



**SINTESIS ZEOLIT A DARI ABU TERBANG (*FLY ASH*) BATUBARA  
DENGAN VARIASI RASIO MOLAR Si/Al DAN APLIKASINYA SEBAGAI  
PENUKAR KATION**

**SKRIPSI**

Oleh

**Zuhrotul Lutfia  
NIM 121810301058**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**



**SINTESIS ZEOLIT A DARI ABU TERBANG (*FLY ASH*) BATUBARA  
VARIASI RASIO MOLAR Si/AI DAN APLIKASINYA SEBAGAI PENUKAR  
KATION**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

**Zuhrotul Lutfia  
NIM 121810301058**


**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**

## PERSEMBAHAN

Saya persembahkan tulisan ini kepada :

1. Almarhum Ayahku Buslah Syaiful Arif yang telah lebih dulu meninggalkan keluarga kami sehingga tidak sempat melihat kelulusanku, dan ibuku Siti Aminah yang telah memberikan segalanya untukku
2. Kakak-kakakku Khairul Ishaq, Siti Romlah, Ahmad Syafaruddin, Siti Munfarida, Khairul Anam, Anita Indita Sari, dan Bulekku Siti Munawaroh serta seluruh keluarga besarku yang tiada henti memberikan dukungan baik dalam bentuk moril maupun materiil serta do'a demi kelancaran studiku
3. Almamater Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember
4. Guru-guruku di RA Miftahul Ulum, MI Miftahul Ulum, MTs Miftahul Ulum, dan SMA Unggulan Haf-Sa BPPT Genggong Probolinggo

**MOTO**



*“Hiduplah sesukamu, karena sesungguhnya engkau akan mati  
cintailah siapapun yang engkau suka, karena sesungguhnya engkau akan berpisah  
dengannya dan berbuatlah sesukamu, karena sesungguhnya engkau akan diberi  
balasan karenanya”*

(Nasehat Jibril kepada Rasulullah SAW)\*

---

\*Dikutip dari *Ensiklopedia Kiamat* karya Dr Umar Sulaiman Al-Asyqar

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Zuhrotul Lutfia

NIM : 121810301058

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Sintesis Zeolit A dari (*Fly Ash*) Batubara Variasi Rasio Molar Si/Al dan Aplikasinya Sebagai Penukar Kation” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 02 April 2017

Yang menyatakan,

Zuhroul Lutfia

121810301058

**SKRIPSI**

**SINTESIS ZEOLIT A DARI ABU TERBANG (*FLY ASH*) BATUBARA  
VARIASI RASIO MOLAR Si/Al DAN APLIKASINYA SEBAGAI PENUKAR  
KATION**

Oleh

Zuhrotul Lutfia  
121810301058

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Novita Andarini, S.Si, M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Tanti Haryati, S.Si, M.Si

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Sintesis Zeolit A dari Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara Variasi Rasio Molar Si/Al dan Aplikasinya Sebagai Penukar Kation” karya Zuhrotul Lutfia telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Anggota I,

Novita Andarini, S.Si., M.Si.  
NIP 197211122000032001

Tanti Haryati, S.Si., M.Si.  
NIP 198010292005012002

Anggota II,

Anggota III,

Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si.  
NIP 198809242014041001

Dr. Donatus Setyawan P. H., S.Si., M.Si.  
NIP 196808021994021001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP 196102041987111001

## RINGKASAN

**Sintesis Zeolit A dari Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara Variasi Rasio Molar Si/Al dan Aplikasinya Sebagai Penukar Kation** ; Zuhrotul Lutfia, 121810301058; 2017: 46 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

*Fly ash* merupakan limbah yang dihasilkan sekitar 80% dari pembakaran batubara. Berdasarkan data dari PJB Paiton Tahun 2002, Limbah *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara dapat mencapai 80 ton/hari, di sisi lain *fly ash* juga mengandung beberapa komponen-komponen kimia yaitu silika sekitar 30-36% dan  $Al_2O_3$  sebesar 14,52-23,78% yang berpotensi sebagai bahan baku dalam pembuatan zeolit sintetis. Zeolit A merupakan mineral aluminosilikat yang kaya akan alumina sehingga memiliki kemampuan sebagai penukar kation yang baik. Pada penelitian ini disintesis zeolit A dengan melakukan variasi rasio molar Si/Al yaitu 1; 1,1; 1,2; dan 1,3. Tujuan penelitian ini yaitu (1) mengetahui karakteristik zeolit A yang telah disintesis berdasarkan hasil analisa XRD dan XRF; (2) mengetahui waktu dan konsentrasi asam klorida (HCl) optimum yang diperlukan untuk menghasilkan nilai kapasitas tukar kation zeolit A terbesar.

*Fly ash* dipreparasi dengan pengayakan dan pengasama menggunakan larutan HCl 1M selama 30 menit pada suhu ruang, kemudian *fly ash* dilebur dengan NaOH dalam *furnace* pada suhu 550°C selama 40 menit. Campuran hasil peleburan dianalisa menggunakan XRF untuk mengetahui kadar silika dan alumina dalam *fly ash*. Tahap selanjutnya yaitu proses hidrotermal yang diawali dengan penambahan aquademin 12 mL/g *fly ash* pada campuran *fly ash* dan NaOH kemudian distirrer dan disaring. Filtrat hasil penyaringan ditambahkan dengan larutan Natrium aluminat yang diperoleh dari reaksi antara aluminium hidroksida dan NaOH. Penambahannya disesuaikan dengan rasio molar Si/Al yang telah ditentukan kemudian larutan tersebut dihidrotermal pada suhu 100°C selama 5 jam. Zeolit hasil sintesis tersebut dianalisa dengan XRD dan XRF. Proses selanjutnya yaitu uji kapasitas tukar kation menggunakan metode titrimetri asam



basa yang diawali dengan aktivasi zeolit A terbaik menggunakan NaCl. Pada tahap ini dilakukan variasi waktu kontak zeolit A dengan larutan asam klorida yaitu 15; 30; 60; 120; 150; 180; dan 240 menit, dan variasi konsentrasi asam klorida yaitu 0,1; 0,5; 1; dan 1,5 M. Zeolit A selanjutnya dinetralkan dengan akuades dan dicuci dengan larutan NaOH 1N yang telah distandarisasi. Larutan NaOH hasil pencucian kemudian digunakan untuk menitrasi asam klorida 1M.

Pada sampel zeolit rasio Si/Al = 1 dan 1,1 menghasilkan zeolit murni. Hal ini ditunjukkan dengan kesamaan puncak-puncak antara zeolit hasil sintesis dan zeolit A standar selain itu juga tidak ada kesamaan puncak dengan puncak hidroksi sodalit dari difraktogram zeolit A hasil sintesis pada penelitian Said dan Widiastuti, (2008). Pada rasio Si/Al (1,1)= 1,24 intensitas puncak-puncak zeolit A yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan rasio Si/Al (1)= 1,19 yang menunjukkan bahwa kristal zeolit A yang terbentuk semakin banyak. Pada rasio Si/Al (1,1)= 1,27 mulai muncul puncak hidroksi sodalit yaitu pada sudut  $2\theta = 13,9678^\circ$  sesuai dengan difraktogram zeolit A hasil sintesis pada penelitian Said dan Widiastuti, (2008), selain itu juga terjadi penurunan intensitas pada puncak-puncak zeolit A. Pada rasio Si/Al (1,3)= 1,35 puncak-puncak zeolit A semakin menurun sedangkan puncak hidroksi sodalit semakin tinggi. Zeolit A terbaik yang diperoleh pada penelitian ini yaitu pada rasio molar Si/Al = 1,24. Berdasarkan hasil XRF menunjukkan bahwa keempat rasio tersebut masih mengandung pengotor, tetapi kandungan pengotor tertinggi ada pada rasio Si/Al (1,3)= 1,35 dan terendah ada pada rasio Si/Al (1,1)= 1,24. Zeolit A tersebut digunakan untuk uji kapasitas tukar kation. Pada optimasi waktu kontak zeolit A dengan larutan asam klorida diperoleh waktu optimum yaitu 2 jam, sedangkan pada optimasi konsentrasi larutan asam klorida yaitu sebesar 1M.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah Azza Wajalla atas segala rahmat dan pertolongan Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan lulus sebagai sarjana sains di Jurusan Kimia Universitas Jember. Tiada kata yang cukup untuk mewakili rasa terima kasih penulis kepada semua yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini :

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia dan Bapak Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember
3. Ibu Novita Andarini, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ibu Tanti Haryati, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga, pikiran, dan kesabaran dalam membimbing penulis selama pengerjaan tugas akhir ini
4. Bapak Yudi Aris Sulistiyo, S.Si.,M.Si selaku Dosen Penguji Anggota II dan Bapak Dr. Donatus Setyawan Purwo Handoko, S.Si.,M.Si selaku Dosen Penguji Anggota III yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat berharga dalam penyelesaian tugas akhir ini
5. Sahabat-sahabatku Tiara Farah Hidayah, Wawan Badrianto, Lubabah Putri Dhuha, Indah Purwanti, Ahmad Budianto, Candra Lintang Fajar, dan Muhammad Taufiq Hidayat yang telah menjadi tempat berbagi suka dan duka. Terima kasih atas kasih sayang, semangat, nasehat, motivasi, dan dukungan kalian selama ini
6. Teman-teman seperjuangan kimia angkatan 2012 “Lantanida”, yang telah bersama-sama menghadapi setiap kemudahan dan kesulitan selama menimba ilmu di jurusan kimia ini

7. Teman-teman penelitian kimia anorganik Rika Yulianti, Ferlia Suci Ramadhani, Tommy D. Indarto, Lubabah Putri Dhuha, serta teman-teman penelitian kimia organik yang membuat suasana laboratorium menjadi lebih menyenangkan
8. Teknisi Laboratorium, Mas Dharma, Mbak Lisa, Mas Dul, Mas Yusril, dan Mbak Sari, serta admin Jurusan Kimia Mas Edi yang telah banyak memberikan bantuannya
9. Kyai Hamam dan Nyai Hamam selaku pengasuh PP Al Husna yang tidak pernah kehilangan semangat untuk selalu memberikan motivasi dan pelajaran hidup maupun akademik demi meningkatkan kualitas pribadi santri-santrinya
10. Teman-teman di PP Al Husna, khususnya penghuni Blok A tanpa terkecuali yang selalu menghadirkan suasana hangat dan ceria sehingga penulis tidak pernah merasa bosan dengan seluruh kegiatan belajar dan ibadah di Pondok

Semoga setiap kalimat yang tertulis dalam karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya, Amin.

Jember, 02 April 2017

Penulis

**DAFTAR ISI**

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN .....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vi
RINGKASAN .....	vii
PRAKATA .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Abu Batubara .....	5
2.1.1 Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) .....	5
2.2 Silika .....	7
2.2.1 Sifat Fisika Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	7
2.2.2 Sifat Kimia Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	7
2.3 Alumina .....	8
2.4 Zeolit .....	9

2.4.1 Zeolit Alam .....	12
2.4.2 Zeolit Sintetis .....	13
2.4.3 Parameter-parameter dalam Sintesis Zeolit .....	15
2.5 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	18
2.6 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) .....	20
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	23
3.2 Alat dan Bahan	
3.2.1 Alat .....	23
3.2.2 Bahan .....	23
3.3 Diagram Alir Penelitian .....	24
3.4 Prosedur Penelitian	
3.4.1 Pembuatan Larutan-larutan .....	25
3.4.2 Sintesis dan Karakterisasi Zeolit A .....	26
3.4.3 Penentuan Kapasitas Tukar Kation Zeolit A .....	27
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Sintesis dan Karakterisasi Zeolit A dari <i>Fly Ash</i> Batubara	
4.1.1 Sintesis Zeolit A dari <i>Fly Ash</i> Batubara .....	29
4.1.2 Karakterisasi Zeolit A .....	32
4.2 Penentuan Kapasitas Tukar Kation Zeolit A .....	37
4.2.1 Optimasi Waktu Kontak Zeolit A dengan HCl .....	38
4.2.2 Optimasi Konsentrasi HCl .....	39
<b>BAB 5 PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	42
<b>LAMPIRAN</b> .....	47

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Komposisi <i>Fly Ash</i> PLTU Paiton Kabupaten Probolinggo .....	6
2.2 Karakteristik Silika Amorf .....	7
2.3 Pengaruh Utama Komposisi Campuran Reaksi .....	16
4.1 Komposisi <i>Fly Ash</i> Hasil Analisa XRF Sebelum dan Setelah Pengasaman	29
4.2 Rendemen Zeolit Hasil Sintesis .....	31
4.3 Komposisi Unsur-unsur dalam Zeolit A Pada Berbagai Variasi Rasio Molar Si/Al Hasil Analisa XRF .....	35
4.4 Komposisi Molar Unsur-unsur Dalam Sampel Zeolit A Pada Berbagai Variasi Rasio Molar Si/Al .....	37

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Struktur Tetrahedron Zeolit .....	10
2.2 Oksigen yang Berada Diantara Dua Tetangga Tetrahedral .....	10
2.3 Gambar Perkembangan Struktur Zeolit .....	11
2.4 Gambar Perbedaan Struktur Tiga Jenis Zeolit .....	11
2.5 Kerangka Zeolit A .....	14
2.6 Pantulan Sinar X Pada Bidang Kristal .....	19
2.7 Contoh Difraktogram zeolit A .....	20
2.8 Ilustrasi Terjadinya Sinar X Karakteristik .....	21
2.10 Contoh Spektrum Hasil XRF .....	22
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	24
3.2 Skema Alat dan Proses Penentuan KTK .....	28
4.1 Zeolit Hasil Sintesis .....	32
4.2 Difraktogram Zeolit A.....	34
4.3 Nilai KTK Zeolit A Pada Optimasi Waktu Kontak .....	38
4.4 Nilai KTK Zeolit A Pada Optimasi Konsentrasi HCl .....	40
4.5 Reaksi Dealuminasi Kerangka Zeolit Terhadap Asam .....	40

