Alat analisis XRD

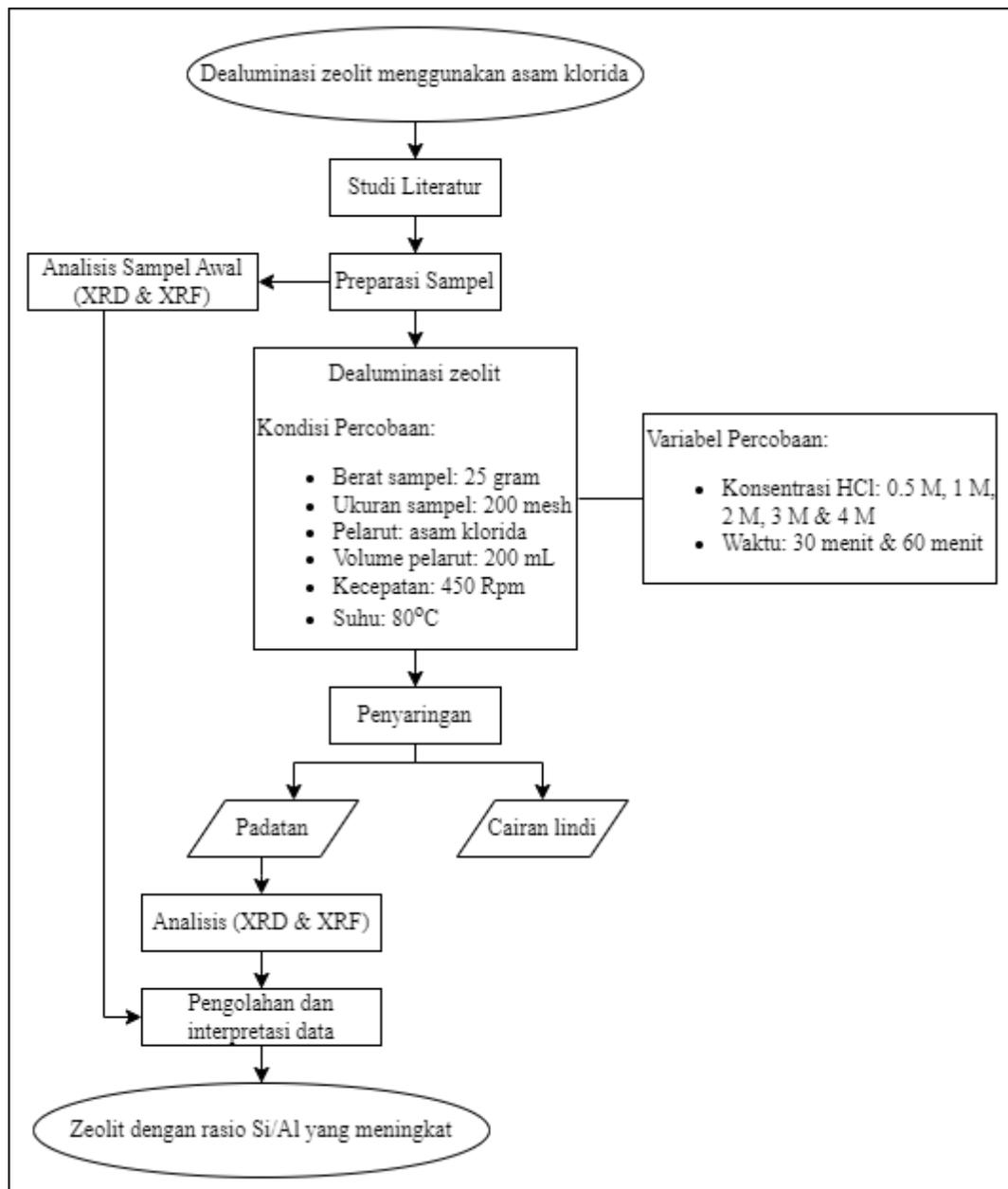
2. X-Ray Fluorescence (XRF)

Analisis XRF (*X-ray fluorescence spectrometry*) merupakan teknik analisa non-destruktif yang digunakan untuk identifikasi serta penentuan konsentrasi elemen atau komposisi kimia yang ada pada sampel zeolit, baik itu sampel awal maupun sampel hasil dealuminasi. Hasil keluaran data analisis kimia menggunakan metode XRF yaitu persentase unsur dan senyawa yang terkandung dalam sampel. Proses analisis ini menggunakan alat XRF yang dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Alat analisis XRF

Secara keseluruhan, tahapan penelitian ini dapat dirangkum dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Diagram alir penelitian

3.4 Teknik Analisis

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mineralogi zeolit alam Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan. Tujuan selanjutnya adalah menganalisis pengaruh konsentrasi HCl dan waktu dealuminasi terhadap

rasio Si/Al menggunakan pelarut asam klorida. Analisis pengaruh konsentrasi HCl dan waktu dealuminasi terhadap rasio Si/Al dilakukan dengan membandingkan rasio Si/Al kemudian menentukan konsentrasi HCl dan waktu dealuminasi yang paling berpengaruh terhadap rasio Si/Al setelah proses dealuminasi. Sehingga sangat erat kaitannya dengan analisis data hasil analisis XRD dan XRF. Analisis statistik dalam penelitian ini digunakan untuk membantu peneliti mengetahui hubungan antar variabel.

Analisis korelasi adalah metode statistik yang mengukur dan menggambarkan kekuatan serta arah hubungan linear antara dua variabel. Koefisien korelasi, sering dilambangkan dengan "r", berkisar dari -1 hingga 1. Nilai r positif menunjukkan hubungan positif antara dua variabel, di mana peningkatan satu variabel cenderung diikuti oleh peningkatan variabel lainnya. Sebaliknya, nilai r negatif menunjukkan hubungan negatif, di mana peningkatan satu variabel cenderung diikuti oleh penurunan variabel lainnya. Nilai r yang mendekati 0 menunjukkan bahwa tidak ada hubungan linear yang signifikan antara kedua variabel. Analisis korelasi sering digunakan dalam penelitian untuk menentukan seberapa kuat dan arah hubungan antara dua set data, memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi pola dan hubungan yang mungkin tidak terlihat hanya dari data mentah.

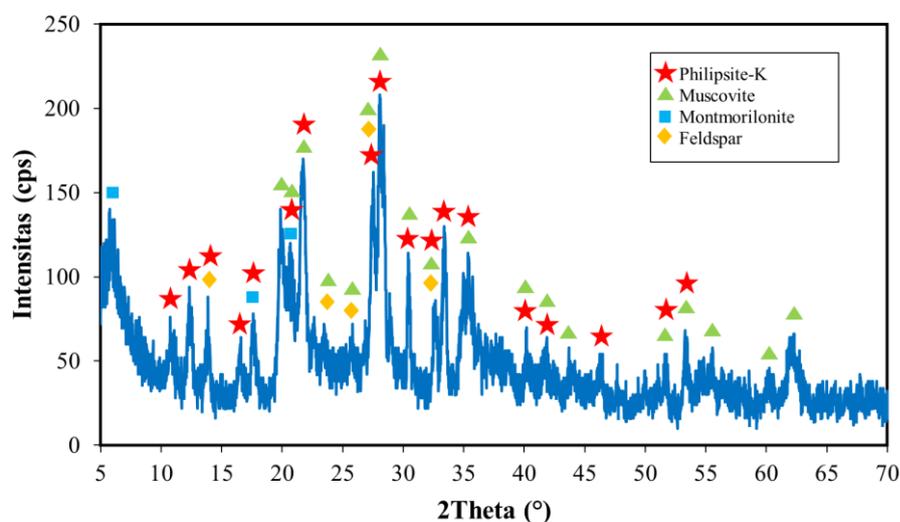
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Mineralogi dan Komposisi Kimia Sampel Awal Zeolit

Karakterisasi sampel awal dilakukan dengan pengamatan komposisi mineral yang terkandung dalam sampel menggunakan XRD dan pengamatan komposisi kimia sampel dengan menggunakan XRF. Hasil analisis ini akan digunakan untuk melihat bagaimana pengaruh dari eksperimen yang telah dilakukan. Berikut ini merupakan hasil analisis awal sampel zeolit.

4.1.1 Analisis XRD

Analisis XRD sampel awal dilakukan untuk mengetahui komposisi mineral yang terkandung dalam sampel. Hasil XRD berupa data difraktogram yang kemudian diolah menggunakan *software Match* untuk mendeteksi komposisi mineral berdasarkan *peak* yang terbaca. Hasil analisis XRD sampel awal zeolit dapat dilihat pada Gambar 15 berikut.



Gambar 15 Difraktogram hasil XRD sampel awal zeolit

Hasil analisis XRD memperlihatkan kehadiran beberapa mineral, yaitu, mineral *phillipsite-K*, *muscovite*, *montmorillonite* dan *feldspar*. *Phillipsite-K* ditandai munculnya puncak-puncak difraksi dengan nilai d yaitu: 8,17 Å; 7,15 Å; 6,38 Å; 5,36 Å; 5,03 Å; 4,09 Å; 3,93 Å; 3,24 Å; 3,17 Å; 2,93 Å; 2,74 Å; 2,68 Å; 2,24 Å; 2,15 Å; 1,95 Å; 1,76 Å dan 1,71 Å. *Muscovite* pada difraktogram ditandai

dengan munculnya puncak-puncak difraksi dengan nilai d yaitu: 4,45 Å; 4,29 Å; 3,24 Å; 3,17 Å; 2,68 Å; 2,47 Å; 2,24 Å; 2,15 Å; 2,06 Å dan 1,49 Å. Kemudian *Montmorillonite* pada difraktogram ditandai munculnya puncak-puncak difraksi dengan nilai d yaitu: 15,22 Å; 5,03 Å dan 4,09 Å. Mineral *feldspar* ditandai dengan nilai d pada mineral yaitu: 6,38 Å; 3,79 Å; 3,46 Å; 3,24 Å dan 2,68 Å. Komposisi mineral hasil analisis XRD dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 4 Komposisi mineral zeolit

Mineral	Rumus Kimia	Komposisi (%)
<i>Phillipsite-K</i>	$Al_{3,2}Ca_{0,78}H_{7,5}K_{1,22}Na_{0,41}O_{21,13}Si_{4,8}$	47,2
<i>Muscovite</i>	$Al_{2,8}Fe_{0,1}H_2K_{0,6}Mg_{0,04}Na_{0,37}O_{12}Si_{3,04}Ti_{0,02}$	47,5
<i>Montmorillonite</i>	$Al_2Ca_{0,5}O_{12}Si_4$	3,4
<i>Feldspar</i>	$Al_2Ca_{0,2}O_8Si_2Sr_{0,8}$	1,9

4.1.2 Analisis XRF

Analisis XRF (*X-ray Fluorescence*) pada sampel awal zeolit memberikan gambaran komposisi kimia yang lebih detail. Berikut ini adalah pembahasan mengenai komposisi kimia sampel awal zeolit berdasarkan data yang diperoleh.

Tabel 5 Komposisi kimia awal zeolit

Senyawa Kimia	Komposisi (%)
SiO ₂	52,56
Al ₂ O ₃	37,39
K ₂ O	3,03
BaO	2,64
Fe ₂ O ₃	2,12
CaO	1,87
SrO	0,15
TiO ₂	0,14
Total Oksida	99,90
Rasio SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,41
Rasio Si/Al	1,24

Hasil analisis XRF (*X-ray Fluorescence*) pada sampel awal zeolit menunjukkan komposisi kimia yang didominasi oleh dua unsur utama, yaitu SiO₂ dan Al₂O₃, dengan persentase masing-masing sebesar 52,56% dan 37,39%. SiO₂ dan Al₂O₃ adalah komponen utama dalam kerangka zeolit, yang memberikan struktur kristalin dan sifat adsorpsi yang penting dalam aplikasi zeolit.

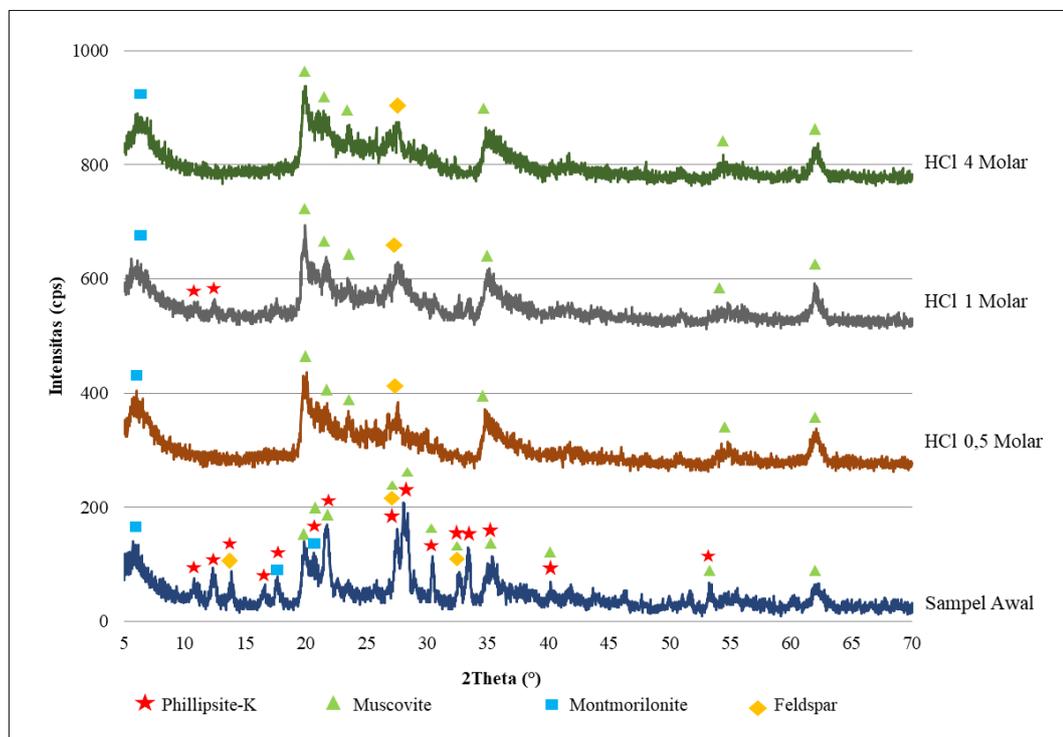
Selain SiO_2 dan Al_2O_3 , terdapat beberapa unsur lain yang terdeteksi dalam sampel. Unsur-unsur ini meliputi K_2O (3,03%), BaO (2,64%), Fe_2O_3 (2,12%), CaO (1,87%), SrO (0,15%) dan TiO_2 (0,14%). Meskipun memiliki persentase yang kecil, keberadaan unsur ini dapat memengaruhi sifat dan kinerja zeolit dalam aplikasi tertentu, seperti adsorpsi, katalisis, atau pemurnian.

Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada sampel zeolit ini adalah sekitar 1,41 sehingga untuk rasio Si/Al adalah sekitar 1,24. Rasio ini merupakan parameter penting dalam menentukan sifat zeolit, di mana rasio yang lebih tinggi umumnya mengindikasikan keasaman yang lebih rendah dan stabilitas termal yang lebih tinggi

4.2 Kondisi Setelah Proses Dealuminasi

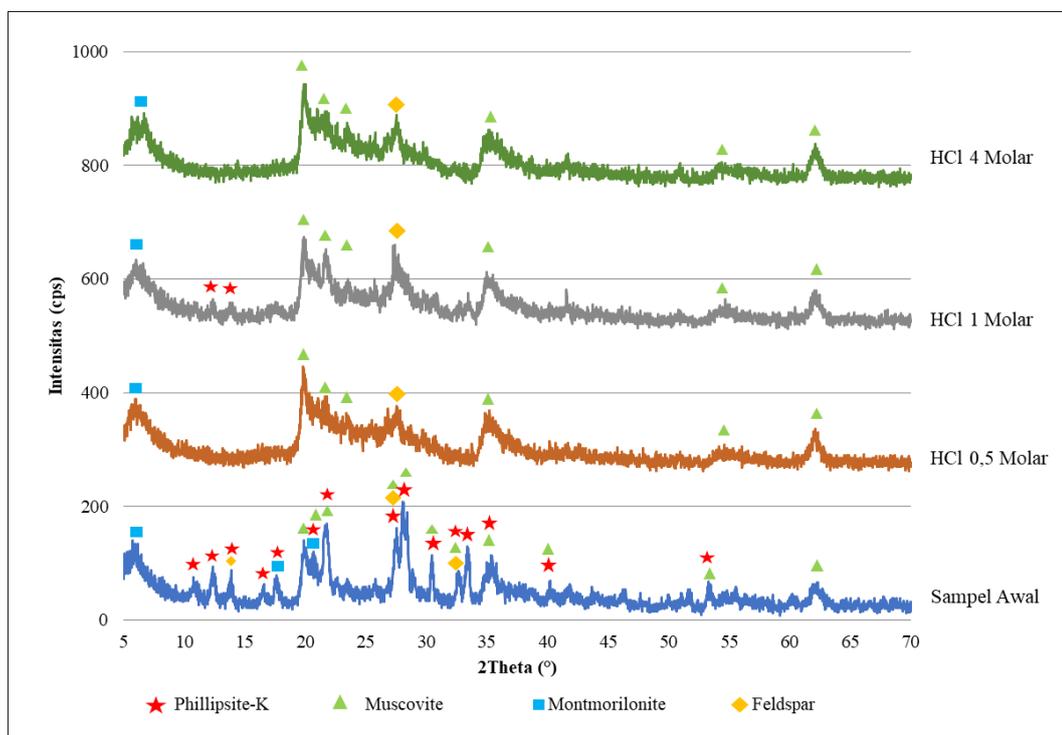
4.2.1 Analisis XRD Hasil Dealuminasi

Analisis XRD dilakukan pada semua sampel zeolit hasil dealuminasi dengan larutan asam klorida pada konsentrasi 0,5 M, 1 M, 2 M, 3 M dan 4 M dengan waktu 30 menit dan 60 menit. Berikut ini hasil perbandingan difraktogram sampel zeolit hasil dealuminasi selama 30 menit.



Gambar 16 Perbandingan difraktogram XRD zeolit hasil dealuminasi 30 menit dengan variabel konsentrasi HCl

Gambar 16 menunjukkan perbandingan pola difraksi dari sampel zeolit dengan variabel konsentrasi HCl pada waktu 30 menit, terlihat perubahan signifikan dalam struktur kristal zeolit setelah perlakuan dengan asam klorida. Pada sampel awal, pola difraksi mengidentifikasi keberadaan beberapa fase mineral seperti *phillipsite-K*, *muscovite*, *montmorilonite*, dan *feldspar*. Setelah perlakuan dengan HCl 0,5 Molar, puncak-puncak difraksi dari *phillipsite-K* telah hilang dan mineral lainnya mulai berkurang dibandingkan dengan sampel awal, menunjukkan adanya pelarutan mineral tertentu.



Gambar 17 Perbandingan difraktogram XRD zeolit hasil dealuminasi 60 menit dengan variabel konsentrasi HCl

Gambar 17 menunjukkan perbandingan hasil analisis XRD zeolit hasil dealuminasi selama 60 menit menggunakan lima konsentrasi asam klorida yang berbeda. Sama seperti pada dealuminasi 30 menit, terjadi juga perubahan pada pola difraksi dari zeolit, terlihat perubahan signifikan setelah dealuminasi dibandingkan dengan sampel awal. Sampel hasil setelah dealuminasi menunjukkan penurunan intensitas puncak difraksi *phillipsite-K*, hal ini mengindikasikan bahwa terjadi pelarutan *phillipsite-K* bersama dengan HCl. Pelarutan yang terjadi dapat dijelaskan oleh reaksi antara ion H^+ dari HCl dengan komponen-komponen dalam *phillipsite-*

K, yang menyebabkan dekomposisi struktur kristalnya dan pelepasan ion-ion penyusunnya ke dalam larutan.

Ketika proses pelarutan ini berlangsung, struktur zeolit secara bertahap berubah menjadi mineral lempungan, seperti smektit. Smektit terbentuk karena adanya pelepasan ion aluminium dari kerangka zeolit melalui proses dealuminasi, yang diikuti oleh restrukturisasi kisi mineral. Grafik difraktogram menunjukkan terjadinya transformasi struktur mineral akibat dealuminasi, di mana zeolit kehilangan sebagian besar komponennya dan mengalami perubahan menjadi fasa yang lebih lempungan, seperti smektit.

4.2.2 Analisis XRF Hasil Dealuminasi

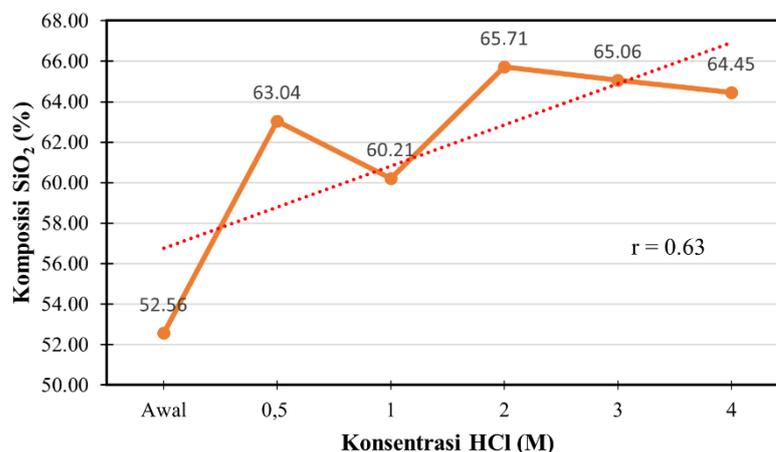
Setelah dilakukan dealuminasi selama 30 menit dan 60 menit, dilakukan analisis XRF untuk melihat komposisi kimia zeolit. Analisis ini menunjukkan perubahan kandungan beberapa senyawa kimia utama, khususnya SiO_2 dan Al_2O_3 dari berbagai konsentrasi HCl yang digunakan. Berikut ini adalah hasil analisis XRF setelah proses dealuminasi selama 30 menit.

Tabel 6 Komposisi kimia zeolit setelah proses dealuminasi selama 30 menit

Senyawa Kimia	Komposisi (%)					
	Awal	A-0,5	A-1	A-2	A-3	A-4
SiO_2	52,56	63,04	60,21	65,71	65,06	64,45
Al_2O_3	37,39	31,79	33,16	29,74	29,96	30,97
K_2O	3,03	1,58	1,96	1,39	1,59	1,53
BaO	2,64	0,22	1,17	0,20	0,28	< 0,00
Fe_2O_3	2,12	2,56	2,60	2,36	2,37	2,28
CaO	1,87	0,19	0,41	0,03	0,17	< 0,00
SrO	0,15	0,08	0,09	0,07	0,06	0,06
TiO_2	0,14	0,49	0,32	0,46	0,46	0,57
Total	99,90	99,95	99,92	99,95	99,95	99,85

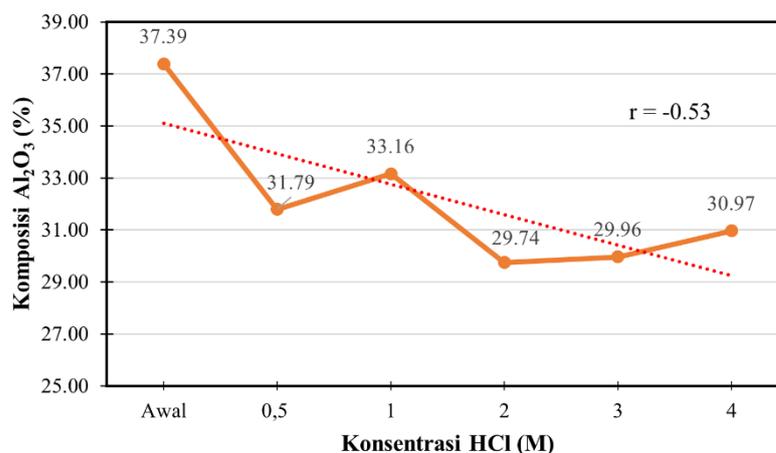
Proses dealuminasi zeolit alam Moncongloe menggunakan asam klorida (HCl) selama 30 menit menunjukkan perubahan signifikan dalam komposisi kimia, khususnya pada kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 . Pada kondisi awal, kandungan SiO_2 adalah 52,56%, sedangkan setelah proses dealuminasi meningkat menjadi 63,04%

(A-0,5), 60,21% (A-1), 65,71% (A-2), 65,06% (A-3), dan 64,45% (A-4). Peningkatan konsentrasi SiO₂ ini menunjukkan bahwa proses dealuminasi berhasil menghilangkan sebagian besar Al₂O₃, sehingga meningkatkan persentase relatif SiO₂ dalam zeolit. Peningkatan persentase SiO₂ dalam zeolit dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 18 Grafik peningkatan persentase SiO₂ hasil dealuminasi 30 menit

Sebaliknya, kandungan Al₂O₃ mengalami penurunan yang signifikan. Pada kondisi awal, kandungan Al₂O₃ adalah 37,39%, dan setelah proses dealuminasi, menurun menjadi 31,79% (A-0,5), 33,16% (A-1), 29,74% (A-2), 29,96% (A-3), dan 30,97% (A-4). Penurunan ini menunjukkan efektivitas HCl dalam menghilangkan alumina dari struktur zeolit, yang merupakan tujuan utama dari proses dealuminasi.



Gambar 19 Grafik penurunan persentase Al₂O₃ hasil dealuminasi 30 menit

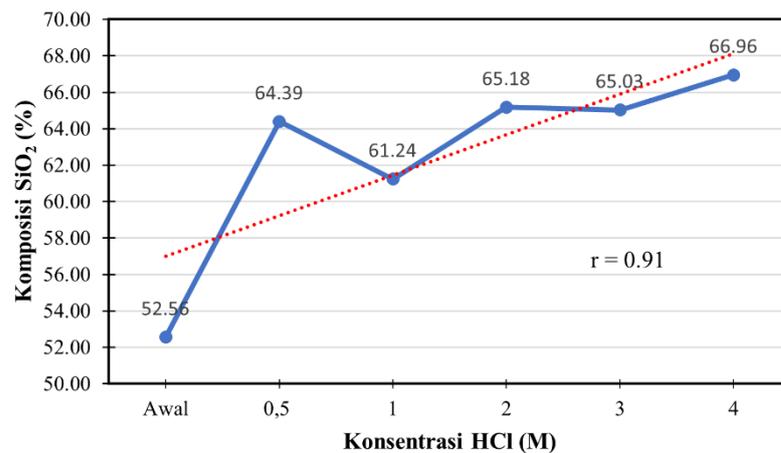
Unsur-unsur lain seperti K_2O , BaO , Fe_2O_3 , CaO , SrO dan TiO_2 mengalami perubahan komposisi yang beragam. Penurunan konsentrasi beberapa unsur seperti K_2O , BaO , dan CaO menunjukkan bahwa unsur-unsur ini juga sebagian terlarut dalam larutan asam. Namun, perubahan dalam kandungan ini tidak sebesar perubahan pada SiO_2 dan Al_2O_3 , yang merupakan fokus utama dari penelitian ini. Secara keseluruhan, hasil dari proses dealuminasi selama 30 menit ini menunjukkan peningkatan rasio SiO_2/Al_2O_3 yang signifikan, mengindikasikan bahwa HCl efektif dalam mengurangi kandungan alumina dan meningkatkan kualitas zeolit alam Moncongloe.

Selanjutnya adalah tabel 7 menunjukkan hasil analisis XRF zeolit setelah dilakukan proses dealuminasi selama 60 menit dengan berbagai konsentrasi.

Tabel 7 Komposisi kimia zeolit setelah proses dealuminasi selama 60 menit

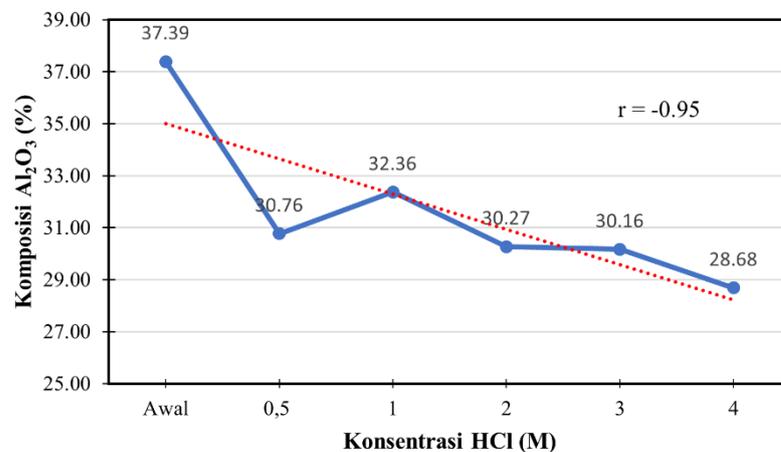
Senyawa Kimia	Komposisi (%)					
	Awal	B-0,5	B-1	B-2	B-3	B-4
SiO_2	52,56	64,39	61,24	65,18	65,03	66,96
Al_2O_3	37,39	30,76	32,36	30,27	30,16	28,68
K_2O	3,03	1,43	1,79	1,36	1,55	1,39
BaO	2,64	0,23	1,44	0,20	0,21	0,18
Fe_2O_3	2,12	2,43	2,37	2,27	2,31	2,08
CaO	1,87	0,19	0,41	0,16	0,14	0,14
SrO	0,15	0,07	0,08	0,06	0,06	0,05
TiO_2	0,14	0,44	0,24	0,44	0,48	0,48
Total	99,90	99,93	99,93	99,95	99,95	99,95

Proses dealuminasi zeolit alam Moncongloe dengan penambahan asam klorida (HCl) selama 60 menit menunjukkan perubahan signifikan dalam komposisi kimia, khususnya pada kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 . Berdasarkan Tabel 6, terlihat bahwa kandungan SiO_2 mengalami peningkatan dari kondisi awal 52,56% menjadi 64,39% (B-0,5), 61,24% (B-1), 65,18% (B-2), 65,03% (B-3), dan 66,96% (B-4). Peningkatan kandungan SiO_2 ini menunjukkan keberhasilan proses dealuminasi dalam mengurangi jumlah Al_2O_3 , sehingga meningkatkan persentase relatif SiO_2 dalam zeolit.