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 3 Pembuatan Larutan-larutan	
3.1 Pembuatan HCl 1M dari HCl 37% .....	47
3.2 Pembuatan Larutan NaOH 5M .....	47
3.3 Pembuatan Larutan NaOH 1N .....	48
3.4 Pembuatan Larutan Asam Oksalat 1N .....	48
3.5 Pembuatan Indikator PP 0,1 M .....	49
3.6 Penentuan Massa Al(OH) <sub>3</sub> Pada Masing-masing Variasi Rasio Si/Al .....	50
Lampiran 4 Hasil Sintesis dan Karakterisasi Zeolit	
4.1 Rendemen Zeolit Hasil Sintesis .....	53
4.2 Penentuan Kristalinitas Zeolit A .....	58
4.3 Penentuan Rasio Molar Si/Al Hasil Analisa XRF .....	59
4.4 Optimasi Waktu Pada Penentuan KTK .....	60
4.5 Optimasi Konsentrasi HCl Pada Penentuan KTK .....	63
4.6 Hasil Analisa Kuantitatif XRF <i>Fly Ash</i> .....	65
4.7 Hasil Analisa XRD Zeolit Rasio Molar Si/Al = 1 .....	67
4.8 Hasil Analisa XRD Zeolit Rasio Molar Si/Al = 1,1 .....	69
4.9 Hasil Analisa XRD Zeolit Rasio Molar Si/Al = 1,2 .....	71
4.10 Hasil Analisa XRD Zeolit Rasio Molar Si/Al = 1,3 .....	73
4.11 Hasil Analisa XRF Zeolit Rasio Molar Si/Al = 1 .....	75
4.12 Hasil Analisa XRF Zeolit Rasio Molar Si/Al = 1,1 .....	76
4.13 Hasil Analisa XRF Zeolit Rasio Molar Si/Al = 1,2 .....	77
4.14 Hasil Analisa XRF Zeolit Rasio Molar Si/Al = 1,3 .....	78



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri-industri di Indonesia saat ini telah banyak menggunakan batubara sebagai bahan bakar. Salah satu industri yang menggunakan batubara yaitu PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Batubara mulai banyak digunakan karena jumlahnya yang cukup melimpah dan biaya operasional yang murah sehingga batubara ini menjadi salah satu sumber energi alternatif yang banyak diminati sebagai pengganti minyak bumi. Pembakaran batubara ini menghasilkan limbah padat yang terbagi menjadi dua yaitu abu terbang (*Fly ash*) dan abu dasar (*Bottom Ash*) (Kartika, *et al.*, 2010).

*Fly ash* merupakan limbah yang dihasilkan sekitar 80% dari pembakaran batubara (Jumaeri, *et al.*, 2009). Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup Tahun 2008 limbah *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara dapat mencapai 80 ton/hari (Dinas LH Kabupaten Bandung, 2008), di sisi lain *fly ash* juga mengandung beberapa komponen-komponen kimia yaitu silika sekitar 30-36% dan  $Al_2O_3$  sebesar 14,52-23,78%, serta beberapa komponen kimia yang lain (PJB Paiton, 2002). Kandungan silika dan alumina yang tinggi menjadikan *fly ash* berpotensi sebagai bahan baku dalam pembuatan zeolit sintesis.

Zeolit merupakan suatu mineral dengan komponen utama yaitu alumina dan silika. Kristal zeolit yang terdiri dari  $SiO_2$  dan  $[AlO_4]^-$  masing-masing membentuk struktur tetrahedral yang nantinya akan bergabung membentuk kerangka dengan cara keduanya akan saling terhubung dengan atom O sebagai atom pengikat. Kondisi  $[AlO_4]^-$  yang bermuatan negatif tersebut membuat zeolit memiliki sisi aktif yang dapat dinetralkan dengan adanya kation. Zeolit dapat mengikat kation dengan ikatan yang lemah sehingga kation-kation yang terikat pada zeolit akan dapat digantikan dengan kation-kation yang lain. Kation-kation tersebut misalnya antara lain adalah  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ , dan yang lainnya. Oleh karena itu, maka zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penukar kation (Said dan Widiastuti, 2008), sedangkan jika kation yang terikat adalah

proton ( $H^+$ ) maka zeolit akan bersifat sangat asam sehingga dapat berguna sebagai katalis.

Zeolit dapat disintesis dengan beberapa metode. Salah satunya adalah metode peleburan yang diikuti dengan proses hidrotermal. Penggunaan metode ini menghasilkan zeolit dengan kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan hidrotermal langsung. Zeolit yang akan disintesis pada penelitian ini yaitu zeolit A. Zeolit A merupakan mineral aluminosilikat yang kaya akan alumina sehingga zeolit ini memiliki kemampuan sebagai penukar kation yang baik. Terdapat beberapa kondisi penting yang diperlukan dalam sintesis zeolit A menggunakan metode peleburan hidrotermal antara lain, suhu dan waktu peleburan, rasio molar Si/Al, suhu dan waktu hidrotermal. Menurut Chang dan Shih, (2000) yang telah mensintesis zeolit A dan X dari *fly ash* dengan metode peleburan hidrotermal bahwa kondisi yang diperlukan untuk mensintesis zeolit A yaitu suhu peleburan  $550^{\circ}C$  selama 1 jam kemudian diikuti dengan proses hidrotermal pada suhu  $60^{\circ}C$  selama 3 hari, dan penambahan aluminium hidroksida hidrat pada campuran hasil peleburan dengan penentuan rasio molar Si/Al = 1. Berdasarkan hasil XRD (*X-Ray Diffraction*) diperoleh zeolit A pada penambahan aluminium hidroksida hidrat sebanyak 0,65 g. Rasio molar Si/Al untuk mensintesis zeolit A menurut Robson dalam Nikmah, (2008) berada pada kisaran 1-1,3. Kondisi yang berbeda dilakukan oleh Said dan Widiastuti, (2008) dalam mensintesis zeolit A dari abu dasar batubara PLTU PT.IPMOMI Paiton yang digunakan untuk mengadsorpsi logam Cu(II) yaitu menggunakan suhu peleburan  $750^{\circ}C$  selama 1 jam dan suhu hidrotermal  $100^{\circ}C$  selama 12 jam dengan perbandingan rasio molar  $SiO_2/Al_2O_3$  1,926. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh zeolit A dengan sedikit adanya hidroksi-sodalit.

Fitriyana dan Sulardjaka, (2012) telah mensintesis zeolit A dari limbah geotermal dengan suhu hidrotermal  $100^{\circ}C$  selama 5 jam dan variasi konsentrasi NaOH. Pada penelitian tersebut diperoleh zeolit A murni dengan kristalinitas sebesar 99,07% pada konsentrasi NaOH 1,67 M. Moises, *et al.*, (2013) juga telah mensintesis zeolit Na-A dari abu ampas tebu dengan metode peleburan pada suhu yang sama dengan

penelitian Chang dan Shih yaitu 550°C tetapi dengan waktu yang berbeda yaitu 40 menit, dengan variasi rasio molar Si/Al = 1. Pada penelitiannya diperoleh zeolit A murni pada suhu hidrotermal 80°C dari waktu kristalisasi 72 jam sampai 160 jam.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, maka pada penelitian ini akan disintesis zeolit A dari *fly ash* batubara dengan variasi rasio molar Si/Al yaitu 1; 1,1;1,2; dan 1,3 menggunakan metode peleburan alkali hidrotermal. Zeolit A yang dihasilkan dari penelitian ini dikarakterisasi menggunakan spektroskopi XRD (*X-Ray Diffraction*) dan XRF (*X-Ray Fluorescence*), serta dilakukan uji kapasitas tukar kation zeolit A hasil sintesis menggunakan metode titrimetri asam basa dengan variasi waktu kontak yaitu 15; 30; 60; 90; 120; 150; 180; dan 240 menit, dan konsentrasi larutan asam klorida (HCl) yaitu 0,1; 0,5; 1; dan 1,5N.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik zeolit A hasil sintesis berdasarkan analisa XRD dan XRF?
2. Berapa waktu dan konsentrasi larutan asam klorida (HCl) optimum yang diperlukan untuk menghasilkan nilai kapasitas tukar kation zeolit A terbesar?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik zeolit A hasil sintesis berdasarkan analisa XRD dan XRF
2. Mengetahui waktu dan konsentrasi asam klorida (HCl) optimum yang diperlukan untuk menghasilkan nilai kapasitas tukar kation zeolit A terbesar.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi tentang rasio molar Si/Al untuk menghasilkan zeolit A berbahan dasar abu terbang batubara dan kondisi

optimum meliputi waktu kontak dan konsentrasi larutan asam klorida (HCl) yang diperlukan dalam penetapan kapasitas tukar kation zeolit A yang menggunakan metode titrimetri asam basa.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Fly ash* yang digunakan pada penelitian ini diambil dari PLTU Kecamatan Paiton Kabupaten Probolinggo.
2. Karakterisasi zeolit A yang diperoleh pada penelitian menggunakan spektroskopi *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *X-Ray Fluorescence (XRF)*

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Abu Batubara

Batubara merupakan bahan bakar fosil yang digunakan dalam industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) untuk menghasilkan energi. Pembakaran batubara ini selain menghasilkan energi juga menghasilkan limbah padat berupa abu dengan jumlah yang cukup besar yaitu sekitar 80 ton/hari menurut Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bandung Tahun 2008. Abu batubara merupakan sisa materi dari semua materi dalam batubara yang tidak habis terbakar (Priyatama, 1993).

Abu batubara dapat dikategorikan menjadi dua jenis berdasarkan ukuran partikelnya yaitu abu dasar (*Bottom Ash*) yang memiliki ukuran relatif besar, dan abu terbang (*fly ash*) yang memiliki ukuran partikel lebih kecil dibandingkan abu dasar. Abu dasar merupakan *fly ash* yang tertinggal di dalam tungku pembakaran sebagai butiran debu padat dengan distribusi ukuran 10-10.000 nm, karena ukuran abu dasar yang relatif besar ini sehingga tidak dapat terbawa oleh gas buang (Kurniawati, 2010).

#### 2.1.1 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*Fly ash*) adalah residu halus berupa padatan berwarna abu-abu terang yang dihasilkan dari pembakaran batubara. *Fly ash* ini merupakan salah satu sisa materi yang ada setelah semua materi pada batubara habis terbakar. *Fly ash* yang dihasilkan dari suatu pembangkit listrik kemudian dikeluarkan dari tungku pembakaran (*Furnace*) melalui pembangkit uap (*boiler*) oleh aliran gas buang kemudian ditangkap oleh presipitator elektrostatik agar tidak berterbangan di udara (Jumaeri, *et al.*, 2009).

Komposisi kimia *fly ash* bergantung pada komponen mineral yang ada pada batubara dan proses pembakaran. Komponen mineral saat proses pembakaran

membentuk sisa abu yang tersebar pada *Fly ash* dan abu dasar, selain itu juga menjadi gas yang terbuang ke atmosfer (Jumaeri, 1995).

Komposisi kimia unsur-unsur utama *fly ash* dibedakan menjadi tiga kelompok antara lain oksida logam asam yaitu silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ). Oksida logam basa yaitu fero oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), dan alkalin ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ). Senyawa-senyawa lain yang terkandung dalam abu terbang yaitu sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), fosfor oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), dan karbon (Mattigold, *et al.*, 1990). Sifat-sifat fisik dari *Fly ash* yaitu berupa serbuk halus yang ringan berwarna abu-abu terang dengan titik leleh di atas  $1400^\circ\text{C}$ , massa jenis  $2.05\text{-}2.8\text{ g/cm}^3$ , dan tidak larut dalam air (Jumaeri, *et al.*, 2009). Abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous memiliki ukuran partikel lebih kecil dari  $0,075\text{ mm}$ . Massa jenisnya berkisar antara  $2100$  sampai  $3000\text{ kg/m}^3$  dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara  $170$  sampai  $1000\text{ m}^2/\text{kg}$ , sedangkan ukuran partikel rata-rata *Fly ash* batubara jenis sub-bituminus yaitu berkisar antara  $0,01\text{mm}$ – $0,015\text{ mm}$  dengan luas permukaan  $1\text{-}2\text{ m}^2/\text{g}$ , dan massa jenis  $2,2 - 2,4$  (Nck, 2016).

Pada penelitian ini digunakan *fly ash* dari PLTU Paiton Kabupaten Probolinggo. Komposisi *fly ash* dapat dilihat pada table 2.2 di bawah ini :

Tabel 2.1 Komposisi *fly ash* PLTU Paiton Kabupaten Probolinggo

No	Senyawa	Satuan	Komposisi
1	$\text{SiO}_2$	%	30,25-36,83
2	$\text{Al}_2\text{O}_3$	%	14,52-23,78
3	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	%	13,46-19,94
4	$\text{CaO}$	%	11,40-16,57
5	$\text{MgO}$	%	5,360-8,110
6	$\text{Mn}_2\text{O}_4$	%	0,140-0,480
7	$\text{Na}_2\text{O}$	%	0,250-0,740
8	$\text{K}_2\text{O}$	%	0,630-1,320
9	$\text{TiO}_2$	%	0,830-1,050
10	$\text{SO}_3$	%	3,010-7,280
11	$\text{P}_2\text{O}_5$	%	0,630-3,750

(Sumber : PJB Paiton, 2002).

## 2.2 Silika

Silika adalah senyawa kimia yang memiliki rumus molekul  $\text{SiO}_2$  (silikon dioksida). Silika dapat diperoleh dari silika mineral, nabati dan dari sintesis kristal. Silika mineral adalah senyawa yang banyak ditemui dalam bahan tambang/galian yang berupa mineral seperti pasir kuarsa, granit, dan feldspar yang mengandung kristal-kristal silika ( $\text{SiO}_2$ ) (Della, *et al.*, 2002). Silika dengan struktur kristal tridimit dapat diperoleh dengan cara memanaskan pasir kuarsa pada suhu  $870^\circ\text{C}$  dan bila pemanasan dilakukan pada suhu  $1470^\circ\text{C}$  dapat diperoleh silika dengan struktur kristobalit (Cotton dan Wilkinson, 1989).

### 2.2.1 Sifat Fisika Silika ( $\text{SiO}_2$ )

Sifat fisika silika ( $\text{SiO}_2$ ) dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini :

Tabel 2.2 Karakteristik silika amorf

Nama lain	Silikon Dioksida
Rumus Molekul	$\text{SiO}_2$
Berat Jenis ( $\text{g/cm}^3$ )	2,6
Bentuk	Padat
Daya larut dalam air	Tidak larut
Titik cair ( $^\circ\text{C}$ )	1610
Titik didih ( $^\circ\text{C}$ )	2230
Kekerasan ( $\text{Kg/mm}^2$ )	650
Kekuatan tekuk (Mpa)	70
Kekuatan tarik (Mpa)	110
Modulus elastisitas (Gpa)	73 - 75
Resistivitas (m)	$>10^{14}$
Koordinasi geometri	Tetrahedral
Struktur kristal	Kristobalit, Tridimit, Kuarsa

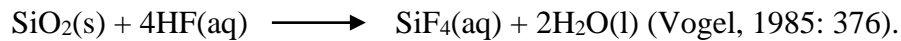
(Sumber : Surdia dan Saito, 2000).

### 2.2.2 Sifat Kimia Silika ( $\text{SiO}_2$ )

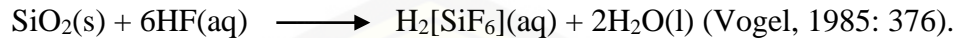
#### a. Reaksi Asam

Silika tidak reaktif terhadap asam kecuali terhadap asam hidrofiorida

dan asam fosfat :



Reaksi silika terhadap asam fluorida berlebih yaitu :



#### b. Reaksi Basa

Silika dapat bereaksi dengan basa, terutama dengan basa kuat seperti alkali hidroksida:



### 2.3 Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) merupakan material keramik nonsilikat yang memiliki titik leleh pada  $2051^\circ\text{C}$ . Alumina mempunyai ketahanan listrik yang tinggi, tahan terhadap termal dan korosi. Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dapat diperoleh dari pengolahan biji bauksit yang mengandung 50-60%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 1-20%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 1-10% silika; sedikit sekali titanium, zirkonium dan oksida logam transisi lain; dan sisanya (20-30%) adalah air (Oxtoby, *et al.*, 2003).

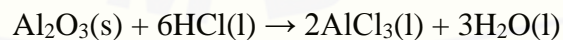
Sifat kimia alumina antara lain :

#### a. Reaksi dengan air

Alumina tidak dapat bereaksi dengan air secara sederhana dan tidak dapat larut dengan air.

#### b. Reaksi dengan asam

Alumina dapat bereaksi dengan asam karena mengandung ion oksida seperti asam klorida encer yang panas menghasilkan larutan aluminium klorida.



#### c. Reaksi dengan basa

Alumina juga dapat bereaksi dengan basa seperti natrium hidroksida. Pada reaksi ini alumina bertindak sebagai asam. Larutan natrium hidroksida pekat yang panas dapat mereaksikan aluminium oksida menghasilkan larutan natrium tetrahidroksoaluminat yang tidak berwarna.





(Fitri, 2013).

#### 2.4 Zeolit

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensinya. Nama zeolit berasal dari bahasa Yunani yaitu *Zeo* yang artinya mendidih dan *lithos* yang artinya batuan. Hal ini menurut Constedt, penemu zeolit pertama di dunia yaitu *stilbite* tahun 1756 sesuai dengan sifatnya yaitu dapat mendidih dan mengeluarkan uap jika dipanaskan karena kehilangan air dengan sangat cepat (Milton, 1989).

Zeolit memiliki struktur berongga atau berpori yang mempunyai sisi aktif bermuatan negatif yang dapat mengikat kation secara lemah untuk menyeimbangkan muatan dalam molekul tersebut. Zeolit terdiri dari gugusan tetrahedral alumina dan silika-oksida yang saling dihubungkan oleh atom oksigen sedemikian rupa sehingga membentuk kerangka tiga dimensi (Fitriyana, 2012).

Zeolit secara empiris dapat dinyatakan dengan rumus molekul sebagai berikut :



dimana :

M = unsur logam alkali atau alkali tanah

n = valensi dari unsur logam alkali atau alkali tanah

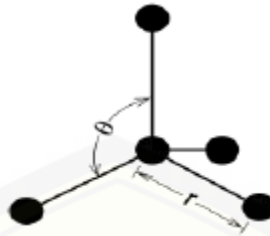
x,y = total jumlah tetrahedral per satu unit sel

w = jumlah molekul air yang terkandung dalam rongga zeolit

[ ] = struktur kerangka alumina silikat

(Ulfah, *et al.*, 2006).

Struktur dasar dari zeolit yang terdiri dari gugus alumina maupun silika berupa struktur tetrahedral  $\text{TO}_4$ , dimana T adalah kation Si atau Al yang terikat dengan 4 atom oksigen. Kerangka zeolit memiliki rongga-rongga yang berisi ion-ion logam yang umumnya adalah logam-logam alkali atau alkali tanah (terutama Ca dan Na) dan molekul air yang dapat bergerak bebas di dalam rongga zeolit.



Gambar 2.1 Struktur tetrahedron zeolit

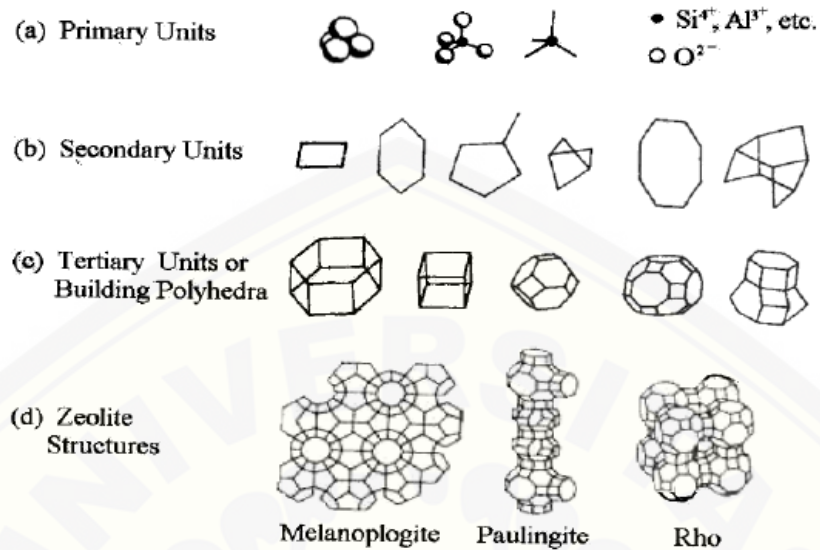
Tetrahedral dapat diatur untuk membentuk struktur kristal berpori yang berbeda. Setiap oksigen dibagi antara dua tetangga tetrahedral membentuk suatu unit kompleks.



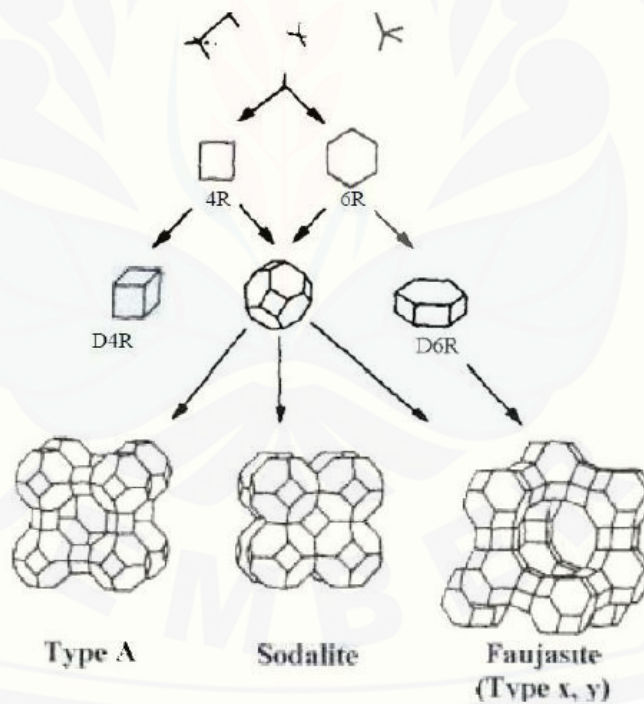
Gambar 2.2 Oksigen yang berada diantara dua tetangga tetrahedral

Panjang ikatan antara atom T dengan oksigen sangat berpengaruh terhadap fleksibilitas struktur tetrahedral yang dihasilkan. Kerangka zeolit dibangun dari beberapa struktur tetrahedral. Struktur tetrahedral tersebut dibentuk oleh oksigen dengan kation logam (T-O-T), oleh karena itu sudut ikatan T-O-T harus cukup fleksibel. Fleksibilitas sudut T-O-T menunjukkan derajat kebebasan yang memungkinkan dalam pembentukan zeolit dengan berbagai kerangka (Auerbach, *et al.*, 2003).

Suatu struktur tetrahedral yang digabungkan dengan tetrahedral yang lain dapat membentuk suatu cincin tetrahedral yang disebut dengan tetrahedra *n-ring* dengan *n* merupakan jumlah dari tetrahedral dalam satu cincin. Cincin yang paling umum ditemukan mengandung 4, 5, 6, 8, 10 atau 12 tetrahedra. *n-ring* yang saling berikatan satu sama lain akan menghasilkan unit polihedra dan unit inilah yang akan berkembang menghasilkan struktur zeolit (Auerbach, *et al.*, 2003).



Gambar 2.3 Gambar perkembangan stuktur zeolit



Gambar 2.4. Gambar perbedaan struktur tiga jenis zeolit

Zeolit dibedakan menjadi dua yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis. Terdapat 46 mineral zeolit alam dan lebih dari 150 zeolit sintetis yang dikenal dalam literatur

dengan berbagai karakter yang menjadi ciri khas. Karakteristik struktur zeolit secara umum antara lain:

- a. Zeolit sangat berpori karena kristal zeolit merupakan kerangka yang terbentuk dari jaring tetrahedral  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  (Byrappa, 2013). Ukuran pori zeolit sangat kecil yaitu berkisar antara 0,3-0,9 nm dan distribusinya juga seragam sehingga dapat secara selektif mengadsorpsi atau menolak molekul berdasarkan ukuran molekulnya yang dikenal dengan sifat *molecular sieve zeolite*. Pori-pori zeolit berukuran molekul karena terbentuk dari tumpukan *n-ring* beranggotakan 6, 8, 10, atau 12 tetrahedral (Byrappa, 2013).
- b. Zeolit merupakan padatan asam yang disebabkan oleh adanya situs asam, baik asam bronsted maupun lewis. Keasaman zeolit dapat ditentukan berdasarkan rasio Si/Al. Semakin besar rasio Si/Al maka sifat asamnya semakin kuat (Gates, 1992).
- c. Zeolit dapat menukarkan kation karena perbedaan muatan  $\text{Al}^{3+}$  dan  $\text{Si}^{4+}$  membuat atom Al dalam kerangka zeolit menjadi bermuatan negatif dan membutuhkan kation penetral (Byrappa, 2013).
- d. Zeolit mempunyai sifat dehidrasi yaitu melepaskan molekul  $\text{H}_2\text{O}$  apabila dipanaskan. Molekul  $\text{H}_2\text{O}$  dapat dikeluarkan secara reversibel (Putra, 2003).

#### 2.4.1 Zeolit Alam

Zeolit alam sudah banyak dimanfaatkan misalnya digunakan untuk pupuk, penjernihan air, dan diaktifkan untuk dimanfaatkan sebagai katalis dan adsorben (Ulfah, *et al.*, 2006).

Zeolit alam dapat terbentuk dari beberapa fenomena alam yaitu:

- a. Kristal yang dihasilkan dari proses hidrotermal di alam atau aktivitas sumber air panas, termasuk reaksi antara lautan dan aliran lava dengan batuan basalt
- b. Endapan yang terbentuk dari sedimentasi vulkanis pada sistem yang melibatkan alkali

- c. Formasi dari sistem danau air tawar atau air bawah tanah yang terjadi pada sedimentasi vulkanis
- d. Endapan yang terbentuk dari material vulkanis pada alkali tanah
- e. Endapan yang dihasilkan dari hidrotermal atau perubahan temperatur rendah dari sedimentasi laut.

Fenomena-fenomena di atas terjadi pada sistem terbuka dan dalam skala yang lebih besar dan dipengaruhi oleh beberapa variabel antara lain seperti tekanan, suhu, dan waktu (Byrappa, 2013).

#### 2.4.2 Zeolit Sintetis

Zeolit sintetis mempunyai sifat fisik yang jauh lebih baik dibandingkan dengan zeolit alam, tetapi mineral zeolit yang dibuat tidak akan sama persis dengan mineral zeolit alam (Rodhie, 2006). Zeolit sintetis dibuat pada sistem tertutup. Sintesis zeolit pada laboratorium telah dilakukan dengan menduplikasi kondisi seperti pada proses pembentukan zeolit alam, kecuali waktu dimana pada pembentukan zeolit alam membutuhkan waktu sekitar 1000 tahun atau lebih. Kondisi yang diterapkan di laboratorium yaitu suhu yang lebih tinggi dibandingkan pada proses pembentukan zeolit alam agar menghasilkan kristal yang lebih kecil (Byrappa, 2013).