Gambar 20 Grafik peningkatan persentase SiO₂ hasil dealuminasi 60 menit

Sebaliknya, kandungan Al₂O₃ mengalami penurunan yang signifikan. Pada kondisi awal, kandungan Al₂O₃ adalah 37,39%, dan setelah proses dealuminasi selama 60 menit, kandungan ini menurun menjadi 30,76% (B-0,5), 32,36% (B-1), 30,27% (B-2), 30,16% (B-3), dan 28,68% (B-4). Penurunan ini mencerminkan efektivitas asam klorida dalam menghilangkan alumina dari struktur zeolit, yang merupakan tujuan utama dari proses dealuminasi.



Gambar 21 Grafik penurunan persentase Al₂O₃ hasil dealuminasi 60 menit

Unsur-unsur lain seperti K₂O, BaO, Fe₂O₃, CaO, SrO dan TiO₂ mengalami perubahan komposisi yang bervariasi. Misalnya, K₂O turun dari 3,033% menjadi 1,386% (B-4), menunjukkan pelarutan sebagian kalium dalam larutan asam. Begitu pula dengan BaO dan CaO yang mengalami penurunan signifikan, mengindikasikan penghilangan unsur-unsur tersebut selama proses dealuminasi.

Secara keseluruhan, hasil dari proses dealuminasi ini menunjukkan peningkatan konsentrasi SiO_2 dan penurunan Al_2O_3 yang signifikan, mengindikasikan bahwa HCl efektif dalam mengurangi kandungan alumina dan meningkatkan kualitas zeolit alam Moncongloe. Menurut Fatimah (2005), ion H^+ hasil disosiasi HCl air akan menyerang atom oksigen yang terikat pada kerangka Si dan Al. Energi disosiasi ikatan Al-O (116 kkal/mol) jauh lebih kecil daripada ikatan Si-O (190 kkal/mol), sehingga ikatan Al-O lebih mudah terurai dibandingkan dengan Si-O. Sementara itu ion Cl^- cenderung berikatan dengan kation berdasarkan muatan, di mana kation dengan muatan lebih rendah lebih disukai. Dalam urutan prioritas, Cl^- paling mudah bereaksi dengan kation seperti K^+ , karena muatan +1 membuat interaksi ionik lebih stabil. Selanjutnya, Cl^- akan lebih mudah berikatan dengan kation seperti Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , dan Fe^{2+} , kemudian kation yang bermuatan lebih tinggi seperti Al^{3+} dan Ti^{4+} . Sementara itu, Si^{4+} memiliki prioritas paling rendah dalam berikatan dengan Cl^- , karena Si lebih suka membentuk ikatan kovalen yang kuat dengan oksigen dalam bentuk senyawa silikat, dibandingkan ikatan ionik dengan Cl^- . Perubahan warna larutan menunjukkan bahwa terjadi reaksi antara HCl dengan logam yang terdapat dalam zeolit. Dimana HCl akan berubah warna menjadi kuning apabila terkontaminasi kandungan logam

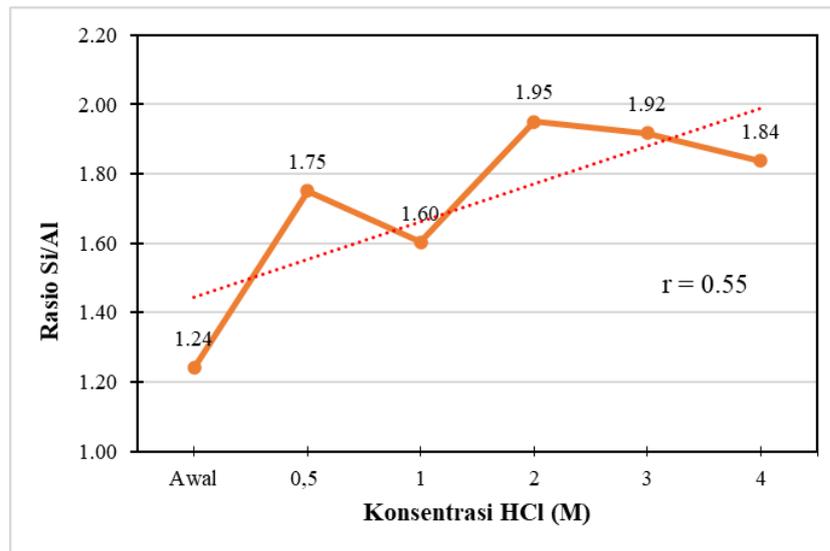
4.3 Pengaruh Konsentrasi HCl dan Waktu Dealuminasi Terhadap Rasio Si/Al

4.3.1 Pengaruh Konsentrasi HCl Terhadap Rasio Si/Al

Proses dealuminasi zeolit alam Moncongloe menggunakan asam klorida (HCl) pada konsentrasi 0,5 Molar, 1 Molar, 2 Molar, 3 Molar dan 4 Molar menunjukkan pengaruh signifikan terhadap peningkatan rasio Si/Al

Tabel 8 Rasio Si/Al zeolit pada dealuminasi selama 30 menit

Konsentrasi HCl (M)	Rasio Si/Al
0,5	1,75
1	1,60
2	1,95
3	1,92
4	1,84

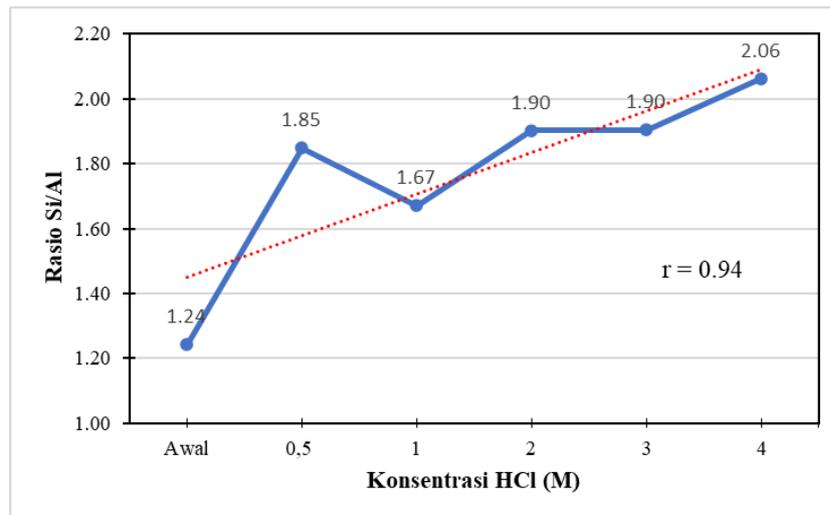


Gambar 22 Grafik peningkatan rasio Si/Al pada dealuminasi selama 30 menit

Pada kondisi awal, rasio Si/Al adalah 1,24. Setelah perlakuan dengan HCl 0,5 M, rasio ini meningkat drastis menjadi 1,75. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan HCl pada konsentrasi rendah sudah efektif dalam mengurangi kandungan Al dan meningkatkan kandungan Si dalam zeolit. Ketika konsentrasi HCl dinaikkan menjadi 1 M, rasio Si/Al sedikit menurun menjadi 1,60. Penurunan ini mungkin disebabkan oleh ketidakmerataan reaksi pada konsentrasi ini, dimana HCl tidak sepenuhnya mengekstrak Al dari zeolit. Peningkatan lebih lanjut dalam konsentrasi HCl menjadi 2 M menghasilkan peningkatan rasio Si/Al yang signifikan, mencapai 1,95. Namun, peningkatan konsentrasi HCl lebih lanjut menjadi 3 M dan 4 M tidak menghasilkan peningkatan yang sama, rasio Si/Al sedikit menurun masing-masing menjadi 1,92 dan 1,84. Penurunan ini mungkin disebabkan oleh pembentukan kembali Al pada permukaan zeolit yang mengurangi efektivitas ekstraksi Al pada konsentrasi HCl yang lebih tinggi. Sehingga data menunjukkan bahwa konsentrasi HCl 2 M adalah yang paling optimal untuk meningkatkan rasio Si/Al dalam proses dealuminasi selama 30 menit.

Tabel 9 Rasio Si/Al zeolit pada dealuminasi selama 60 menit

Konsentrasi HCl (M)	Rasio Si/Al
0,5	1,85
1	1,67
2	1,90
3	1,90
4	2,06



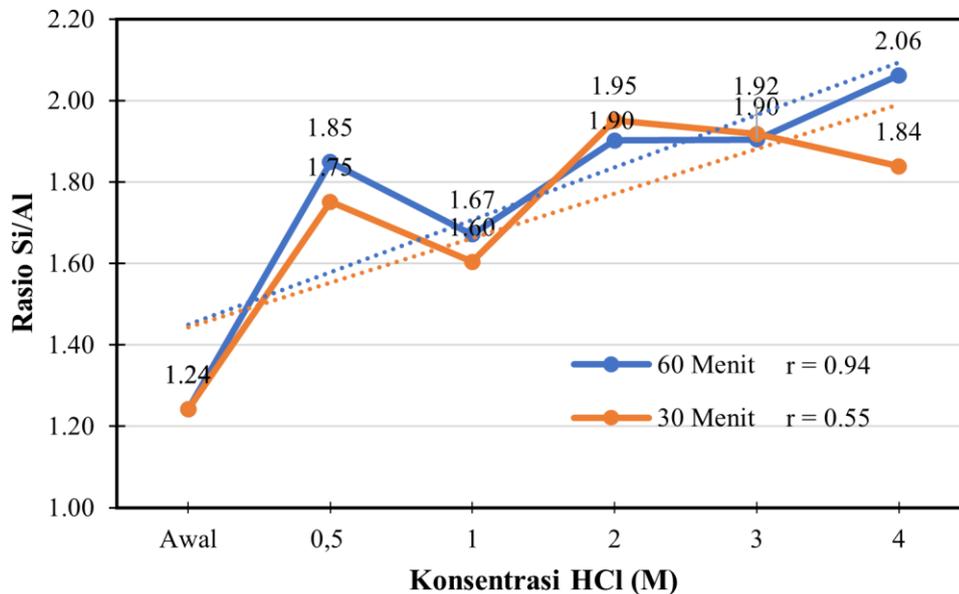
Gambar 23 Grafik peningkatan rasio Si/Al pada dealuminasi selama 60 menit

Setelah dealuminasi dengan HCl 0,5 M selama 60 menit, rasio Si/Al meningkat drastis menjadi 1,85, menandakan bahwa HCl pada konsentrasi rendah telah sudah dapat mengeluarkan Al dari kerangka zeolit. Ketika konsentrasi HCl dinaikkan menjadi 1 M, rasio Si/Al sedikit menurun menjadi 1,67. Sama seperti pada dealuminasi selama 30 menit. Pada konsentrasi 2 M, rasio Si/Al kembali meningkat menjadi 1,90, menunjukkan bahwa penambahan HCl pada konsentrasi ini lebih efektif dalam mengurangi Al dan meningkatkan Si. Peningkatan konsentrasi HCl lebih lanjut menjadi 3 M sedikit meningkatkan rasio Si/Al menjadi 1,90. Pada konsentrasi tertinggi yang diuji, yaitu 4 M, rasio Si/Al mencapai 2,06, yang merupakan peningkatan tertinggi yang diamati selama perlakuan 60 menit.

4.3.2 Pengaruh Waktu Dealuminasi Terhadap Rasio Si/Al

Dealuminasi selama 30 menit menghasilkan peningkatan rasio Si/Al yang mencapai puncaknya pada konsentrasi HCl 2 M, sedangkan pada dealuminasi selama 60 menit, peningkatan terus berlanjut hingga konsentrasi 4 M, hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan waktu dealuminasi menjadi 60 menit memungkinkan Hidrogen dalam HCl untuk bereaksi dan meningkatkan rasio Si/Al. Berbeda dengan dealuminasi selama 30 menit, di mana konsentrasi tinggi HCl menunjukkan sedikit penurunan. Dealuminasi selama 60 menit memungkinkan peningkatan konsentrasi HCl terus meningkatkan rasio Si/Al. Ini menunjukkan bahwa durasi perlakuan yang lebih lama memberikan waktu yang cukup bagi Hidrogen untuk bereaksi dengan Al dan kation lain dalam struktur zeolit dan menghasilkan peningkatan rasio Si/Al

yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa tidak hanya konsentrasi HCl, tetapi juga waktu dealuminasi mempengaruhi proses dealuminasi dan meningkatkan rasio Si/Al pada zeolit alam Moncongloe.



Gambar 24 Grafik perbandingan rasio Si/Al dengan waktu 30 dan 60 menit pada konsentrasi HCl yang berbeda

Pengaruh nilai koefisien korelasi (r) pada grafik diatas adalah sebagai indikator kekuatan hubungan antara variabel yang diteliti. Nilai r pada waktu 60 menit yaitu 0,94 menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi HCl memiliki dampak besar dan konsisten terhadap rasio Si/Al. Sebaliknya, nilai r pada waktu 30 menit yaitu 0,55 menunjukkan bahwa hubungan tersebut tidak sekuat pada waktu 60 menit, sehingga hasil yang diperoleh mungkin lebih bervariasi dan kurang dapat diprediksi.