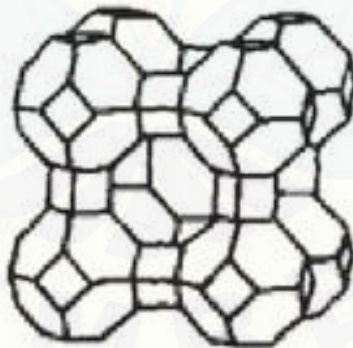
Zeolit sintetis terbentuk ketika gel yang ada terkristalisasi dimulai pada temperatur kamar sampai 200°C. Zeolit dibentuk dalam kondisi hidrotermal dari gel aluminasilika dan logam sebagai kation. Komposisi alumina dan silika, sifat fisik dan kimia reaktan, jenis kation, dan kondisi kristalisasi sangat berpengaruh terhadap struktur zeolit yang diperoleh. Zeolit sintetis dibuat sedemikian rupa sehingga diperoleh karakteristik zeolit yang mirip dengan zeolit alam. Zeolit seperti yang telah disebutkan sangat bergantung pada komposisi alumina dan silika, sehingga zeolit sintesis dikelompokkan menjadi 3, yaitu:

- a. Zeolit sintetis dengan kadar Si rendah. Zeolit jenis ini banyak mengandung Al, berpori, mempunyai nilai ekonomi tinggi karena efektif untuk pemisahan atau pemurnian dengan kapasitas besar. Volume pori zeolit ini dapat mencapai 0,5 dari

volume zeolit itu sendiri. Kadar maksimum Al dicapai jika perbandingan Si/Al mendekati 1 dan keadaan ini mengakibatkan daya penukaran ion maksimum

- b. Zeolit dengan kadar Si sedang. Zeolit ini mempunyai perbandingan kadar Si/Al 2 sampai 5. Kerangka tetrahedral Al dari zeolit jenis ini tidak stabil terhadap asam dan panas, tetapi masih ada zeolit yang mempunyai perbandingan Si/Al 5 yang sangat stabil yaitu zeolit modernit
- c. Zeolit dengan kadar Si tinggi. Zeolit ini mempunyai perbandingan Si/Al > 1, sangat higroskopis dan menyerap molekul nonpolar sehingga baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon misalnya ZSM-5, ZSM-11, ZSM-21, ZSM-24 (Byrappa, 2013).

Zeolit A adalah zeolit sintetis sederhana yang mempunyai struktur kerangka berbentuk kubus. Kerangka aluminosilikat dari zeolit A terdiri dari susunan oktahedral yang dihubungkan oleh 4 cincin rangkap. Zeolit A mempunyai rumus molekul  $\text{Na}_{12}[(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}] \cdot 27\text{H}_2\text{O}$ . Kerangka zeolit A mempunyai rongga dengan diameter  $11,4 \text{ \AA}$  serta distribusi Si dan Al (Si/Al) adalah 1. Zeolit A mempunyai struktur LTA (Linde Tipe A) (Wongwiwattama, 2002).



Gambar 2.5 Kerangka Struktur Zeolit A (Sumber: Byrappa, 2013).

Pengolahan zeolit secara garis besar dapat dibagi dalam dua tahap yaitu preparasi dan aktivasi :

- a. Tahap preparasi berupa pengecilan ukuran dan pengayakan

b. Aktivasi *Fly ash* dapat dilakukan dengan cara pemanasan, penambahan pereaksi kimia baik asam maupun basa, aktivasi secara hidrotermal atau dengan peleburan alkali.

1) Proses hidrotermal yaitu suatu reaksi heterogen dengan kehadiran pelarut berupa larutan atau suatu *mineralizer* di bawah temperatur dan tekanan tinggi untuk melarutkan dan merekristalisasi bahan-bahan yang tidak dapat larut dibawah kondisi normal (Byrappa, 2013).

Zeolit disintesis dari larutan silika dan alumina yang mengandung alkali hidroksida atau basa-basa organik untuk mencapai pH yang tinggi. Suatu gel silika alumina akan terbentuk melalui reaksi kondensasi. Zeolit dengan kandungan silika rendah dapat dikristalkan pada temperatur 70-100°C, sedangkan zeolit yang kaya silika sebagian besar hasil hidrotermalnya adalah gel yang selanjutnya ditempatkan di dalam autoklaf selama beberapa hari. Produk zeolit dengan komposisi ini akan terbentuk pada suhu antara 100-350°C (Schubert dan Husing, 2000).

2) Proses peleburan alkali yaitu proses sintesis zeolit dengan suhu tinggi antara 450-600°C selama 1-3 jam atau tergantung suhu yang digunakan. Proses ini dilakukan untuk memisahkan Si terlarut dari campuran padatan *Fly ash* dan NaOH (alkali) diikuti dengan penambahan Al dari sumber lain untuk preparasi larutan gel sesuai rasio Si/Al yang diinginkan (Sudarno, 2008).

#### 2.4.3 Parameter-parameter dalam Sintesis Zeolit

Parameter-parameter yang mempengaruhi proses sintesis zeolit antara lain:

a. Komposisi Molar

Pengaruh komposisi molar masing-masing senyawa yang berperan dalam sintesis zeolit dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.3 Pengaruh Utama Komposisi Campuran Reaksi

Rasio	Pengaruh Utama
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Komposisi kerangka
$\text{H}_2\text{O}/\text{SiO}_2$	Laju, mekanisme kristalisasi
$\text{OH}/\text{SiO}_2$	Berat molekul silika, konsentrasi OH

(Sumber: Byrappa, 2013).

b. Waktu *Aging*

Salah satu tahapan penting yang terjadi saat *aging* adalah penghentian atau depolimerisasi silika sol yang didorong oleh kondisi alkali. *Aging* gel zeolit Na-A selama lebih dari 3 hari mengakibatkan konversi zeolit lebih cepat pada saat pemanasan dan ukuran kristal menjadi kecil. Waktu *aging* yang meningkat akan mengakibatkan jumlah inti kristal bertambah, sehingga ukuran rata-rata kristal akhirnya berkurang.

c. Keberadaan Air dalam Sintesis Zeolit

Air merupakan molekul tamu (*guest molecule*) yang penting di dalam struktur zeolit dengan kandungan Al yang tinggi, yang dapat menstabilisasi struktur zeolit. Air menstabilkan struktur zeolit dengan mengisi rongganya. Zeolit dengan kandungan silika yang tinggi memiliki sifat hidrofilik yang rendah. Struktur zeolit yang kaya akan silika dapat distabilisasi oleh molekul (*guest molecule*) organik tertentu yaitu amina, alkohol, dan amino-alkohol. Pada sistem hidrotermal, dengan kekuatan yang baik dari air sebagai pelarut dapat mendukung proses pencampuran, transport material, dan mampu memfasilitasi nukleasi dan pertumbuhan kristal (Byrappa, 2013).

d. Suhu dan Waktu

Suhu dan waktu memiliki pengaruh positif pada proses pembentukan zeolit. Kenaikan suhu akan meningkatkan laju nukleasi dan laju pertumbuhan kristal, karena itu kristalinitas sampel secara normal meningkat seiring waktu. Suhu juga mempengaruhi jenis produk yang terbentuk setelah kristalisasi. Kenaikan suhu akan menyebabkan kristalisasi produk menjadi lebih padat karena fraksi air dalam fase cair akan menurun (Byrappa, 2013).



e. Alkalinitas

Alkalinitas merupakan media yang memainkan peranan penting dalam pertumbuhan kristal. Kenaikan pH akan mempengaruhi laju kristalisasi. Peningkatan konsentrasi  $\text{OH}^-$  akan mempercepat pertumbuhan kristal. Kelarutan silika dan alumina akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi  $\text{OH}^-$  sehingga akan menyebabkan larutan menjadi lewat jenuh. Hal ini akan menyebabkan pembentukan inti yang besar (Byrappa, 2013).

f. *Templating*

*Templating* dalam sintesis zeolit mengacu pada pengisian ruang-ruang kosong dari struktur zeolit oleh kation organik/anorganik. *Template* digunakan sebagai struktur pengisi atau sebagai zat penstabil struktur. *Template* berkontribusi pada pembentukan kisi zeolit selama zeolitisasi dengan mempengaruhi proses *gelation* atau nukleasi, dan menurunkan potensial kimia pembentukan kisi oleh inklusi *template* tersebut selama proses sintesis. *Templating* berkontribusi terhadap stabilitas struktur melalui interaksinya (interaksi ikatan hidrogen, elektrostatik maupun dispersi London) dan dapat mengontrol pembentukan topologi tertentu melalui geometrinya (bentuk dan ukuran). Selain itu perubahan dalam kepadatan kation dipengaruhi oleh sifat fisik dari *template* yang akan tercermin dalam komposisi kimia Si/Al. Pemilihan *template* mempertimbangkan potensi *template* dalam proses zeolitisasi seperti kelarutan dalam larutan, stabilitas dalam kondisi sintesis, stabilitas kerangka, dan paling penting adalah kemampuan untuk menghapus *template* tanpa merusak kerangka (Byrappa, 2013).

g. Pertumbuhan Kristal

Agregasi-agregasi kecil prekursor akan membentuk suatu inti embrio yang tidak stabil, sehingga embrio-embrio tersebut akan bergabung untuk membentuk suatu inti yang lebih besar agar stabil. Hal ini memerlukan tambahan material yang lebih banyak untuk memperoleh inti yang stabil tersebut dan akan menghasilkan kristalit yang lebih besar. Sintesis zeolit pada suhu sekitar  $100^\circ\text{C}$  biasanya menghasilkan kristal dengan ukuran  $0,1\text{-}10\mu\text{m}$ . Ukuran kecil menunjukkan bahwa pengintian terbentuk secara cepat (Byrappa, 2013).

Pengintian terjadi ketika larutan mencapai lewat jenuh dan dikatakan berhasil apabila terjadi pertumbuhan kristal, yaitu inti atom akan tumbuh sebesar penambahan atau kondensasi jenis bahan yang digunakan kearah pembentukan kristal dewasa. Di antara semua kelompok material zeolit, hanya sodalit yang diperoleh sebagai kristal tunggal. Sodalit merupakan material tuan rumah (*host molecule*) yang penting untuk menciptakan susunan kerangka dari berbagai jenis zeolit sintesis. Keberadaan sodalit merupakan suatu indikasi terbentuknya zeolit A karena sodalit merupakan unit penyusun dari zeolit A dan jenis zeolit lainnya (Byrappa, 2013).

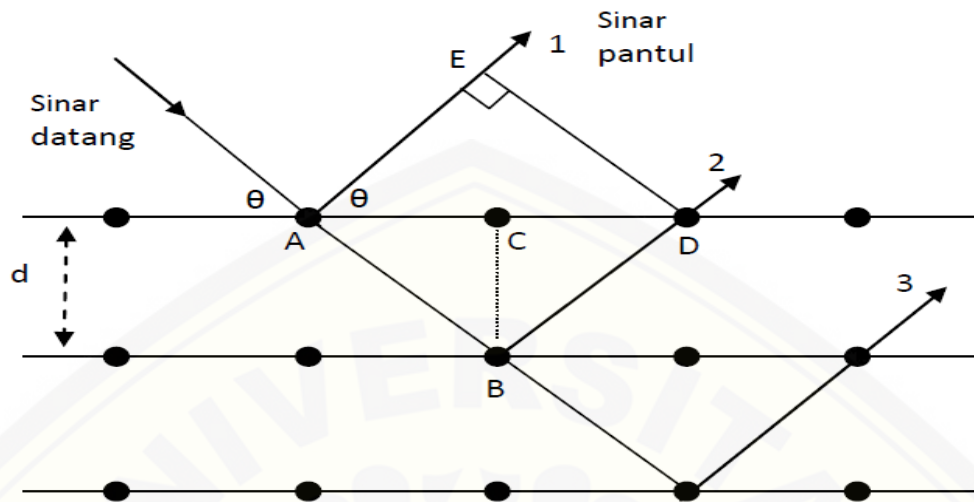
## 2.5 X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar X merupakan salah satu metode karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga saat ini. Metode ini dapat digunakan untuk analisa kualitatif dan kuantitatif. Pola difraksi memberikan informasi mengenai ukuran dan bentuk unit sel dari posisi puncak yang dihasilkan dan kerapatan elektron suatu atom dalam unit sel berdasarkan intensitas puncak. Dasar dari difraksi sinar X yaitu persamaan Bragg:

$$n.\lambda = 2.d.\sin \theta ; n = 1,2, \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar X yang digunakan,  $d$  adalah jarak antara dua bidang kisi,  $\theta$  adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan  $n$  adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan (Theivasanti, 2008).

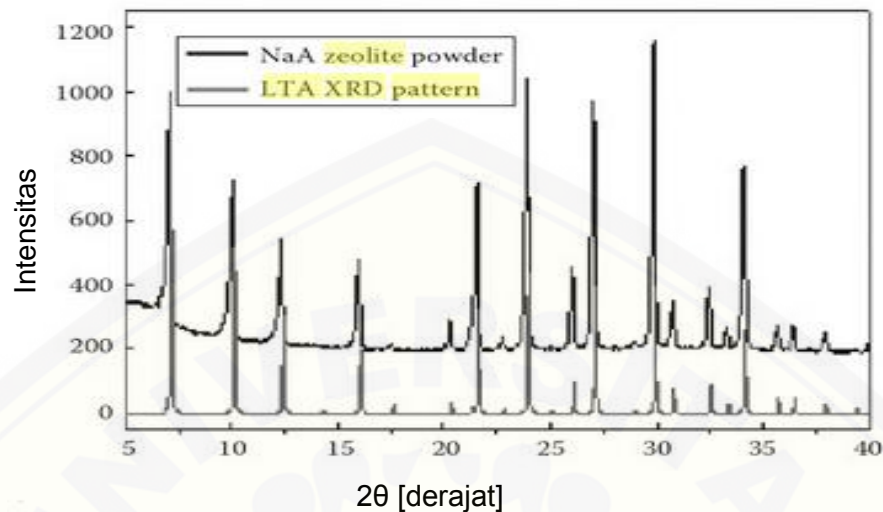
Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi yaitu sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Sinar X juga dapat terbentuk melalui proses perpindahan elektron dalam suatu atom dari tingkat energi tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah. Sinar X yang terbentuk melalui proses ini memiliki energi yang sama dengan selisih energi antara kedua tingkat energi elektron tersebut. Setiap jenis atom memiliki tingkat energi yang berbeda-beda sehingga sinar X yang dihasilkan juga berbeda atau memiliki karakteristik yang disebut sinar X karakteristik (Jamaluddin, 2010).