Grafik tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Widayat dkk. (2010), Semakin lama waktu, maka impuritas yang menyebabkan penutupan pori akan larut, sehingga pori akan membuka dan luas permukaan akan menjadi lebih besar. Namun, peningkatan waktu harus berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi HCl yang digunakan, sebab jika waktu dealuminasi ditingkatkan dengan konsentrasi HCl yang rendah, maka senyawa silika akan ikut larut atau bereaksi dengan pelarut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Zeolit Moncongloe merupakan zeolit dengan tipe *phillipsite-K*, dan mengandung beberapa mineral lain seperti *muscovite*, *montmorillonite* dan *feldspar*. Hasil analisis XRF pada sampel zeolit menunjukkan komposisi kimia yang didominasi oleh dua senyawa utama, yaitu SiO_2 (52,56%) dan Al_2O_3 (37,39%) dengan rasio Si/Al sebesar 1,24. Selain itu, terdapat beberapa senyawa lain seperti K_2O , BaO , Fe_2O_3 , CaO dan beberapa senyawa lain.
2. Peningkatan konsentrasi HCl akan meningkatkan rasio Si/Al, dengan nilai tertinggi mencapai 2,06 pada konsentrasi 4 M dalam waktu 60 menit. sehingga termasuk zeolit dengan rasio Si/Al sedang.
3. Waktu dealuminasi yang lebih lama dibutuhkan bagi atom hidrogen untuk bereaksi dengan ion aluminium dan kation lain seperti K, Ba, dan Ca dalam struktur zeolit yang menyebabkan peningkatan rasio Si/Al

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, maka saran yang dapat diberikan untuk penelitian yang lebih baik kedepannya yaitu:

1. Menganalisis cairan lindi hasil dealuminasi untuk melihat unsur yang larut pada saat proses dealuminasi yang mungkin bisa dimanfaatkan kembali.
2. Melakukan kalsinasi pada sampel sebelum dilakukan proses dealuminasi sebagai salah satu variabel eksperimen.
3. Melakukan analisis lebih lanjut untuk menguji daya adsorpsi dari zeolit
4. Melakukan pengujian kadar air sebelum dealuminasi

DAFTAR PUSTAKA

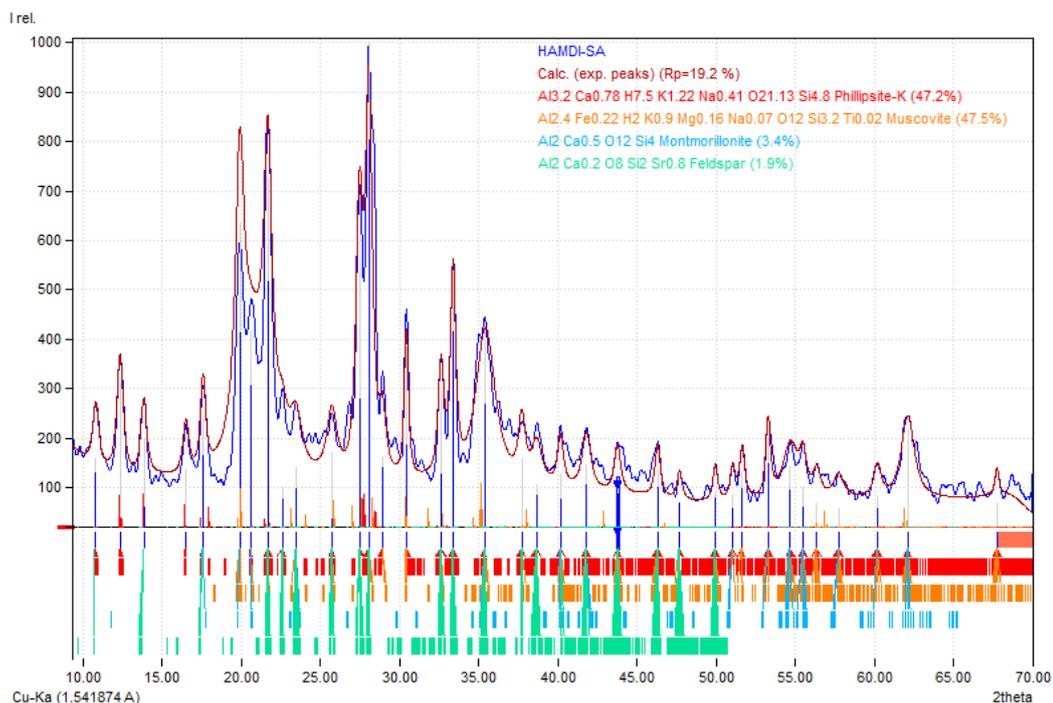
- Anggoro, D.D., (2017). *Buku Ajar Teori dan Aplikasi Rekayasa Zeolit*. UNDIP Press.
- Atikah, W. S. (2017). Karakterisasi zeolit alam gunung kidul teraktivasi sebagai media adsorben pewarna tekstil. *Arena Tekstil*, 32(1).
- Byrappa, K., & Yoshimura, M. (2001). Hydrothermal synthesis and growth of zeolites in handbook of hydrothermal technology. *University of Mysore Manasagangotri Mysore, India and Tokyo Institute of Technology*.
- Dina, H. (2004). Pengaruh Perlakuan Beberapa Jenis Asam Terhadap Kemampuan Adsorpsi Cd (II) oleh Zeolit. *UNNES, Semarang*.
- Fatimah, D. (2009). Peningkatan Kualitas Zeolit Alam Cikanra, Tasikmalaya, Dengan Metoda Asam Mineral: Sebuah Pengujian Karakter Fisiko-Kimia, Melalui Analisis Tukar Kation, Atomic Absorption Spectrometer (AAS), Scanning Electron Microscope (SEM) dan X-Ray Diffractometer (XRD). *Prosiding Geoteknologi Lipi*.
- Fatimah, I., & Wijaya, K. (2005). Sintesis TiO₂/zeolit sebagai fotokatalis pada pengolahan limbah cair industri tapioka secara adsorpsi-fotodegradasi. *Teknoin*, 10(4).
- Georgiev, D., Bogdanov, B., Angelova, K., Markovska, I., & Hristov, Y. (2009). Synthetic zeolites—Structure, classification, current trends in zeolite synthesis. In *Economics and society development on the base of knowledge: international scientific conference* (Vol. 7).
- Hay, R. L. (1966). *Zeolites and Zeolitic Reactions in Sedimentary Rocks* (Vol. 85). Geological Society of America.
- Las, T., & Zamroni, H. (2002). Application of Zeolite in Industries and Environments. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 1(1), 23-30.
- Laksono, E. W. (2009). Kajian penggunaan adsorben sebagai alternatif pengolahan limbah zat pewarna tekstil. In *Prosiding Seminar Nasional Kimia FMIPA UNY*.
- Lestari, D. Y. (2010). Kajian modifikasi dan karakterisasi zeolit alam dari berbagai negara. In *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia* (Vol. 30, No. 1, pp. 1-6).
- Munasir, M., Triwikantoro, T., Zainuri, M., & Darminto, D. (2012). Uji XRD dan XRF pada bahan mineral (batuan dan pasir) sebagai sumber material cerdas (CaCO₃ dan SiO₂). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 2(1), 20-29.
- Nasution, L. M. (2017). Statistik deskriptif. *Hikmah*, 14(1), 49-55.
- Nur, I., Taba, P., Idrus, A., Irfan, U. R., Sufriadin, S., Widodo, S., ... & Anjelina, A. D. (2024). The genesis and potential utilization of zeolite in the Moncongloe Area, Maros, South Sulawesi, Indonesia. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi-Mineral Resources Management*, 5-22.
- Ratna Wijayanti Daniar Paramita, N. R. (2015). *Metode Penelitian Kuantitatif: Buku Ajar Perkuliahan Metodologi Penelitian Bagi Mahasiswa, Edisi 1*. STIE Widya Gama Lumajang.

- Said, M., Prawati, A. W., & Murenda, E. (2008). Aktifasi Zeolit Alam Sebagai Adsorbent Pada Adsorpsi Larutan Iodium. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(4).
- Saputra, R. (2006). Pemanfaatan zeolit sintetis sebagai alternatif pengolahan limbah industri. *Buletin IPT*, 1, 8-20.
- Sarno, H. (1983). Endapan Zeolite, Penggunaan dan Sebarannya di Indonesia. *Direktorat Sumber Daya Mineral*.
- Senda, S. P., Saputra, H., Sholeh, A., Rosjidi, M., & Mustafa, A. (2006). Prospek Aplikasi Produk Berbasis Zeolit untuk Slow Release Substances (SRS) dan Membran. *Artikel Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Indonesia*, ISSN, 1410-9891.
- Setyawan, P. H. D., & Handoko, P. (2002). Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal dan Impregnasi Logam Kromium Pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis. *Jurnal Ilmu Dasar, Universitas Jember*, 3(2).
- Siregar, A., Syam, A., & Mustafa, M. (2019). Rancangan Media Adsorpsi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Emisi Gas Mesin Otomotif. *Journal Of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 3(1), 64-75.
- Srihapsari, D. (2006). Penggunaan zeolit alam yang telah diaktivasi dengan larutan HCl untuk menjerap logam-logam penyebab kesadahan air. *Universitas Negeri Semarang*.
- Sufriadin, S., Bawazir, F., Widodo, S., & Hujannah, M. (2022). Dealuminasi Zeolit Daerah Moncongloe Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan Dengan Menggunakan Asam Sulfat. *Jurnal Geomine*, 10(3), 270-279.
- Sugiyono. (2013). *Metodelogi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suharyana. (2012). *Dasar-Dasar dan Pemanfaatan Metode Difraksi Sinar-X*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Sutarti, M., & Rachmawati, M. (1994). Zeolit tinjauan literatur. *Jakarta: Pusat Dokumentasi dan Informasi LIPI*.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., & Sudiono, S. (2005). Preparation, characterizations and modification of Ni-Pd/natural zeolite catalysts. *Indonesian Journal of Chemistry*, 5(1), 48-53.
- Warren, B.E., (1969). *X-Ray Diffraction*. Addittion-wesley pub: Messachssetfs.
- Widayat, W., Roesyadi, A., & Rachimoellah, M. (2010). Pengaruh Waktu Dealuminasi dan Jenis Sumber Zeolit Alam terhadap Kinerja H-Zeolit untuk Proses Dehidrasi Etanol. *Reaktor*, 13(1), 51-57.

LAMPIRAN

Lampiran 1
Hasil analisis XRD

Sampel Awal

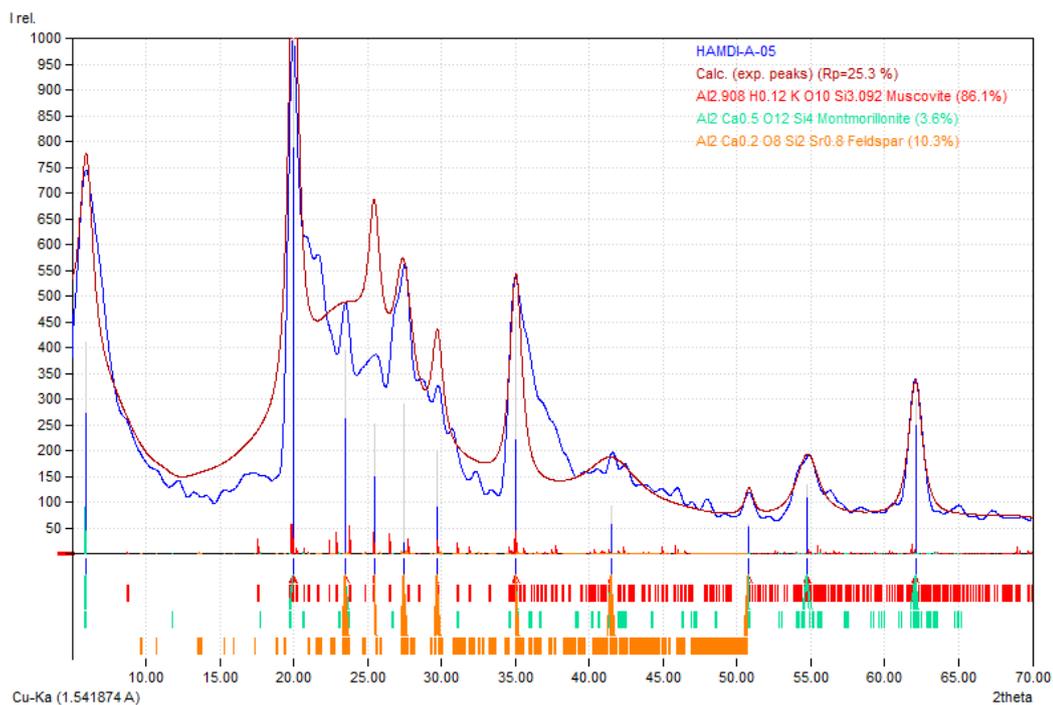


Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	47.2	Phillipsite-K	Al _{3.2} Ca _{0.78} H _{7.5} K _{1.22} Na _{0.41} O _{21.13} Si _{4.8}
B	47.5	Muscovite	Al _{2.4} Fe _{0.22} H ₂ K _{0.9} Mg _{0.16} Na _{0.07} O ₁₂ Si _{3.2} Ti _{0.02}
C	3.4	Montmorillonite	Al ₂ Ca _{0.5} O ₁₂ Si ₄
D	1.9	Feldspar	Al ₂ Ca _{0.2} O ₈ Si ₂ Sr _{0.8}
12.1		Unidentified peak area	

No.	2theta [°]	d[Å]	I/I ₀ (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	5.8	15.2254	372.36	83.04	1.08	C
2	10.82	8.1702	160.05	14.54	0.44	A,D
3	12.36	7.1554	312.22	30.94	0.48	A
4	13.86	6.3842	197.75	17.97	0.44	A,D
5	16.52	5.3618	138.02	12.54	0.44	A
6	17.6	5.0351	240.62	19.87	0.4	A,C,D
7	19.92	4.4536	634.84	78.65	0.6	B,C
8	20.66	4.2957	414.59	184.9	2.16	A,B,C
9	21.7	4.0921	724.7	89.78	0.6	A,B,D
10	22.6	3.9312	100.95	15.01	0.72	A,B,D
11	23.46	3.789	139.56	25.36	0.88	B,C,D
12	25.74	3.4612	169.06	26.53	0.76	A,B,D
13	27.48	3.2431	688.83	73.96	0.52	A,B,D
14	28.08	3.1752	1000	107.37	0.52	A,B,D
15	28.94	3.0828	160.61	17.24	0.52	A,B
16	30.44	2.9342	382.39	25.27	0.32	A,B
17	32.64	2.7435	294.1	26.72	0.44	A,B,D
18	33.4	2.6828	539.13	44.53	0.4	A,D
19	35.44	2.5329	400.79	119.6	1.4453	A,B,C,D