Gambar 2.6 Pantulan Sinar X Pada Bidang Kristal (Sumber: Mukti, 2012).

Sinar X karakteristik terjadi karena elektron yang berada pada kulit K mendapatkan energi yang menyebabkan ia terlepas dari orbitnya sehingga orbital tersebut mengalami kekosongan. Kekosongan pada kulit K ini akan segera diisi oleh elektron yang berada pada kulit lebih luar, jika kekosongan tersebut diisi oleh elektron dari kulit L maka sinar X yang dipancarkan saat proses perpindahan elektron tersebut dinamakan sinar X karakteristik  $K_{\alpha}$  dan jika kekosongan tersebut diisi oleh elektron yang berasal dari kulit M maka akan dipancarkan sinar X karakteristik  $K_{\beta}$  (Jamaluddin, 2010).

Sinar X awal yang digunakan dalam metode ini dihasilkan dari penembakan logam anoda oleh suatu elektron berenergi tinggi yang berasal dari filamen (katoda) yang dipanaskan. Filamen ini berperan sebagai sumber elektron, selain itu terdapat ruang vakum yang berfungsi sebagai pembebas hambatan (Jamaluddin, 2010).



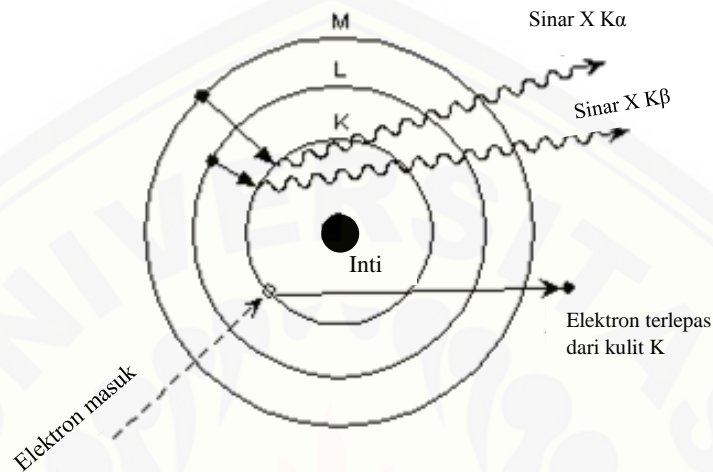
Gambar 2.7 Contoh Difraktogram Zeolit A (Sumber: Pabby, *et al.*, 2015)

## 2.6 X-Ray Fluorescence (XRF)

Fluoresensi sinar X merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis unsur-unsur yang terdapat dalam suatu sampel. Metode ini dapat digunakan untuk analisis kuantitatif maupun kualitatif. Analisa kualitatif memberikan informasi mengenai jenis-jenis unsur yang terdapat dalam sampel yang ditunjukkan dengan spectrum unsur pada energi sinar X karakteristiknya. Analisa kuantitatif memberikan informasi mengenai kadar unsur yang terkandung dalam sampel yang ditunjukkan dengan intensitas puncak spektrum (Jamaludin dan Adiantoro, 2012).

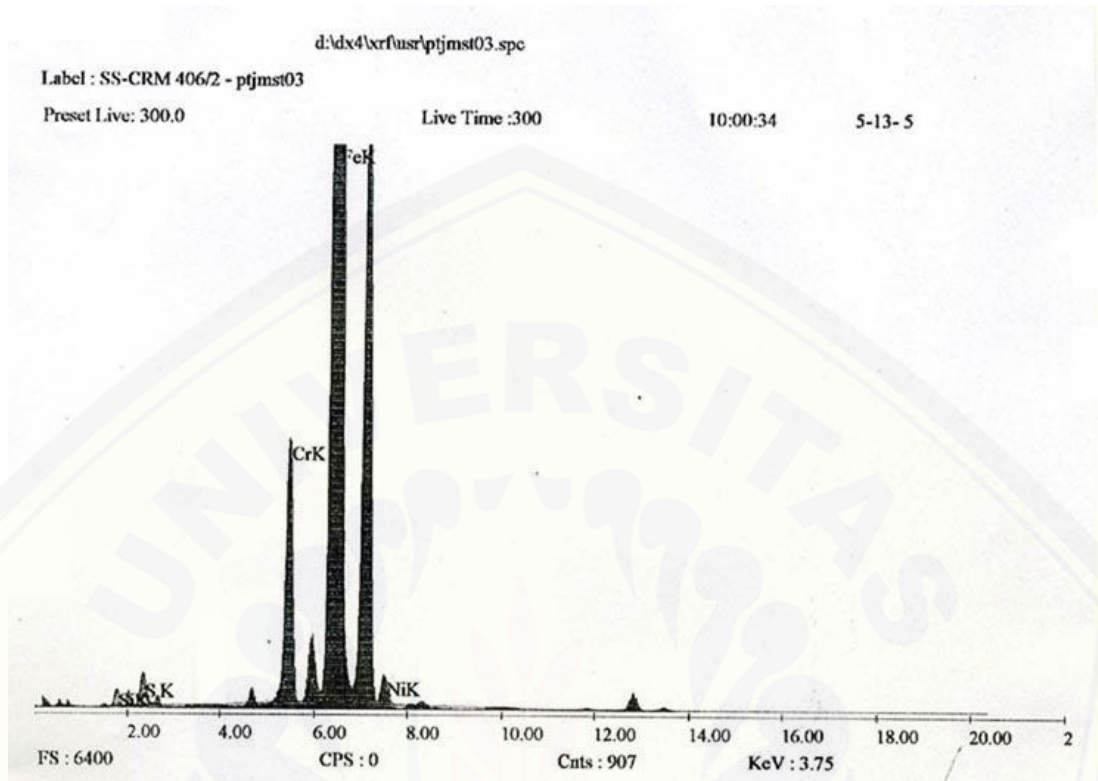
Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan pencacahan sinar X karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena sinar berenergi tinggi yaitu sinar X yang berasal dari unsur radioisotop yang menyebabkan elektron pada atom target akan terlepas dari orbitalnya sehingga orbital tersebut akan mengalami kekosongan. Kekosongan ini akan diisi oleh elektron dari orbital lebih luar. Perpindahan elektron tersebut diikuti dengan pelepasan energi berupa sinar X. Spektrum sinar X yang dihasilkan tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom suatu

sampel. Spektrum ini disebut sebagai spektrum sinar X karakteristik (Jamaludin dan Adiantoro, 2012).



Gambar 2.8 Ilustrasi Terjadinya Sinar X Karakteristik (Sumber: Sari, 2015).

Prinsip kerja alat XRF yaitu sinar X fluoresensi yang dipancarkan oleh sampel dihasilkan oleh penyinaran sampel dengan sinar X primer dari tabung sinar X yang dibangkitkan dengan energi listrik dari sumber tegangan 1200 volt. Sinar radiasi yang mengenai sampel akan menyebabkan elektron pertama dalam sampel tersebut terlepas sehingga elektron lain akan mengalami eksitasi ke orbital dengan tingkat energi yang lebih rendah dimana elektron pertama tersebut terlepas. Proses eksitasi tersebut diikuti dengan pelepasan sinar X karakteristik yang kemudian ditangkap oleh detektor Silikon Litium dan diubah ke dalam sinyal tegangan, kemudian diperkuat oleh *preamp* dan dimasukkan ke dalam *analyzer* untuk diolah datanya (Jamaludin dan Adiantoro, 2012).



Gambar 2.9 Contoh Spektrum Hasil XRF (Sumber : Jamaludin dan Adiantoro, 2012).

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2016 hingga Desember 2016 di Laboratorium Kimia Organik dan Laboratorium Kimia Dasar Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember. Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS, dan karakterisasi *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan di Laboratorium MIPA Terpadu FMIPA UNS.

#### 3.2 Alat dan Bahan

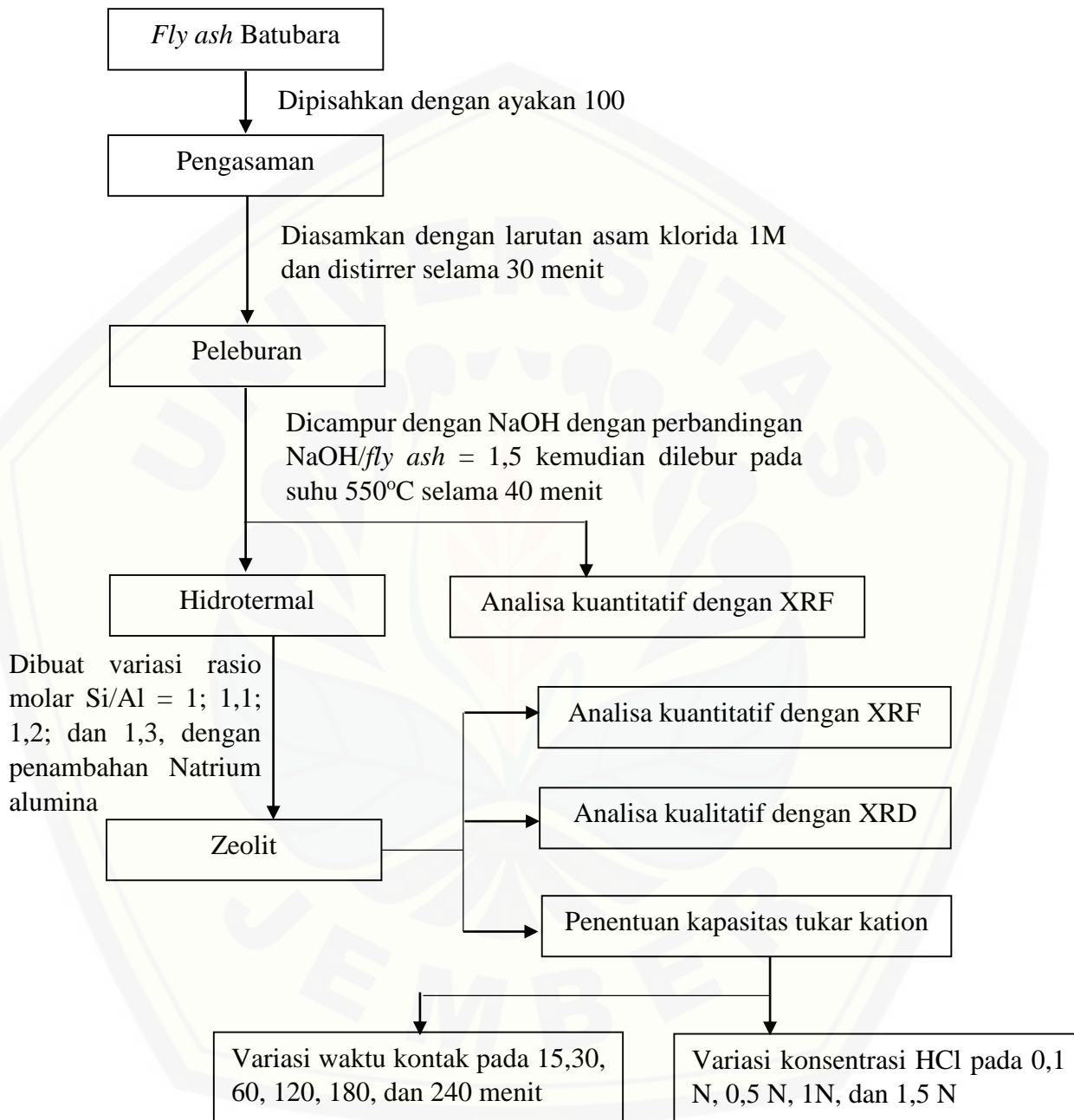
##### 3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas, mortar dan *pestle*, kertas saring *whatman* No. 41 dan kertas saring halus, autoklaf, oven, ayakan 100 mesh, *magnetic stirrer*, neraca analitik, indikator pH universal, *Muffle furnace*, *X-Ray Fluorescence* (XRF) merk Bruker S2 Ranger, *X-Ray Diffraction* (XRD) merk Philip Analytical X-Ray.

##### 3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *fly ash* PLTU Paiton, padatan NaOH p.a (merck), padatan Al(OH)<sub>3</sub> p.a (merck), HCl p.a 37% (merck), padatan NaCl p.a (merck), padatan fenolftalein p.a (merck), etanol p.a 96% (merck), aquademin, aquades, dan padatan asam oksalat p.a (merck).

### 3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Pembuatan Larutan-larutan

##### a. Pembuatan Larutan HCl 1M

Larutan HCl 1M dibuat dengan mengencerkan larutan HCl 37%. HCl 37% sebanyak 8,3 mL (Lampiran 3.1) dipipet menggunakan pipet mohr 10 mL kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL yang telah berisi sedikit aquademin kemudian ditambahkan dengan aquademin sampai tanda batas.

##### b. Pembuatan Larutan NaOH 5M

Larutan NaOH 5M dibuat dengan menimbang sebanyak 9,995 gram (Lampiran 3.2) padatan NaOH p.a, dimasukkan ke dalam beker glass 100 mL dan dilarutkan dengan sedikit aquademin. Larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL kemudian ditambahkan aquademin sampai tanda batas.