20	37.74	2.3837	159.29	17.1	0.52	A,B,D
21	38.68	2.326	105.11	16.49	0.76	A,B,D
22	40.18	2.2425	127.27	11.56	0.44	A,B,C,D
23	41.82	2.1583	144.63	19.11	0.64	A,B,C,D
24	43.78	2.0661	120.09	11.9	0.48	A,B,D
25	46.32	1.9586	136.82	11.3	0.4	A,B,C,D
26	47.7	1.9066	71.85	5.44	0.3665	A,B,D
27	49.96	1.824	88.07	6.55	0.36	A,B,D
28	51.06	1.7873	84.56	6.29	0.36	A,B,C
29	51.66	1.7679	131.89	10.89	0.4	A,B
30	53.3	1.7174	202.93	15.08	0.36	A,B,C
31	54.7	1.678	143.55	33.2	1.12	A,B,C
32	55.5	1.6557	98.97	10.63	0.52	A,B,C
33	56.36	1.6325	68.66	7.94	0.56	A,B
34	57.76	1.5962	58.39	9.12	0.7564	A,B,C
35	60.2	1.5372	82.56	9.33	0.5474	A,B,C
36	62.12	1.4943	213.83	42.38	0.96	A,B,C
37	67.76	1.383	67.43	3.73	0.2676	A,B

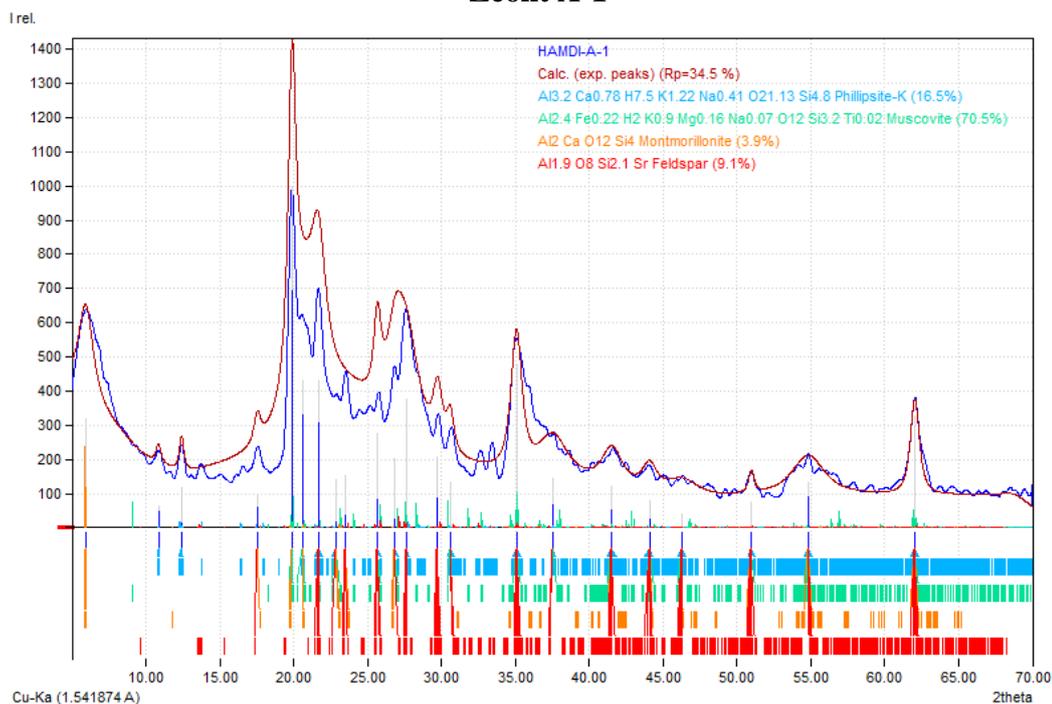
Zeolit A-0.5



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	86.1	Muscovite	Al _{2.908} H _{0.12} K O ₁₀ Si _{3.092}
B	3.6	Montmorillonite	Al ₂ Ca _{0.5} O ₁₂ Si ₄
C	10.3	Feldspar	Al ₂ Ca _{0.2} O ₈ Si ₂ Sr _{0.8}
	10.9	Unidentified peak area	

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I ₀ (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	5.98	14.7675	410.76	86.47	1	B
2	20	4.436	1000	176.83	0.84	A,B
3	23.5	3.7826	395.65	689.63	8.28	A,B,C
4	25.46	3.4986	251.33	51.24	0.84	A,C
5	27.44	3.2478	289.91	80.56	1.32	C
6	29.74	3.0041	197.57	40.28	0.84	A,B,C
7	35.04	2.5588	458.63	92.68	0.96	A,B,C
8	41.54	2.174	93.09	74.16	3.7844	A,B,C
9	50.82	1.7967	57.81	7.96	0.6539	A,B,C
10	54.78	1.6758	135.37	49.78	1.747	A,B
11	62.08	1.4939	298.82	67.94	1.08	A,B

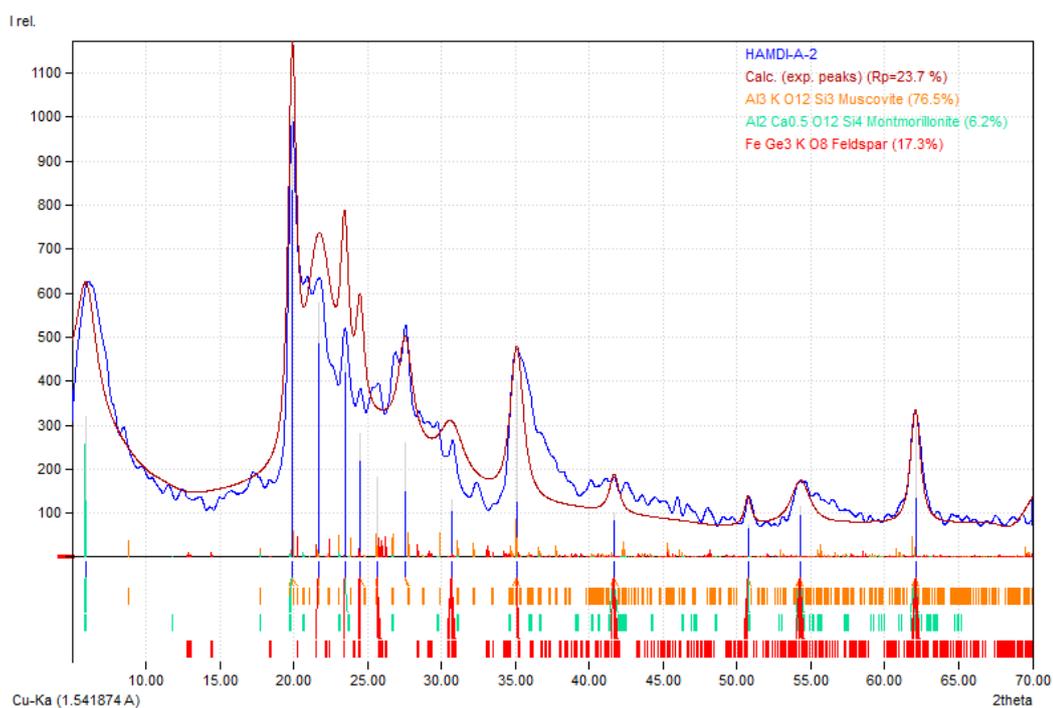
Zeolit A-1



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	16.5	Phillipsite-K	Al _{3.2} Ca _{0.78} H _{7.5} K _{1.22} Na _{0.41} O _{21.13} Si _{4.8}
B	70.5	Muscovite	Al _{2.4} Fe _{0.22} H ₂ K _{0.9} Mg _{0.16} Na _{0.07} O ₁₂ Si _{3.2} Ti _{0.02}
C	3.9	Montmorillonite	Al ₂ Ca O ₁₂ Si ₄
D	9.1	Feldspar	Al _{1.9} O ₈ Si _{2.1} Sr
12.1		Unidentified peak area	

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I ₀ (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	5.94	14.8669	317.05	78.08	1.16	C
2	10.86	8.1469	62.38	4.98	0.3759	A
3	12.42	7.1269	116.87	8.74	0.3524	A
4	17.54	5.0564	97.27	11.04	0.5346	A,C,D
5	19.9	4.458	1000	127.38	0.6	B,C
6	20.58	4.3122	430.76	193.87	2.12	A,B,C
7	21.68	4.0959	429.61	105.8	1.16	A,B,D
8	22.84	3.8904	139.29	209.36	7.08	A,B,C,D
9	23.52	3.7794	154.02	269.43	8.24	C,D
10	25.68	3.4691	274.53	34.97	0.6	A,B,D
11	26.84	3.319	203.11	51.74	1.2	A,B,C,D
12	27.6	3.2293	375.83	156.38	1.96	A,B,D
13	29.74	3.0041	204.86	33.05	0.76	C,D
14	30.6	2.9216	133.89	17.06	0.6003	A,B,D
15	35.08	2.556	475.44	88.82	0.88	A,B,C,D
16	37.54	2.3939	144.77	72.53	2.36	A,B,D
17	41.54	2.174	122.32	40.23	1.5493	A,B,C,D
18	44.08	2.0544	80.39	18.25	1.0692	A,B,C,D
19	46.3	1.961	41.84	19.88	2.2378	A,B,C,D
20	50.98	1.7914	75.56	7.01	0.4372	A,B,C,D
21	54.82	1.6747	133.54	72.58	2.56	A,B,C,D
22	62.04	1.4947	327.89	50.12	0.72	A,B,C,D

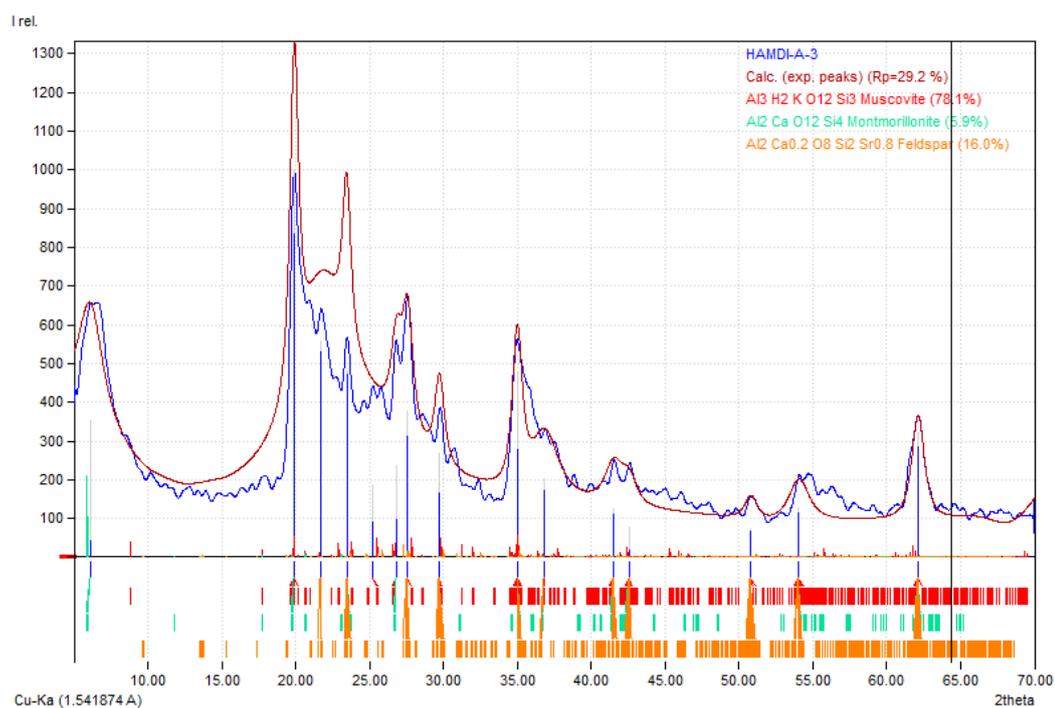
Zeolit A-2



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	76.5	Muscovite	Al ₃ K O ₁₂ Si ₃
B	6.2	Montmorillonite	Al ₂ Ca _{0.5} O ₁₂ Si ₄
C	17.3	Feldspar	Fe Ge ₃ K O ₈
	13.0	Unidentified peak area	

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0 (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	5.96	14.8293	320.1	111.39	1.5613	B
2	19.92	4.4573	1000	142.63	0.6400	A,B,C
3	21.72	4.0918	576.98	283.08	2.2015	A,C
4	23.46	3.7921	439.98	62.76	0.6400	B,C
5	24.5	3.6335	279.26	39.83	0.6400	A,C
6	25.64	3.4716	181.27	340.97	8.4400	A,C
7	27.56	3.2339	258.44	62.2	1.0800	A,C
8	30.68	2.9142	131.84	53.32	1.8146	C
9	35.1	2.5567	397.34	92.1	1.0400	A,B,C
10	41.7	2.166	99.87	17.35	0.7794	A,B,C
11	50.74	1.7993	73.29	8.47	0.5189	A,B,C
12	54.3	1.6895	114.46	38.05	1.4916	A,B,C
13	62.08	1.4939	298.93	53.3	0.8000	A,B,C