##### c. Pembuatan Larutan NaOH 1N

Larutan NaOH 1N dibuat dengan menimbang sebanyak 4 gram (Lampiran 3.3) padatan NaOH, dimasukkan ke dalam beker glass 100 mL dan dilarutkan dengan sedikit aquademin. Larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL kemudian ditambahkan aquademin sampai tanda batas.

##### d. Pembuatan Larutan Asam Oksalat 1N

Larutan asam oksalat 1N dibuat dengan menimbang sebanyak 6,1 gram  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Lampiran 3.4) kemudian dimasukkan ke dalam beker glass 100 mL, dilarutkan dengan sedikit aquademin dan diaduk. Larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, ditambahkan dengan aquademin sampai tanda batas.

##### e. Pembuatan Indikator Fenolftalein 0,03 M

Sebanyak 0,5 gram fenolftalein p.a (Lampiran 3.5) dimasukkan ke dalam beker glass 100 mL, dilarutkan dengan 10 mL etanol 95 % kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan dengan aquades sampai tanda batas. Larutan disimpan dalam botol bahan.

### 3.4.2 Sintesis dan Karakterisasi Zeolit A

#### a. Preparasi Sampel

Sampel *fly ash* sebanyak 200 g digerus kemudian disaring dengan saringan 100 mesh (Kurniawati, 2010). *Fly ash* dicuci dengan HCl 1M sebanyak 200 mL pada suhu ruang selama 30 menit. *Fly ash* yang telah diasamkan kemudian dicuci dengan aquademin hingga pH menjadi netral (Kurniawati, 2010), yang dikontrol dengan menggunakan indikator pH universal.

#### b. Peleburan Alkali

*Fly ash* batubara hasil pengasaman dicampur dengan NaOH dalam cawan nikel dengan perbandingan NaOH/ *fly ash* = 1,5. Campuran tersebut dipanaskan dalam *muffle furnace* pada suhu 550°C selama 40 menit (Moises, *et al.*, 2013). Campuran hasil proses *furnace* diambil sebanyak 5 gram untuk dianalisis dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui kandungan Si dan Al. Campuran kemudian didinginkan, digerus dan dibuat suspensi dengan penambahan aquademin 12 mL/gram *fly ash* (Said dan Widiastuti, 2008), diikuti dengan pengadukan dengan laju 300 rpm selama 2 jam pada suhu kamar (Fitriyana dan Sulardjaka, 2012). Campuran kemudian disaring dan diambil ekstraknya sebagai supernatan. Supernatan tersebut selanjutnya dibuat *slurry* dengan variasi rasio molar Si/Al 1; 1,1; 1,2; dan 1,3 dengan penambahan Natrium alumina (Lampiran 3.6) sebagai sumber Al yang dibuat dengan mereaksikan Al(OH)<sub>3</sub> dengan NaOH 5M.

#### c. Proses Pembuatan Natrium Alumina

Natrium alumina dibuat dengan memasukkan Alumunium Hidroksida sedikit demi sedikit ke dalam larutan NaOH 5M 25 mL pada suhu 100°C kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 20 menit.

#### d. Proses Hidrotermal

*Slurry* yang telah dibuat dengan variasi rasio molar Si/Al pada prosedur sebelumnya dihidrotermal dalam autoklaf pada suhu 100°C selama 5 jam, selanjutnya difiltrasi dan dicuci dengan aquademin (Fitriyana dan Sulardjaka, 2012). Residu hasil

filtrasi dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C selama 30 menit kemudian ditimbang.

e. Karakterisasi Zeolit

Zeolit dari hasil sintesis dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffractometer* untuk mengidentifikasi struktur kristal dan kemurnian zeolit hasil sintesis, dan menggunakan *X-Ray Fluorescence* untuk mengetahui komposisi unsur-unsur dalam sampel zeolit A.

### 3.4.3 Penentuan Kapasitas Tukar Kation Zeolit A

a. Aktivasi zeolit A

15 gram zeolit dicampur dengan larutan NaCl 0,7N 87 mL di dalam beker glass 150 mL, dipanaskan hingga mencapai 90°C sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam, kemudian disaring dan dicuci dengan aquades. Zeolit dikeringkan dalam oven.

b. Standarisasi NaOH 1N

Sebanyak 10 mL larutan asam oksalat 1N dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan ditambahkan dengan 5 tetes fenolftalein. Larutan NaOH 1N dimasukkan ke dalam buret 25 mL sampai tanda batas. Titrasi dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dan dicatat masing-masing volume NaOH yang diperlukan untuk menitrasi larutan asam oksalat (Widianti, 2006).

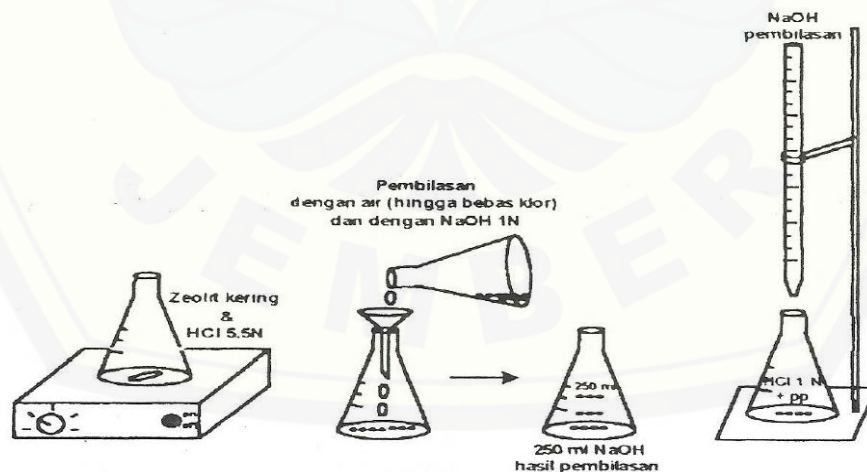
c. Optimasi waktu kontak

Zeolit A yang telah diaktivasi diuji kapasitas tukar kationnya dengan menggunakan metode titrimetri asam-basa (Widianti, 2006). Sebanyak 1 gram zeolit dimasukkan ke dalam Erlenmeyer kemudian ditambahkan dengan 10 mL HCl 1N, di stirrer menggunakan stirrer magnetik dengan variasi waktu 15; 30; 60; 120; 180; dan 240 menit. Masing-masing campuran kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring, kemudian dicuci dengan aquades hingga tidak ada lagi kandungan klor yang diidentifikasi menggunakan indikator  $\text{AgNO}_3$  0,1N. Larutan hasil pencucian dipindahkan. Pencucian kembali dilakukan dengan 250 mL NaOH 1N yang telah

distandarisasi oleh asam oksalat. Hasil pencucian ditampung. Larutan tersebut kemudian dituangkan ke dalam buret 25 mL. Sebanyak 10 mL HCl 1N dituangkan ke dalam erlenmeyer kemudian ditambahkan dengan 5 tetes indikator fenofalein yang selanjutnya dititrasi dengan larutan hasil pembilasan (Widianti, 2006). Titrasi dilakukan sebanyak tiga kali.

d. Optimasi Konsentrasi HCl

Sebanyak 1 gram zeolit dimasukkan ke dalam Erlenmeyer kemudian ditambahkan dengan 10 mL HCl dengan variasi konsentrasi yaitu 0,1; 0,5; 1; dan 1,5N diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan waktu optimum. Masing-masing campuran kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring, kemudian dicuci dengan aquades hingga tidak ada lagi kandungan klor yang diidentifikasi menggunakan indikator  $\text{AgNO}_3$  0,1N. Larutan hasil pencucian dipindahkan. Pencucian kembali dilakukan dengan 250 mL NaOH 1N yang telah distandarisasi oleh asam oksalat. Hasil pencucian ditampung. Larutan tersebut kemudian dituangkan ke dalam buret 25 mL. Sebanyak 10 mL HCl 1N dituangkan ke dalam Erlenmeyer kemudian ditambahkan dengan 5 tetes indikator fenofalein yang selanjutnya dititrasi dengan larutan hasil pembilasan (Widianti, 2006). Titrasi dilakukan sebanyak tiga kali.



Gambar 3.2. Skema alat dan proses penentuan KTK (Sumber : Widianti, 2006).

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu :

1. Zeolit A terbaik dihasilkan pada rasio Si/Al = 1,24 berdasarkan hasil XRD. Pada rasio Si/Al = 1,27-1,35 terbentuk puncak hidroksi sodalit pada sudut  $2\theta = 13,9678^\circ$ . Rasio Si/ Al semakin meningkat, intensitas puncak hidroksi sodalit semakin tinggi. Sementara berdasarkan hasil XRF keempat sampel zeolit masih mengandung logam-logam pengotor dengan kandungan terbesar pada rasio Si/Al = 1,35 dan terkecil pada rasio Si/Al = 1,24.
2. Waktu optimum yang diperlukan dalam penetapan kapasitas tukar kation untuk menghasilkan nilai KTK terbesar yaitu pada waktu 120 menit, sedangkan konsentrasi optimum untuk larutan HCl yaitu sebesar 1M.

### 5.2 Saran

Saran pada penelitian ini yaitu :

1. Perlu dilakukan karakterisasi menggunakan XRF pada zeolit A yang telah diaktivasi dengan NaCl untuk memastikan homogenitas zeolit yang dihasilkan.
2. Perlu dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR pada H-zeolit A setelah proses pertukaran kation untuk mengetahui banyaknya proton yang telah dipertukarkan dengan kation Na.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Auerbach, S. M., A. K. Carrado., dan P. K. Dutta., 2003, *Handbook Of Zeolite Science And Technology*. U.S.A: The Ohio State University Columbus Ohio.
- Byrappa, K. dan Yoshimura, M. 2013. *Handbook Of Hydrothermal Technology*. Second Edition. U.S.A: William Andrew.
- Chang, H. L dan W. H. Shih. 2000. Synthesis of zeolite A and X from fly ashes and their ion exchange behavior with cobalts ion. *Industrial and Engineering Chemical Research*. 39(11): 4185-4191.
- Chang, R. 2002. *General Chemistry*. Third Edition. New York: McGraw-Hill. Terjemahan oleh S. S. Achmadi. 2004. *Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti*. Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Cotton F.A dan G. Wilkinson. 1976. *Basic Inorganic Chemistry*. New York: Wiley. Terjemahan oleh S. Sunarto. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Jakarta: UI-Press.
- Della, V.P., I. Kuhnand, dan D. Hotza. 2002. Rice husk ash an alternate source for active silica production. *Materials Letters*. 57 (4): 818-821.
- Fitri, N. T. D. 2013. Ekstraksi dan Penentuan Kadar Ion Alumunium Hasil Ekstraksi dari Abu Terbang (*Fly ash*) Batubara. *Skripsi*. Jember: Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Fitriyana, D.F. dan Sulardjaka. 2012. Sintesis zeolit berbahan dasar limbah geotermal dengan metode hidrotermal. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS*. ISSN: 1412-9612: 42-46.
- Fitriyana, D. F. 2012. Pengaruh Temperatur Hidrotermal Terhadap Karakteristik Zeolit yang Disintesis dari Limbah Geotermal. *Skripsi*. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Gates, B.C. *Catalytic Chemistry*. New York: John Willey and Sons.
- Jamaludin, A dan D. Adiantoro. 2012. Analisis kerusakan X-Ray Fluorescence (XRF). *Jurnal Pusat Teknologi Bahan Bakar*. 137 (1): 401-409.
- Jamaluddin. 2010. XRD (*X- Ray Diffraction*). *Makalah Fisika Material*. Kendari: Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Haluoleo.

- Jumaeri. 1995. Studi tentang Pemanfaatan Fly ash sebagai Adsorben Zat Warna dalam Larutan Air. *Tesis*. Yogyakarta: Program Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada Yogyakarta.
- Jumaeri, Sutarno, Kunarti, dan Santosa. 2009. Pengaruh konsentrasi NaOH dan temperatur pada sintesis zeolit dari fly ash secara alkali hidrotermal. *Jurnal Zeolit Indonesia*. 8(1): 22-32.
- Kartika, S. E., A. Pujirahayu, dan H. Widodo. 2010. Modifikasi limbah fly ash sebagai adsorben zat warna tekstil congo red yang ramah lingkungan dalam upaya mengatasi pencemaran industri batik di Surakarta. *Proposal Lolos PKM DIKTI 2009*. 1(1): 1-17.
- Kurniawati, D. 2010. Sintesis Zeolit dari Fly ash Batubara Secara Hidrotermal Melalui Proses Peleburan dan Aplikasinya Untuk Penurunan Logam Cr (Krom) dalam Limbah Industri Penyamakan Kulit. *Skripsi*. Semarang: Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Kurniawan, R.Y dan Widiastuti, N. 2017. Sintesis zeolit A dari abu dasar batubara dengan pemisahan Fe dan Ca. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 6(1): C17-C20.
- Milton, R. 1989. Molecular sieve science and technology. *ACS Symposium Series*. Washington DC: American Chemical Society.
- Moises, Murilo P, et al. 2013. Synthesis of zeolite Na A from sugarcane bagasse ash. *Material Letters*. 108: 243-246.
- Mukti, K. 2012. XRD (*X-Ray Diffraction*). *Makalah Fabrikasi dan Karakterisasi*. Surakarta: Jurusan Fisika FKIP Universitas Sebelas Maret.
- Mutngimaturrohmah, Gunawan, dan Khabibi. 2003. Aplikasi zeolit alam terdealuminasi dan termodifikasi HDMTA sebagai adsorben fenol. *Seminar Tugas Akhir S1 Jurusan Kimia FMIPA UNDIP*. 1-7.
- Nck, Mheea. 2010. Pemanfaatan Abu Batubara. *Seputar Informasi tentang Tambang*. [www.pemanfaatan-abu-batubara.html](http://www.pemanfaatan-abu-batubara.html). [diakses pada 15 April 2016].
- Nikmah, R. A. S., N. Widiastuti, dan H. Fansuri. 2008. Pengaruh waktu dan perbandingan Si/Al terhadap pembentukan zeolit A dari abu dasar bebas karbon dari PLTU PT. IPMOMI dengan metode hidrotermal. *Jurnal Zeolit Indonesia*. 7(1): 42-52.