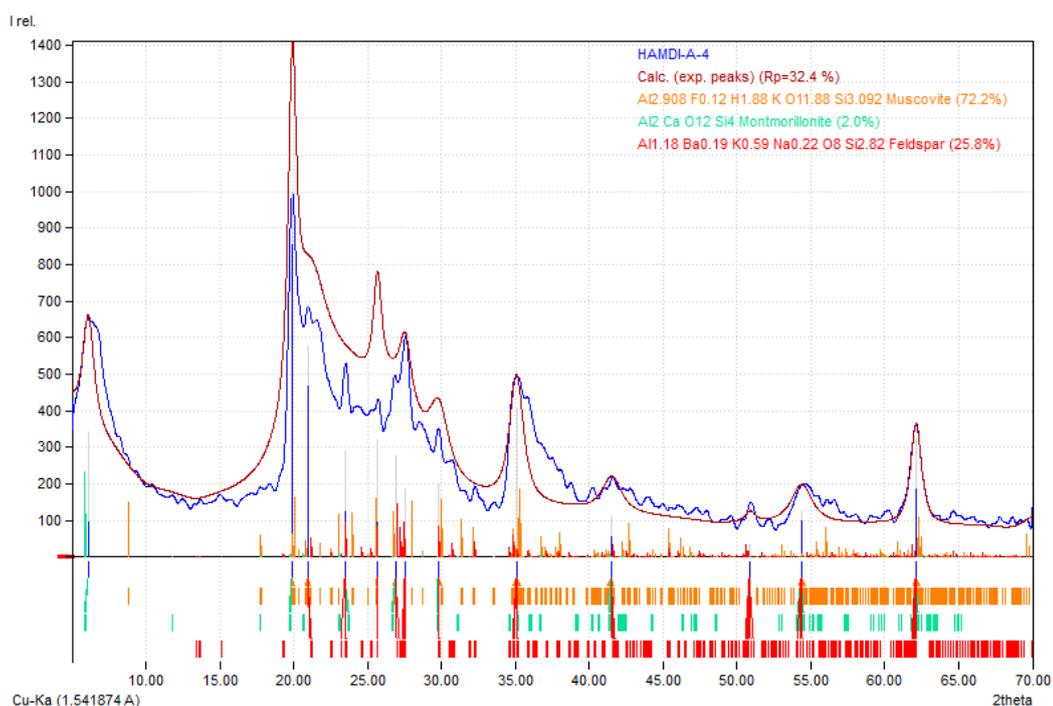
Zeolit A-3



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	78.1	Muscovite	$\text{Al}_3 \text{H}_2 \text{K O}_{12} \text{Si}_3$
B	5.9	Montmorillonite	$\text{Al}_2 \text{Ca O}_{12} \text{Si}_4$
C	16.0	Feldspar	$\text{Al}_2 \text{Ca}_{0.2} \text{O}_8 \text{Si}_2 \text{Sr}_{0.8}$
	11.6	Unidentified peak area	

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0 (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	6.1	14.4893	354.65	143.6	1.9706	B
2	19.92	4.4536	1000	139.72	0.6800	A,B,C
3	21.74	4.0847	556.71	498.71	4.3600	A,C
4	23.46	3.7921	479.05	66.93	0.6800	B,C
5	25.24	3.5257	186.46	309.56	8.0800	A,C
6	26.82	3.3214	236.11	40.75	0.8400	A,B,C
7	27.58	3.2316	375.66	67.92	0.8800	A,C
8	29.74	3.0041	266.15	41.56	0.7600	A,B,C
9	35	2.5616	477.9	78.55	0.8000	A,B,C
10	36.86	2.4365	201.39	91.03	2.2000	A,B,C
11	41.54	2.174	125.44	38.46	1.4921	A,B,C
12	42.58	2.1233	77.42	18.74	1.1781	A,B,C
13	50.82	1.7967	72.26	14.96	1.0078	A,B,C
14	54.06	1.6964	129.19	43.01	1.6203	A,B,C
15	62.12	1.493	321.34	66.02	1.0000	A,B,C

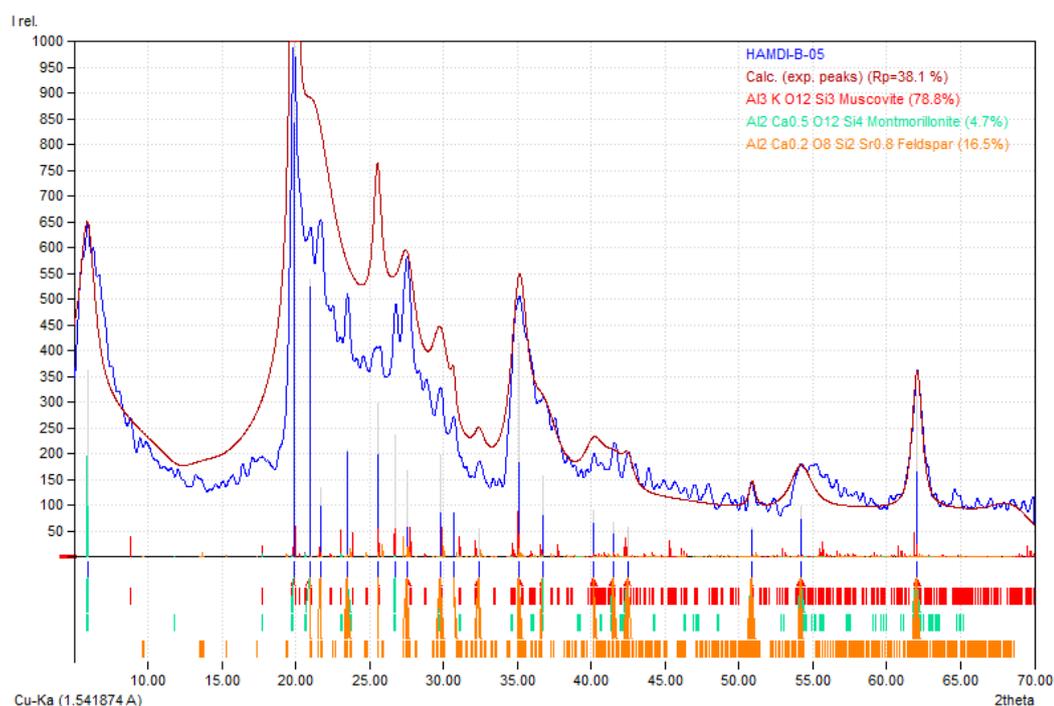
Zeolit A-4



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	72.2	Muscovite	Al _{2.908} F _{0.12} H _{1.88} K O _{11.88} Si _{3.092}
B	2.0	Montmorillonite	Al ₂ Ca O ₁₂ Si ₄
C	25.8	Feldspar	Al _{1.18} Ba _{0.19} K _{0.59} Na _{0.22} O ₈ Si _{2.82}
	3.6	Unidentified peak area	

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0 (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	6.12	14.43	340.48	61.41	0.8800	B
2	19.92	4.4536	1000	131.17	0.6400	A,B
3	21	4.2269	577	350.03	2.9600	A,C
4	23.5	3.7826	290.26	299.82	5.0400	B,C
5	25.68	3.4691	317.93	41.7	0.6400	A,C
6	26.88	3.3142	277.34	243.28	4.2800	A,B,C
7	27.56	3.2339	186.58	33.65	0.8800	C
8	29.82	2.9962	201.81	61.78	1.4938	A,B,C
9	35.08	2.556	406.17	93.23	1.1200	A,B,C
10	41.54	2.174	113.43	35.34	1.5200	A,B,C
11	50.9	1.794	33.13	5.51	0.8110	B,C
12	54.38	1.6872	123.63	42.21	1.6659	A,B,C
13	62.12	1.493	322.61	58.18	0.8800	A,B,C

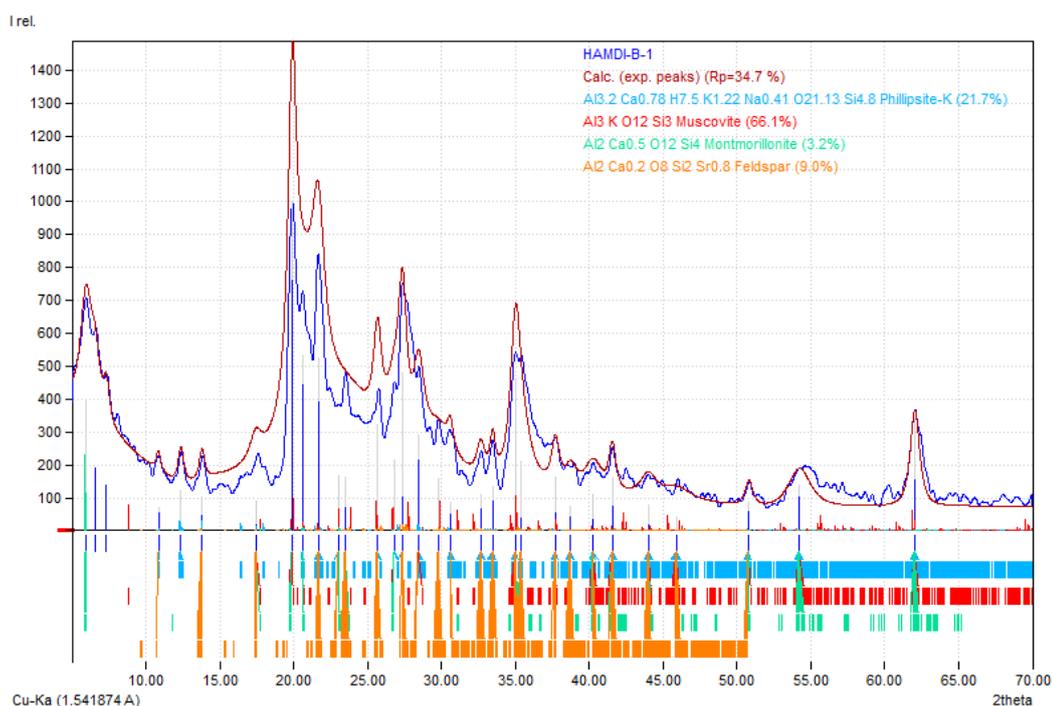
Zeolit B-0.5



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	78.8	Muscovite	$Al_3 K O_{12} Si_3$
B	4.7	Montmorillonite	$Al_2 Ca_{0.5} O_{12} Si_4$
C	16.5	Feldspar	$Al_2 Ca_{0.2} O_8 Si_2 Sr_{0.8}$
	12.6	Unidentified peak area	

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0 (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	5.92	14.9171	361.57	89.99	1.1600	B
2	19.88	4.4625	1000	128.74	0.6000	A,B,C
3	20.98	4.2309	539.25	356.37	3.0800	A,B
4	21.68	4.0959	134.22	119.81	4.1600	A,C
5	23.5	3.7826	208.1	367.93	8.2400	B,C
6	25.54	3.4878	299.69	38.58	0.6000	A,C
7	26.78	3.3263	237.09	229.94	4.5200	A,B,C
8	27.54	3.2362	168.86	42.03	1.1600	A,C
9	29.82	2.9962	199.23	56.09	1.3121	A,B,C
10	30.68	2.9142	85.35	7.2	0.3932	C
11	32.42	2.7616	54.32	9.52	0.8166	A
12	35.14	2.5518	417.71	111.14	1.2400	A,B,C
13	36.76	2.4429	158.42	77.5	2.2800	A,B,C
14	40.2	2.2433	92.31	30.5	1.5400	A,B,C
15	41.54	2.174	67.4	25.62	1.7714	A,B,C
16	42.5	2.1271	56.97	10.19	0.8334	A,B,C
17	50.9	1.794	58.13	6.05	0.4851	A,B,C
18	54.22	1.6918	99.33	36.09	1.6933	A,B,C
19	62.06	1.4943	313.9	53.88	0.8000	A,B,C

Zeolit B-1

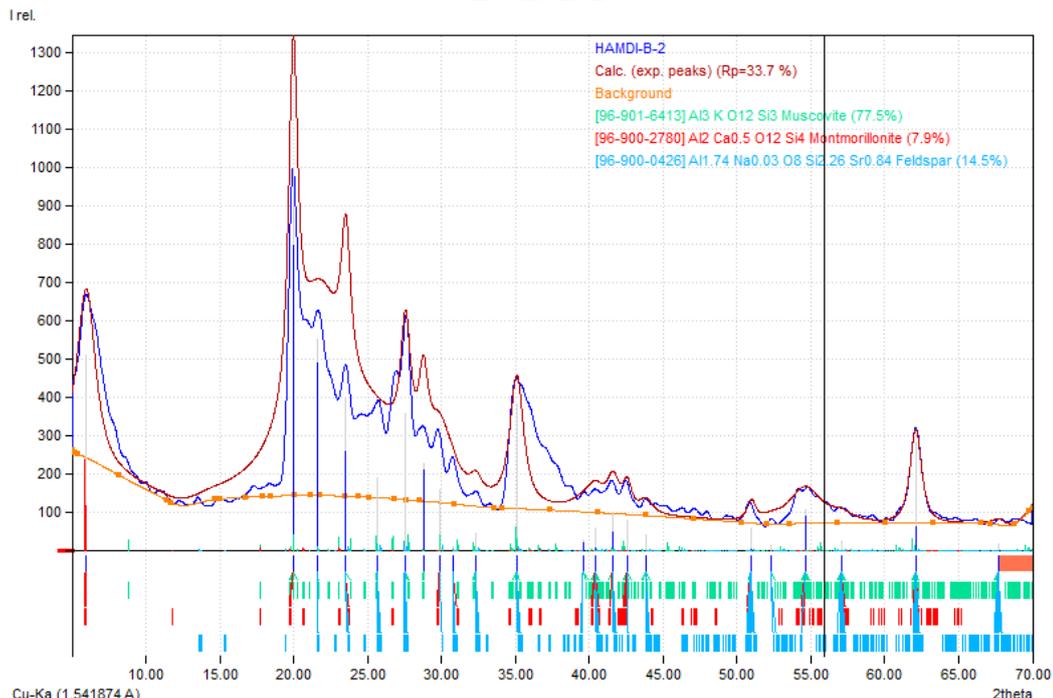


Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	16.5	Phillipsite-K	Al _{3.2} Ca _{0.78} H _{7.5} K _{1.22} Na _{0.41} O _{21.13} Si _{4.8}
B	70.5	Muscovite	Al _{2.4} Fe _{0.22} H ₂ K _{0.9} Mg _{0.16} Na _{0.07} O ₁₂ Si _{3.2} Ti _{0.02}
C	3.9	Montmorillonite	Al ₂ Ca O ₁₂ Si ₄
D	9.1	Feldspar	Al _{1.9} O ₈ Si _{2.1} Sr
	12.1	Unidentified peak area	

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0 (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	5.96	14.817	394.42	67.49	0.88	C
4	10.86	8.1469	68.39	4.53	0.3404	A
5	12.38	7.1498	123.63	10.69	0.4448	A
6	13.8	6.4172	104.1	8.37	0.4137	A,D
7	17.44	5.0851	90.78	16.62	0.9414	A,B,C
8	19.92	4.4536	1000	124.44	0.64	B,C,D
9	20.6	4.3081	532.77	227.9	2.2	A,B,C
10	21.68	4.0959	525.82	98.15	0.96	A,B,D
11	23.02	3.8604	167.36	238.2	7.32	A,B,C,D
12	23.52	3.7794	163.88	159.33	5	C,D
13	25.68	3.4691	321.5	40.01	0.64	A,B,D
14	26.82	3.3214	213.07	48.06	1.16	A,B,C,D
15	27.38	3.2548	480.71	59.82	0.64	A,D
16	28.46	3.1362	292.87	50.11	0.88	A,B,D
17	29.8	2.9982	157.99	71.27	2.32	B,C,D
18	30.6	2.9216	87.33	7.79	0.459	A,D
19	32.66	2.7419	111.78	13.62	0.6265	A,D
20	33.46	2.6781	134.53	11.51	0.44	A,B,D