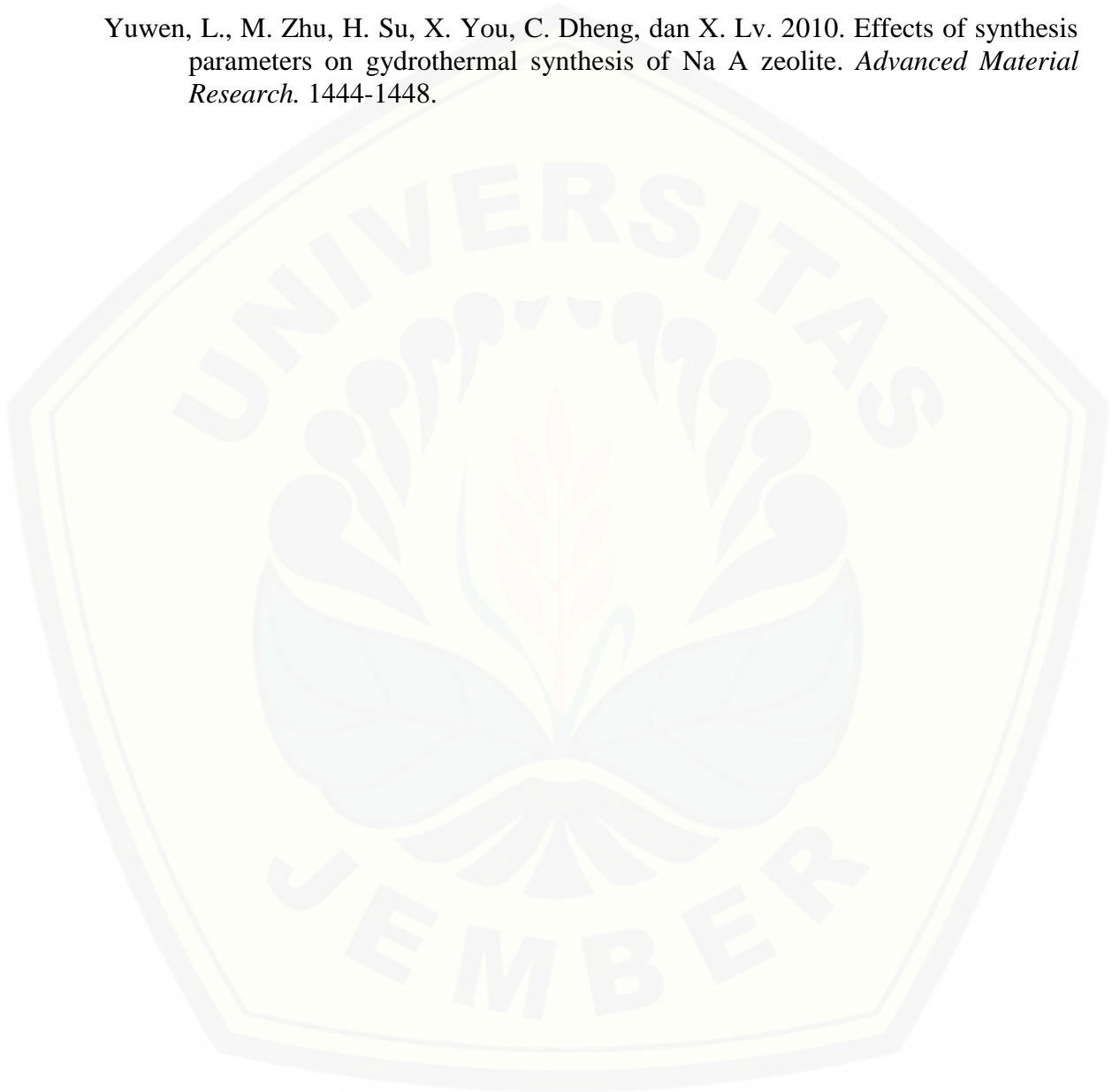
- Ojha, K., N. C. Pradhan, dan A. N. Samantha. 2004. Zeolite from fly ash: synthesis and characterization. *The Bulletin of Material Science*. 27(6): 555-564.
- Oxtoby, D. W., H. P. Gillis., dan N. H. Nachtrieb. 1999. *Principles of Modern Chemistry*. Fourth Edition. U.S.A: Harcourt, Inc. Terjemahan oleh S. S. Achmadi. 2001. *Prinsip-prinsip Kimia Modern*. Jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Pabby, A. K., S. S. H. Rizvi., dan A. M. Sastre. 2015. *Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food and Biotechnological Applications*. Second Edition. New York: CRC Press.
- PJB Paiton. 2002. *Material Safety Data Sheet*. Probolinggo: PT. Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Paiton.
- Prijatama, H. 1993. Fly ash dan Pemanfaatannya. *Makalah Seminar Nasional Batubara Indonesia*. Yogyakarta. 7 – 8 September 1993.
- Putra, S. E. 2003. Zeolit sebagai Mineral Serba Guna. *Skripsi*. Lampung: Universitas Lampung.
- Putra, R. P., F. Akbar, dan Zultiniar. 2014. Sintesa zeolit 4A dari kaolin menggunakan proses peleburan dengan variasi perbandingan volume reaktan. *Jurnal Online Mahasiswa Bidang Teknik dan Sains*. 1(1): 1-7.
- Said, N. F. dan N. Widiastuti. 2008. Adsorpsi Cu(II) pada zeolit A yang disintesis dari abu dasar batubara PT IPMOMI Paiton. *Jurnal Zeolit Indonesia*. 7(1): 1-11.
- Sari, Dian Novita. 2015. *Sinau XRF (X-Ray Fluorescence)*. <http://districtnopek.blogspot.co.id/2015/04/sinau-xrf-x-ray-fluorescence.html>. [diakses pada 15 April 2016].
- Schubert, U dan N. Husing. 2000. *Synthesis of Inorganic Materials*. Federal Republic of Germany: WILEY-VCH.
- Setiadi dan A. Pertiwi. 2007. Preparasi dan karakterisasi zeolit alam untuk konversi senyawa abu menjadi hidrokarbon. *Prosiding Konggres dan Simposium Nasional Kedua MKICS*. 8: 1-6.
- Shivpuri, K., B. Lokeshappa, D. Kulkarni, dan A. Dikshit. 2011, Metal leaching potential in coal fly ash. *American Journal of Environmental Engineering*. Vol 1(1): 21-27.



- Sholichah, F., Arnelli, dan A. Suseno. 2013. Pengaruh waktu hidrotermal pada sintesis zeolit dari abu sekam padi serta aplikasinya sebagai *builder* deterjen. *Chem Info*. 1(1): 121-129.
- Siddiq, F. 2012. Optimasi Zeolit Alam Termodifikasi-Fe(OH)<sub>3</sub> Sebagai Penukar Anion. *Skripsi*. Bogor: Jurusan Kimia Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor
- Solehah, A. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit dari Fly ash Batubara Sebagai Adsorben Metilen Biru. *Tesis*. Surakarta: Jurusan Kimia Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Sudarno. 2008. Pengaruh komposisi NaOH pada konversi abu layang batubara Paiton menjadi zeolit A: sintesis dan karakterisasi. *Jurnal Penelitian Jurusan Kimia FMIPA ITS*.
- Surdia, T dan Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradanya Pramita.
- Sutarno, Y. Arryanto, dan A. Budhyantoro. 2004. Sintesis faujasit dari fly ash batubara: pengaruh refluks dan penggerusan fly ash batubara terhadap kristalinitas faujasit. *Jurnal Matematika dan Sains*. 9(3): 285-290.
- Vogel. 1979. *A Textbook of Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis*. London: Longman, Green, and Co. Terjemahan oleh Setiono. 1985. *Vogel: Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Edisi ke lima*. Jakarta : PT. Kalman Media Pustaka.
- Ulfah, E. M., F. A. Yansur, dan Istadi. 2006. Optimasi pembuatan katalis zeolit X dari tawas, NaOH dan *water glass* dengan *response surface methodology*. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 1 (3): 26-32.
- Umboh, A. H., M. D. J. Sumajouw, dan R. S. Windah. 2014. Pengaruh pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) dari PLTU II Sulawesi Utara sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Sipil Statik*. ISSN: 2337-6732. 2(7): 352-358.
- Wahyuni, R. N. 2007. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Dari Fly ash Batubara dengan Alkali Hidrotermal dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Ion Logam Besi(Fe) dan Seng(Zn) Dalam Limbah Cair. *Skripsi*. Semarang: Jurusan Kimia FMIPA UNNES.
- Widianti, T. 2006. Pengujian kapasitas tukar kation zeolit sebagai penukar kation alami untuk pengolahan limbah industri. ISSN: 1907-7459: 93-106.

Wongwiwattama, J. 2002. Synthesis and Kinetic Study of Zeolite Na-A From Kaolin. *Tesis*. Thailand: Suranaree University of Technology

Yuwen, L., M. Zhu, H. Su, X. You, C. Dheng, dan X. Lv. 2010. Effects of synthesis parameters on gydrothermal synthesis of Na A zeolite. *Advanced Material Research*. 1444-1448.



## LAMPIRAN

## Lampiran 3 Pembuatan Larutan-larutan

## 3.1 Pembuatan HCl 1M dari HCl 37%

Diket :

a.  $\rho \text{ HCl} = 1,19 \text{ g/mL}$

$$\frac{1,19 \text{ g}}{\text{mL}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 1190 \text{ g/L}$$

b.  $M_r \text{ HCl} = 36,5 \text{ g/mol}$

c.  $\rho \text{ HCl} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$

d.  $\text{massa} = \rho \text{ HCl} \times \text{volume}$

e. 
$$\begin{aligned} \text{massa} &= 1190 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times 0,37 \text{ L} \\ &= 440,3 \text{ g} \end{aligned}$$

$$M = \frac{n}{V} = \frac{\frac{\text{massa}}{M_r}}{V} = \frac{440,3 \text{ g}}{36,5 \text{ g/mol} \times 1 \text{ L}} = 12,0 \text{ M}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$12,0 \text{ M} \times V_1 = 1 \text{ M} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ M} \times \text{mL}}{12,0 \text{ M}} = 8,3 \text{ mL}$$

## 3.2 Pembuatan Larutan NaOH 5M

Diket :  $M_r \text{ NaOH} = 39,98 \text{ g/mol}$ 

a. 
$$M = \frac{n}{V} = \frac{\frac{\text{massa}}{M_r}}{V}$$

$$5 \text{ M} = \frac{\frac{\text{massa}}{39,98 \text{ g/mol}}}{0,025 \text{ L}}$$

$$5M \times 0,025L = \frac{\text{massa}}{39,98g/mol}$$

$$0,125mol = \frac{\text{massa}}{39,98g/mol}$$

$$0,125 \text{ mol} \times 39,98 \text{ g/mol} = \text{massa}$$

$$5,00 \text{ g} = \text{massa}$$

### 3.3 Pembuatan Larutan NaOH 1N

Diket : Mr NaOH = 39,98 g/mol

a.  $N = M \times \text{valensi}$

$$1N = M \times 1$$

$$1M = 1N$$

b.  $M = \frac{n}{V} = \frac{\text{massa}}{Mr \times V}$

$$1M = \frac{\text{massa}}{39,98g/mol \times 0,1L}$$

$$1M \times 0,1L = \frac{\text{massa}}{39,98g/mol}$$

$$0,1mol = \frac{\text{massa}}{39,98g/mol}$$

$$0,1 \text{ mol} \times 39,98 \text{ g/mol} = \text{massa}$$

$$4,0 \text{ g} = \text{massa}$$

### 3.4 Pembuatan Larutan Asam Oksalat 1N

Diket : Mr  $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$  = 122 g/mol

a.  $N = M \times \text{valensi}$

$$1N = M \times 2$$

$$M = 0,5$$

$$c. \quad M = \frac{n}{V} = \frac{\frac{massa}{Mr}}{V}$$

$$0,5M = \frac{\frac{massa}{122 \text{ g/mol}}}{0,1L}$$

$$0,5M \times 0,1L = \frac{massa}{122 \text{ g/mol}}$$

$$0,05 \text{ mol} = \frac{massa}{122 \text{ g/mol}}$$

$$0,05 \text{ mol} \times 122 \text{ g/mol} = \text{massa}$$

$$6,1 \text{ g} = \text{massa}$$

### 3.5 Pembuatan Indikator PP 0,1 M

$$\text{Diket} = \text{Mr Fenolftalein (C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4) = 318,32 \text{ g/mol}$$

$$M = \frac{n}{V} = \frac{\frac{massa}{Mr}}{V}$$

$$0,03M = \frac{\frac{massa}{318,32 \text{ g/mol}}}{0,05L}$$

$$0,03M \times 0,05L = \frac{massa}{318,32 \text{ g/mol}}$$

$$0,0015 \text{ mol} = \frac{massa}{318,32 \text{ g/mol}}$$

$$0,0015 \text{ mol} \times 318,32 \text{ g/mol} = \text{massa}$$

$$0,5 \text{ g} = \text{massa}$$

3.6 Penentuan massa  $\text{Al}(\text{OH})_3$  pada Masing-masing Variasi Rasio Si/Al

Senyawa	Komposisi dalam <i>Fly ash</i>
$\text{SiO}_2$	20,16 %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5,47 %

$$\text{Fly ash (FA)} + \text{NaOH} = 15\text{g}$$

$$\text{FA} : \text{NaOH} = 1 : 1,5 = 2,5$$

$$\text{FA} = \frac{1}{2,5} \times 15\text{g} = 6\text{g}$$

$$\text{Volume larutan} = 6\text{g} \times 12 \text{ mL/g} = 72 \text{ mL} + \text{volume larutan natrium aluminat}$$

$$= 72 \text{ mL} + 25 \text{ mL} = 97 \text{ mL}$$

## 1. Penentuan Kadar Si

$$\text{Massa SiO}_2 = \frac{20,16}{100} \times 6\text{g} = 1,210\text{g}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Si} &= \frac{Ar_{Si}}{Mr_{SiO_2}} \times 1,210\text{g} \\ &= \frac{28,09 \text{ g/mol}}{60,09 \text{ g/mol}} \times 1,210\text{g} = 0,5656\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi Si} &= \frac{n}{V} = \frac{\text{massa}}{Ar_{Si}} \times \frac{1}{V} \\ &= \frac{0,5656\text{g}}{28,09 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{0,097\text{L}} = 0,208\text{M} \end{aligned}$$