21	35.02	2.5602	463.33	68.47	0.76	A,B,C,D
22	35.38	2.535	208.84	61.72	1.52	A,B,C,D
23	37.72	2.3849	163.25	20.31	0.64	A,B,D
24	38.76	2.3233	75.39	12.91	0.8807	A,B,D
25	40.28	2.239	108.82	28.78	1.36	A,B,C,D
26	41.58	2.172	161.04	17.54	0.56	A,B,C,D
27	44	2.058	77.74	19.2	1.2699	A,B,C,D
28	45.9	1.9771	43.55	18.8	2.2207	A,B,D
29	50.82	1.7967	86.26	10.32	0.6151	A,B,C,D
30	54.24	1.6898	136.87	46.84	1.76	A,B,C,D
31	62.04	1.4947	337.38	49.86	0.76	A,B,C,D

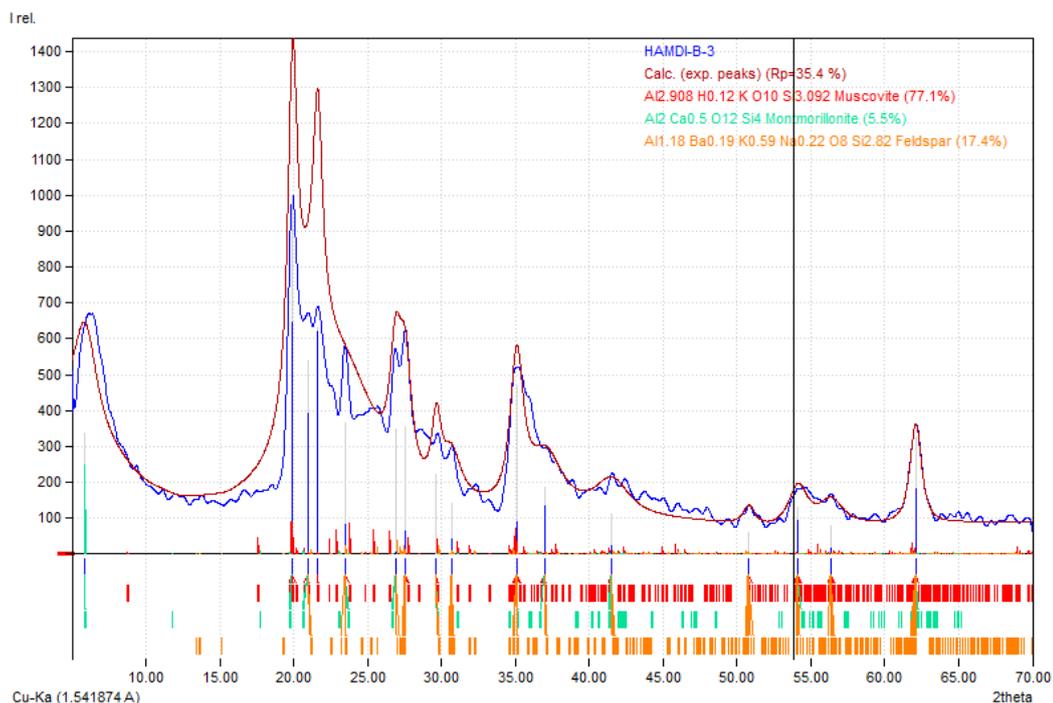
Zeolit B-2



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	77.5	Muscovite	Al ₃ K O ₁₂ Si ₃
B	7.9	Montmorillonite	Al ₂ Ca _{0.5} O ₁₂ Si ₄
C	14.5	Feldspar	Al _{1.74} Na _{0.03} O ₈ Si _{2.26} Sr _{0.84}
	14.1	Unidentified peak area	

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0 (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	5.98	14.7675	510.5	176.92	1.4400	B
2	19.98	4.4404	1000	173.29	0.7200	A,B,C
3	21.64	4.1034	553.51	570.16	4.2800	A,C
4	23.46	3.7921	398.57	69.07	0.7200	B,C
5	25.66	3.4689	192.42	324.18	7.0000	A,C
6	27.58	3.2316	358.39	65.55	0.7600	A,C
7	29.74	3.0041	221.39	51.15	0.9600	A,B,C
8	30.68	2.9142	139.88	33.67	1.0000	C
9	35.1	2.5546	383.25	99.62	1.0800	A,B,C
10	41.46	2.178	41.08	19.15	1.9368	A,B,C
11	42.5	2.1271	82.2	42.79	2.1627	A,B,C
12	50.82	1.7967	63.22	10.38	0.6820	A,B,C
13	54.14	1.6941	98.44	43.96	1.8554	A,B,C
14	62.1	1.4934	283.49	62.77	0.9200	A,B,C

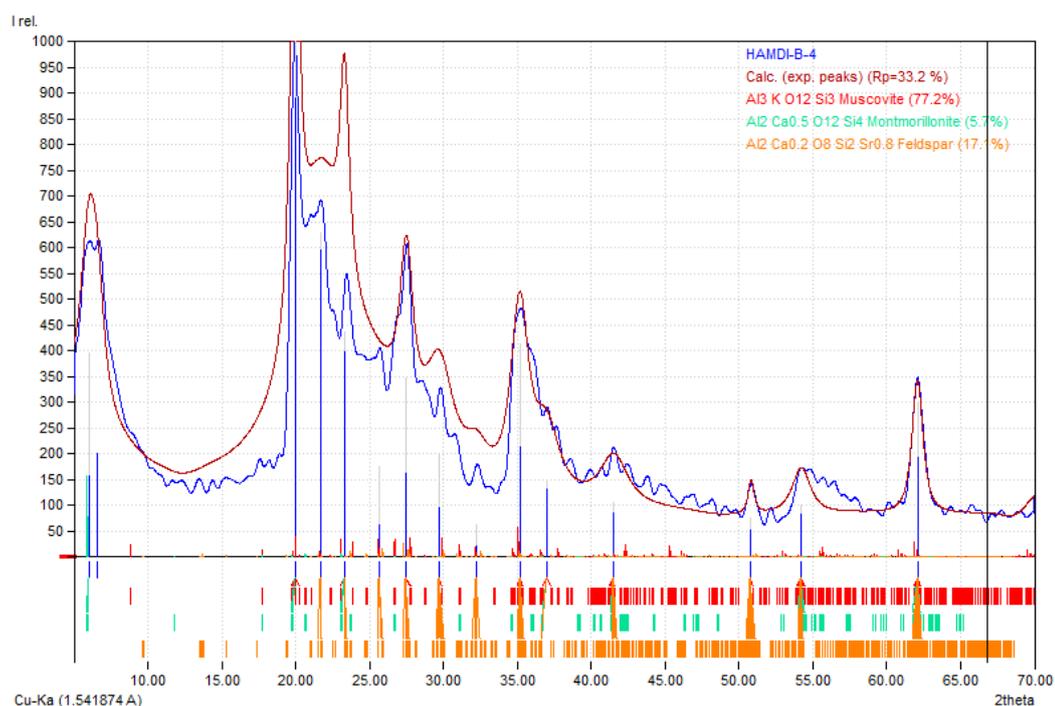
Zeolit B-3



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	77.1	Muscovite	$\text{Al}_{2.908} \text{H}_{0.12} \text{K} \text{O}_{10} \text{Si}_{3.092}$
B	5.5	Montmorillonite	$\text{Al}_2 \text{Ca}_{0.5} \text{O}_{12} \text{Si}_4$
C	17.4	Feldspar	$\text{Al}_{1.18} \text{Ba}_{0.19} \text{K}_{0.59} \text{Na}_{0.22} \text{O}_8 \text{Si}_{2.82}$
	11.1	Unidentified peak area	

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0 (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	5.88	15.0309	335.74	121.64	1.8053	B
2	19.94	4.4492	1000	144.5	0.7200	A,B,C
3	20.94	4.2389	539.2	324.63	3.0000	A,B
4	21.64	4.1068	630.97	91.17	0.7200	A,C
5	23.48	3.7858	367.74	377.87	5.1200	A,B,C
6	26.9	3.3117	348.69	61.58	0.8800	B,C
7	27.56	3.2339	353.56	68.12	0.9600	A,C
8	29.66	3.012	223.65	32.32	0.7200	A,B
9	30.68	2.9142	142.65	41.83	1.4613	C
10	35.1	2.5546	469.47	97.98	1.0400	A,B,C
11	37.02	2.4264	185.01	100.99	2.7200	A,B,C
12	41.54	2.174	111.96	59.61	2.6530	A,B,C
13	50.82	1.7967	61.71	11.69	0.9436	A,B,C
14	54.14	1.6941	129.04	38.64	1.4922	A,B,C
15	56.36	1.6325	80.32	30.37	1.8841	A,C
16	62.1	1.4934	323.91	59.8	0.9200	A,B,C

Zeolit B-4



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	77.2	Muscovite	Al ₃ K O ₁₂ Si ₃
B	5.7	Montmorillonite	Al ₂ Ca _{0.5} O ₁₂ Si ₄
C	17.1	Feldspar	Al ₂ Ca _{0.2} O ₈ Si ₂ Sr _{0.8}
	14.5	Unidentified peak area	

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I ₀ (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	6.02	14.6695	395.58	106.94	1.2800	B
3	19.96	4.4448	1000	152.07	0.7200	A,B,C
4	21.66	4.0996	628.56	584.12	4.4000	A,C
5	23.32	3.8146	437.72	66.56	0.7200	A,B,C
6	25.64	3.4716	175.52	265.42	7.1600	A,C
7	27.5	3.2435	347.12	73.31	1.0000	A,C
8	29.74	3.0041	201.48	86.5	2.0328	A,B,C
9	32.26	2.775	63.14	22.89	1.7164	A
10	35.16	2.5525	413.76	122.34	1.4000	A,B,C
11	36.98	2.4309	147.55	61.08	1.9600	A,B,C
12	41.54	2.174	106.02	47.6	2.1256	A,B,C
13	50.82	1.7967	75.07	7.52	0.4740	A,B,C
14	54.22	1.6918	102.34	31.26	1.4461	A,B,C
15	62.08	1.4939	302.5	56.22	0.8800	A,B,C

Lampiran 2
Hasil analisis XRF

Sample : Hamdi-Sampel-Awal
 Operator: Zahran
 Comment : Quick&easy Air-Metal
 Group : easy-oxide
 Date : 2024-04-20 11:02:09

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
SiO2	52.555 %	[0.537]	Quan-FP	SiKa	1.2010
Al2O3	37.388 %	[1.188]	Quan-FP	AlKa	0.0907
K2O	3.033 %	[0.023]	Quan-FP	K Ka	2.1039
BaO	2.639 %	[0.040]	Quan-FP	BaLa	7.0777
Fe2O3	2.123 %	[0.014]	Quan-FP	FeKa	44.7156
CaO	1.871 %	[0.014]	Quan-FP	CaKa	1.8770
SrO	0.147 %	[0.001]	Quan-FP	SrKa	18.0647
TiO2	0.141 %	[0.024]	Quan-FP	TiKa	0.7588
Rb2O	0.033 %	[0.001]	Quan-FP	RbKa	3.9688
ZrO2	0.029 %	[0.001]	Quan-FP	ZrKa	3.6720
Ag2O	0.023 %	[0.002]	Quan-FP	AgKa	1.5980
ZnO	0.013 %	[0.001]	Quan-FP	ZnKa	0.5911
Y2O3	0.003 %	[0.001]	Quan-FP	Y Ka	0.3746

Sample : Hamdi-A-0-5
Operator: zahran
Comment : Quick&easy Air-Metal
Group : easy-oxide
Date : 2024-04-20 11:10:59

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
SiO2	63.040 %	[0.551]	Quan-FP	SiKa	1.5434
Al2O3	31.790 %	[1.021]	Quan-FP	AlKa	0.0811
Fe2O3	2.558 %	[0.014]	Quan-FP	FeKa	64.9144
K2O	1.583 %	[0.016]	Quan-FP	K Ka	1.0883
TiO2	0.487 %	[0.011]	Quan-FP	TiKa	2.8523
BaO	0.220 %	[0.032]	Quan-FP	BaLa	0.6423
CaO	0.185 %	[0.003]	Quan-FP	CaKa	0.1919
SrO	0.082 %	[0.001]	Quan-FP	SrKa	12.2787
ZrO2	0.034 %	[0.001]	Quan-FP	ZrKa	5.2973
Rb2O	0.010 %	[0.001]	Quan-FP	RbKa	1.5171
ZnO	0.010 %	[0.001]	Quan-FP	ZnKa	0.5221

Sample : Hamdi-A-1
Operator: zahran
Comment : Quick&easy Air-Metal
Group : easy-oxide
Date : 2024-04-20 11:18:39

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
SiO2	60.210 %	[0.557]	Quan-FP	SiKa	1.4263
Al2O3	33.160 %	[1.063]	Quan-FP	AlKa	0.0819
Fe2O3	2.603 %	[0.016]	Quan-FP	FeKa	61.0909
K2O	1.959 %	[0.018]	Quan-FP	K Ka	1.3345
BaO	1.165 %	[0.022]	Quan-FP	BaLa	3.2910
CaO	0.408 %	[0.006]	Quan-FP	CaKa	0.4141
TiO2	0.319 %	[0.006]	Quan-FP	TiKa	1.8095
SrO	0.091 %	[0.001]	Quan-FP	SrKa	12.4682
ZrO2	0.033 %	[0.001]	Quan-FP	ZrKa	4.6533
Rb2O	0.021 %	[0.001]	Quan-FP	RbKa	2.8260
Ag2O	0.020 %	[0.002]	Quan-FP	AgKa	1.4943
ZnO	0.011 %	[0.001]	Quan-FP	ZnKa	0.5285

Sample : Hamdi-A-2
Operator: zahran
Comment : Quick&easy Air-Metal
Group : easy-oxide
Date : 2024-04-20 11:26:15

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
SiO2	65.710 %	[0.551]	Quan-FP	SiKa	1.5660
Al2O3	29.742 %	[0.964]	Quan-FP	AlKa	0.0726
Fe2O3	2.359 %	[0.014]	Quan-FP	FeKa	57.6343
K2O	1.386 %	[0.014]	Quan-FP	K Ka	0.9062
TiO2	0.458 %	[0.011]	Quan-FP	TiKa	2.5709
BaO	0.195 %	[0.032]	Quan-FP	BaLa	0.5445
SrO	0.068 %	[0.001]	Quan-FP	SrKa	9.8469
ZrO2	0.034 %	[0.001]	Quan-FP	ZrKa	5.0804
CaO	0.031 %	[0.020]	Quan-FP	CaKa	0.0849
ZnO	0.009 %	[0.001]	Quan-FP	ZnKa	0.4764
Rb2O	0.008 %	[0.001]	Quan-FP	RbKa	1.1181

Sample : Hamdi-A-3
Operator: zahran
Comment : Quick&easy Air-Metal
Group : easy-oxide
Date : 2024-04-20 11:33:57

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
SiO2	65.063 %	[0.546]	Quan-FP	SiKa	1.5643
Al2O3	29.962 %	[0.959]	Quan-FP	AlKa	0.0738
Fe2O3	2.369 %	[0.014]	Quan-FP	FeKa	57.8442
K2O	1.586 %	[0.015]	Quan-FP	K Ka	1.0499
TiO2	0.458 %	[0.010]	Quan-FP	TiKa	2.5798
BaO	0.278 %	[0.032]	Quan-FP	BaLa	0.7811
CaO	0.167 %	[0.006]	Quan-FP	CaKa	0.1665
SrO	0.064 %	[0.001]	Quan-FP	SrKa	9.2888
ZrO2	0.035 %	[0.001]	Quan-FP	ZrKa	5.2076
Rb2O	0.010 %	[0.001]	Quan-FP	RbKa	1.3685
ZnO	0.009 %	[0.001]	Quan-FP	ZnKa	0.4506

Sample : Hamdi-A-4
Operator: zahran
Comment : Quick&easy Air-Metal
Group : easy-oxide
Date : 2024-04-20 11:41:33

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
SiO2	64.447 %	[0.546]	Quan-FP	SiKa	1.5324
Al2O3	30.965 %	[0.994]	Quan-FP	AlKa	0.0764
Fe2O3	2.275 %	[0.014]	Quan-FP	FeKa	56.4264
K2O	1.534 %	[0.015]	Quan-FP	K Ka	1.0115
TiO2	0.568 %	[0.013]	Quan-FP	TiKa	3.2151
SrO	0.063 %	[0.001]	Quan-FP	SrKa	9.2995
MnO	0.052 %	[0.003]	Quan-FP	MnKa	1.0240
V2O5	0.043 %	[0.007]	Quan-FP	V Ka	0.3279
ZrO2	0.034 %	[0.001]	Quan-FP	ZrKa	5.2448
Rb2O	0.010 %	[0.001]	Quan-FP	RbKa	1.4260
ZnO	0.009 %	[0.001]	Quan-FP	ZnKa	0.4820

Sample : Hamdi-B-0-5
 Operator: zahran
 Comment : Quick&easy Air-Metal
 Group : easy-oxide
 Date : 2024-04-20 11:49:10

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
SiO2	64.393 %	[0.559]	Quan-FP	SiKa	1.5075
Al2O3	30.764 %	[1.008]	Quan-FP	AlKa	0.0744
Fe2O3	2.427 %	[0.014]	Quan-FP	FeKa	58.5244
K2O	1.426 %	[0.015]	Quan-FP	K Ka	0.9266
TiO2	0.435 %	[0.010]	Quan-FP	TiKa	2.4178
BaO	0.226 %	[0.032]	Quan-FP	BaLa	0.6249
CaO	0.190 %	[0.007]	Quan-FP	CaKa	0.1866
SrO	0.072 %	[0.001]	Quan-FP	SrKa	10.2036
ZrO2	0.033 %	[0.001]	Quan-FP	ZrKa	4.8938
Ag2O	0.013 %	[0.002]	Quan-FP	AgKa	1.0327
Rb2O	0.010 %	[0.001]	Quan-FP	RbKa	1.4482
ZnO	0.010 %	[0.001]	Quan-FP	ZnKa	0.4908

Sample : Hamdi-B-1
Operator: zahran
Comment : Quick&easy Air-Metal
Group : easy-oxide
Date : 2024-04-20 11:56:56

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
SiO2	61.238 %	[0.557]	Quan-FP	SiKa	1.4218
Al2O3	32.363 %	[1.051]	Quan-FP	AlKa	0.0776
Fe2O3	2.366 %	[0.015]	Quan-FP	FeKa	53.6010
K2O	1.788 %	[0.017]	Quan-FP	K Ka	1.1842
BaO	1.436 %	[0.026]	Quan-FP	BaLa	3.9524
CaO	0.413 %	[0.006]	Quan-FP	CaKa	0.4099
TiO2	0.242 %	[0.020]	Quan-FP	TiKa	1.3401
SrO	0.084 %	[0.001]	Quan-FP	SrKa	11.1261
ZrO2	0.033 %	[0.001]	Quan-FP	ZrKa	4.4966
Rb2O	0.023 %	[0.001]	Quan-FP	RbKa	3.0045
ZnO	0.010 %	[0.001]	Quan-FP	ZnKa	0.4808
Y2O3	0.003 %	[0.001]	Quan-FP	Y Ka	0.4315

Sample : Hamdi-B-2
Operator: zahran
Comment : Quick&easy Air-Metal
Group : easy-oxide
Date : 2024-04-20 12:04:44

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
SiO2	65.178 %	[0.552]	Quan-FP	SiKa	1.5540
Al2O3	30.271 %	[0.998]	Quan-FP	AlKa	0.0743
Fe2O3	2.269 %	[0.014]	Quan-FP	FeKa	55.6343
K2O	1.364 %	[0.014]	Quan-FP	K Ka	0.8965
TiO2	0.439 %	[0.010]	Quan-FP	TiKa	2.4695
BaO	0.204 %	[0.031]	Quan-FP	BaLa	0.5721
CaO	0.163 %	[0.006]	Quan-FP	CaKa	0.1626
SrO	0.063 %	[0.001]	Quan-FP	SrKa	9.2403
ZrO2	0.033 %	[0.001]	Quan-FP	ZrKa	4.9431
ZnO	0.008 %	[0.001]	Quan-FP	ZnKa	0.4270
Rb2O	0.008 %	[0.001]	Quan-FP	RbKa	1.1411

Sample : Hamdi-B-3
Operator: zahran
Comment : Quick&easy Air-Metal
Group : easy-oxide
Date : 2024-04-20 12:12:14

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
SiO2	65.033 %	[0.556]	Quan-FP	SiKa	1.5142
Al2O3	30.161 %	[0.968]	Quan-FP	AlKa	0.0722
Fe2O3	2.313 %	[0.014]	Quan-FP	FeKa	55.0427
K2O	1.548 %	[0.015]	Quan-FP	K Ka	0.9934
TiO2	0.481 %	[0.011]	Quan-FP	TiKa	2.6353
BaO	0.213 %	[0.032]	Quan-FP	BaLa	0.5814
CaO	0.137 %	[0.006]	Quan-FP	CaKa	0.1332
SrO	0.062 %	[0.001]	Quan-FP	SrKa	8.7003
ZrO2	0.036 %	[0.001]	Quan-FP	ZrKa	5.2107
Rb2O	0.008 %	[0.001]	Quan-FP	RbKa	1.1361
ZnO	0.008 %	[0.001]	Quan-FP	ZnKa	0.3856

Sample : Hamdi-B-4
Operator: zahran
Comment : Quick&easy Air-Metal
Group : easy-oxide
Date : 2024-04-20 12:19:58

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
SiO2	66.956 %	[0.533]	Quan-FP	SiKa	1.5803
Al2O3	28.681 %	[0.899]	Quan-FP	AlKa	0.0687
Fe2O3	2.081 %	[0.013]	Quan-FP	FeKa	49.7324
K2O	1.386 %	[0.014]	Quan-FP	K Ka	0.8855
TiO2	0.476 %	[0.011]	Quan-FP	TiKa	2.6062
BaO	0.183 %	[0.031]	Quan-FP	BaLa	0.4978
CaO	0.137 %	[0.006]	Quan-FP	CaKa	0.1324
SrO	0.049 %	[0.001]	Quan-FP	SrKa	7.1091
ZrO2	0.035 %	[0.001]	Quan-FP	ZrKa	5.1668
Rb2O	0.008 %	[0.001]	Quan-FP	RbKa	1.1220
ZnO	0.008 %	[0.001]	Quan-FP	ZnKa	0.4106

Lampiran 3
Perhitungan pengenceran HCl

Rumus Mencari Volume HCl dengan konsentrasi yang diinginkan

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

Atau

$$V_1 = \frac{V_2 \cdot M_2}{M_1}$$

Keterangan:

V_1 = Volume larutan sebelum diencerkan (ml)

M_1 = Molaritas larutan sebelum diencerkan (M) (12 M)

V_2 = Volume larutan setelah diencerkan (mL) (450 ml)

M_2 = Molaritas larutan setelah diencerkan (M)

1. HCl 0,5 Molar

$$V_1 = \frac{450 \times 0.5}{12}$$

$$V_1 = 18.75$$

2. HCl 1 Molar

$$V_1 = \frac{450 \times 1}{12}$$

$$V_1 = 37.5$$

3. HCl 2 Molar

$$V_1 = \frac{450 \times 2}{12}$$

$$V_1 = 75$$

4. HCl 3 Molar

$$V_1 = \frac{450 \times 3}{12}$$

$$V_1 = 112.5$$

5. HCl 4 Molar

$$V_1 = \frac{450 \times 4}{12}$$

$$V_1 = 150$$

Lampiran 4
Perhitungan komposisi Si dan Al

Rumus mencari persentase Si dalam SiO_2

$$Si = \frac{Ar Si}{Mr SiO_2} \times \%SiO_2$$

$$Si = \frac{Ar Si}{Ar Si + (2 \times Ar O)} \times \%SiO_2$$

Rumus mencari persentase Al dalam Al_2O_3

$$Al = \frac{Ar Al}{Mr Al_2O_3} \times \%Al_2O_3$$

$$Al = \frac{Ar Al}{(2 \times Ar Al) + (3 \times Ar O)} \times \%Al_2O_3$$

Diketahui:

$$Ar Si = 28.085$$

$$Ar Al = 26.982$$

$$Ar O = 15.999$$

1. Zeolit Awal

$$Si = \frac{28.085}{28.085 + (2 \times 15.999)} \times 52.56\%$$

$$Si = 24.57\%$$

$$Al = \frac{26.982}{(2 \times 26.982) + (3 \times 15.999)} \times 37.39\%$$

$$Al = 19.79\%$$

2. Zeolit A-0.5

$$Si = \frac{28.085}{28.085 + (2 \times 15.999)} \times 63.04\%$$

$$Si = 29.47\%$$

$$Al = \frac{26.982}{(2 \times 26.982) + (3 \times 15.999)} \times 31.79\%$$

$$Al = 16.83\%$$

3. Zeolit A-1

$$Si = \frac{28.085}{28.085 + (2 \times 15.999)} \times 60.21\%$$

$$Si = 28.14\%$$

$$Al = \frac{26.982}{(2 \times 26.982) + (3 \times 15.999)} \times 33.16\%$$

$$Al = 17.55\%$$

4. Zeolit A-2

$$Si = \frac{28.085}{28.085 + (2 \times 15.999)} \times 65.71\%$$

$$Si = 30.72\%$$

$$Al = \frac{26.982}{(2 \times 26.982) + (3 \times 15.999)} \times 29.74\%$$

$$Al = 15.74\%$$

5. Zeolit A-3

$$Si = \frac{28.085}{28.085 + (2 \times 15.999)} \times 65.06\%$$

$$Si = 30.41\%$$

$$Al = \frac{26.982}{(2 \times 26.982) + (3 \times 15.999)} \times 29.96\%$$

$$Al = 15.86\%$$

6. Zeolit A-4

$$Si = \frac{28.085}{28.085 + (2 \times 15.999)} \times 64.45\%$$

$$Si = 30.12\%$$

$$Al = \frac{26.982}{(2 \times 26.982) + (3 \times 15.999)} \times 30.97\%$$

$$Al = 16.39\%$$

7. Zeolit B-0.5

$$Si = \frac{28.085}{28.085 + (2 \times 15.999)} \times 64.39\%$$

$$Si = 30.10\%$$

$$Al = \frac{26.982}{(2 \times 26.982) + (3 \times 15.999)} \times 30.76\%$$

$$Al = 16.28\%$$

8. Zeolit B-1

$$Si = \frac{28.085}{28.085 + (2 \times 15.999)} \times 61.24\%$$

$$Si = 28.62\%$$

$$Al = \frac{26.982}{(2 \times 26.982) + (3 \times 15.999)} \times 32.36\%$$

$$Al = 17.13\%$$

9. Zeolit B-2

$$Si = \frac{28.085}{28.085 + (2 \times 15.999)} \times 65.18\%$$

$$Si = 30.47\%$$

$$Al = \frac{26.982}{(2 \times 26.982) + (3 \times 15.999)} \times 30.27\%$$

$$Al = 16.02\%$$

10. Zeolit B-3

$$Si = \frac{28.085}{28.085 + (2 \times 15.999)} \times 65.03\%$$

$$Si = 30.40\%$$

$$Al = \frac{26.982}{(2 \times 26.982) + (3 \times 15.999)} \times 30.16\%$$

$$Al = 15.96\%$$

11. Zeolit B-4

$$Si = \frac{28.085}{28.085 + (2 \times 15.999)} \times 66.96\%$$

$$Si = 31.30\%$$

$$Al = \frac{26.982}{(2 \times 26.982) + (3 \times 15.999)} \times 28.68\%$$

$$Al = 15.18\%$$

Lampiran 5
Kartu Konsultasi Tugas Akhir

Lampiran B 10

Kartu Konsultasi Tugas Akhir

JUDUL: DEALUMINASI ZEOLIT MONCOMOLOG, KABUPATEN MAROS, PROVINSI
SULAWESI SELATAN SECARA PIRNIA MENGGUNAKAN ASAM
KLORIDA

(Konsultasi minimal 8 kali)

TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF DOSEN
21/06/2024	- Hasil analisis XRF - Hasil analisis XRD	
23/06/2024	- Abstrak - Bab I (Latar Belakang)	
11/07/2024	- Perbaikan hasil analisis XRD - Grafik rasio Si/Al	
25/07/2024	- Hasil dan Pembahasan - Kesimpulan	

TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF DOSEN
06/08/2024	<ul style="list-style-type: none"> - Poster ilmiah - Artikel ilmiah 	
12/08/2024	<ul style="list-style-type: none"> - Artikel ilmiah 	
14/08/2024	<ul style="list-style-type: none"> - Artikel ilmiah 	
08/09/2024	<ul style="list-style-type: none"> - Abstrak - Bab III 	
08/10/2024	<ul style="list-style-type: none"> - Bonus zebit - Reaksi antara H^+ dengan $Si-O$ dan AlO 	
09/10/2024	<ul style="list-style-type: none"> - Abstrak - Penjelasan reaksi HCl dengan zebit 	