## 2. Penentuan Kadar Al

$$\text{Massa Al}_2\text{O}_3 = \frac{5,47}{100} \times 6g = 0,328g$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Al} &= \frac{ArAl}{MrAl_2O_3} \times 0,328g \\ &= \frac{26,98g/mol}{101,96g/mol} \times 0,328g = 0,0867g \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi Al} &= \frac{n}{V} = \frac{\text{massa}}{ArAl} \times \frac{1}{V} \\ &= \frac{0,0867g}{26,98g/mol} \times \frac{1}{0,097L} = 0,0331M \end{aligned}$$

## 3. Pembuatan Larutan Natrium Alumina untuk Rasio Si/Al (1) = 1,19

$$\frac{Si}{Al} = \frac{1}{1} = \frac{0,208M}{0,208M}$$

$$\text{Konsentrasi Al} = 0,208M - 0,0331M = 0,175M$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Al} &= \text{konsentrasi Al} \times ArAl \times \text{Volume larutan} \\ &= 0,175 \text{ mol/L} \times 26,98 \text{ g/mol} \times 0,0970 \text{ mL} \\ &= 0,458 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Al(OH)}_3 &= \frac{MrAl(OH)_3}{ArAl} \times 0,458g \\ &= \frac{77,98g/mol}{26,98g/mol} \times 0,458g = 1,32g \end{aligned}$$

## 4. Pembuatan Larutan Natrium Alumina untuk Rasio Si/Al (1,1) = 1,24

$$\frac{Si}{Al} = \frac{1,1}{1} = \frac{0,208M}{x}$$

$$x = \frac{0,208M}{1,1} = 0,189M$$

$$\text{Konsentrasi Al} = 0,189 \text{ M} - 0,0331 \text{ M} = 0,156 \text{ M}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Al} &= \text{konsentrasi Al} \times \text{Ar Al} \times \text{Volume larutan} \\ &= 0,156 \text{ mol/L} \times 26,98 \text{ g/mol} \times 0,0970 \text{ mL} \\ &= 0,408 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Al(OH)}_3 &= \frac{Mr\text{Al(OH)}_3}{Ar\text{Al}} \times 0,408\text{g} \\ &= \frac{77,98 \text{ g/mol}}{26,98 \text{ g/mol}} \times 0,408\text{g} = 1,18\text{g} \end{aligned}$$

5. Pembuatan Larutan Natrium Alumina untuk Rasio Si/Al (1,2) = 1,27

$$\frac{Si}{Al} = \frac{1,2}{1} = \frac{0,208M}{x}$$

$$x = \frac{0,208M}{1,2} = 0,173M$$

$$\text{Konsentrasi Al} = 0,173 \text{ M} - 0,0331 \text{ M} = 0,140 \text{ M}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Al} &= \text{konsentrasi Al} \times \text{Ar Al} \times \text{Volume larutan} \\ &= 0,140 \text{ mol/L} \times 26,98 \text{ g/mol} \times 0,0970 \text{ mL} \\ &= 0,366 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Al(OH)}_3 &= \frac{Mr\text{Al(OH)}_3}{Ar\text{Al}} \times 0,366\text{g} \\ &= \frac{77,98 \text{ g/mol}}{26,98 \text{ g/mol}} \times 0,366\text{g} = 1,06\text{g} \end{aligned}$$



6. Pembuatan Larutan Natrium Alumina untuk Rasio Si/Al (1,3) = 1,35

$$\frac{Si}{Al} = \frac{1,3}{1} = \frac{0,208M}{x}$$

$$x = \frac{0,208M}{1,3} = 0,160M$$

$$\text{Konsentrasi Al} = 0,160 \text{ M} - 0,0331 \text{ M} = 0,127 \text{ M}$$

$$\text{Massa Al} = \text{konsentrasi Al} \times \text{Ar Al} \times \text{Volume larutan}$$

$$= 0,127 \text{ mol/L} \times 26,98 \text{ g/mol} \times 0,0970 \text{ mL}$$

$$= 0,332 \text{ g}$$

$$\text{Massa Al(OH)}_3 = \frac{Mr\text{Al(OH)}_3}{Ar\text{Al}} \times 0,332 \text{ g}$$

$$= \frac{77,98 \text{ g/mol}}{26,98 \text{ g/mol}} \times 0,332 \text{ g} = 0,960 \text{ g}$$

#### Lampiran 4 Hasil Sintesis dan Karakterisasi Zeolit

##### 4.1 Rendemen Zeolit Hasil Sintesis

Rasio Si/Al	Massa zeolit	Massa total	Massa Rata-rata	Molar Si	Molar Al
(1)= 1,19	0,925 g	3,53 g	1,18 g	0,208	0,208
	1,312 g				
	1,290 g				
(1,1) = 1,24	0,926 g	16,5 g	1,27 g	0,208	0,189
	1,375 g				
	1,204 g				
	1,288 g				
	1,210 g				
	1,294 g				
	1,386 g				
	1,331 g				
	1,211 g				
	1,314 g				
	1,338 g				
1,306 g					
1,329 g					

(1,2) = 1,27	1,012 g 1,217 g 1,248 g	3,48 g	1,16g	0,208	0,173
(1,3) = 1,35	0,986 g 1,300 g 1,213 g	3,50 g	1,17 g	0,208	0,160

Massa NaOH + *fly ash* = 15 g

Perbandingan NaOH : *fly ash* = 1,5 : 1 = 2,5

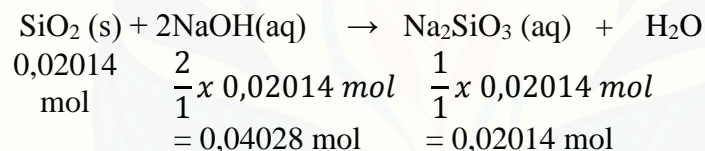
$$\text{Massa NaOH} = \frac{1,5}{2,5} \times 15 \text{ g} = 9 \text{ g}$$

Massa NaOH dalam pembuatan Natrium Aluminat = 5,00 g (Lampiran 3.2)

Massa NaOH total = massa NaOH dalam campuran *fly ash* + massa NaOH dalam pembuatan Natrium Aluminat

$$\text{Massa NaOH total} = 9 \text{ g} + 5,00 \text{ g} = 14,00 \text{ g}$$

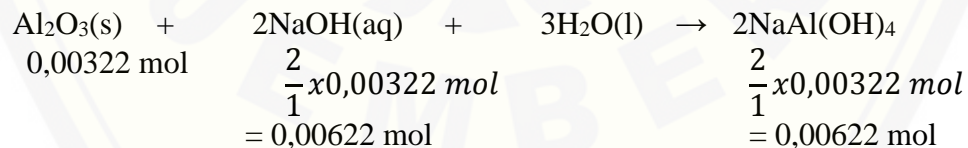
#### Pembentukan Natrium Silikat



$$\text{Mol SiO}_2 = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} = \frac{1,210 \text{ g}}{60,09 \text{ g/mol}} = 0,02014 \text{ mol}$$

$$\text{Mol Na}_2\text{SiO}_3 = 0,02014 \text{ mol}$$

#### Pembentukan Natrium Aluminat

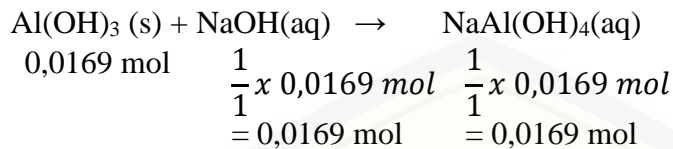


$$\text{Mol Al}_2\text{O}_3 = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} = \frac{0,328 \text{ g}}{101,96 \text{ g/mol}} = 0,00322 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaAl(OH)}_4 = 0,00622 \text{ mol}$$

1. Rendemen zeolit A rasio Si/Al (1) = 1,19

#### Pembuatan Natrium Aluminat

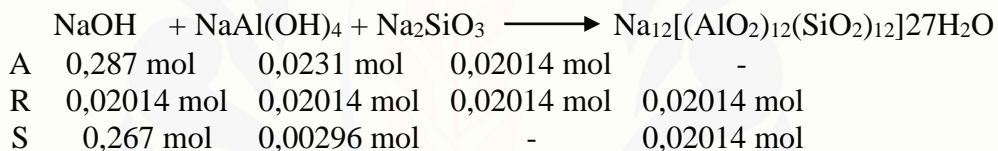


$$\text{Mol Al(OH)}_3 = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} = \frac{1,32 \text{ g}}{77,98 \text{ g/mol}} = 0,0169 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaAl(OH)}_4 = 0,0169 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaOH total} = \frac{\text{massa NaOH total}}{\text{Mr NaOH}} = \frac{14,00 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0,35 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol NaOH NaOH sisa} &= \text{Mol NaOH total} - \text{mol NaOH yang bereaksi} \\ &= 0,35 \text{ mol} - (0,04028 \text{ mol} + 0,00622 \text{ mol} + 0,0169 \text{ mol}) \\ &= 0,35 \text{ mol} - 0,0634 \text{ mol} \\ &= 0,287 \text{ mol} \end{aligned}$$

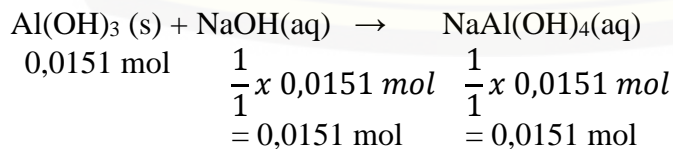


$$\begin{aligned} \text{Massa zeolit} &= n \times \text{Mr zeolit} \\ &= 0,02014 \text{ mol} \times 202,63 \text{ g/mol} \\ &= 4,08 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{massa zeolit yang diperoleh}}{\text{massa teoritis}} \times 100\% \\ &= \frac{1,18 \text{ g}}{4,08 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 28,9 \text{ \%} \end{aligned}$$

2. Rendemen zeolit A rasio Si/Al (1,1) = 1,24

#### Pembuatan Natrium Aluminat

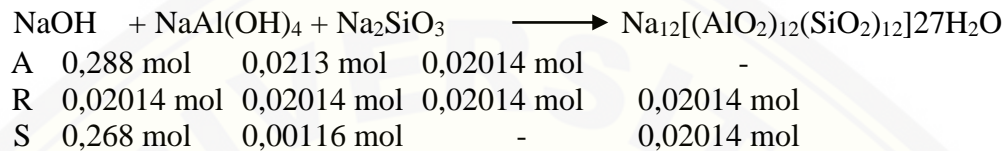


$$\text{Mol Al(OH)}_3 = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} = \frac{1,18 \text{ g}}{77,98 \text{ g/mol}} = 0,0151 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaAl(OH)}_4 = 0,0151 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaOH total} = \frac{\text{massa NaOH total}}{\text{Mr NaOH}} = \frac{14,00 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0,35 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol NaOH NaOH sisa} &= \text{Mol NaOH total} - \text{mol NaOH yang bereaksi} \\ &= 0,35 \text{ mol} - (0,04028 \text{ mol} + 0,00622 \text{ mol} + 0,0151 \text{ mol}) \\ &= 0,35 \text{ mol} - 0,0616 \text{ mol} \\ &= 0,288 \text{ mol} \end{aligned}$$

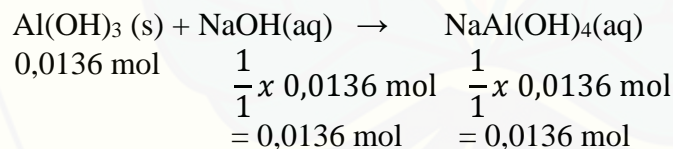


$$\begin{aligned} \text{Massa zeolit} &= n \times \text{Mr zeolit} \\ &= 0,02014 \text{ mol} \times 202,63 \text{ g/mol} \\ &= 4,08 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{massa zeolit yang diperoleh}}{\text{massa teoritis}} \times 100\% \\ &= \frac{1,27 \text{ g}}{4,08 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 31,1 \text{ \%} \end{aligned}$$

3. Rendemen zeolit A rasio Si/Al (1,2) = 1,27

#### Pembuatan Natrium Aluminat

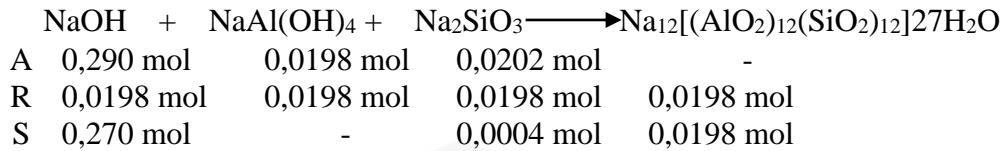


$$\text{Mol Al(OH)}_3 = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} = \frac{1,06 \text{ g}}{77,98 \text{ g/mol}} = 0,0136 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaAl(OH)}_4 = 0,0136 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaOH total} = \frac{\text{massa NaOH total}}{\text{Mr NaOH}} = \frac{14,00 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0,35 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol NaOH NaOH sisa} &= \text{Mol NaOH total} - \text{mol NaOH yang bereaksi} \\ &= 0,35 \text{ mol} - (0,04028 \text{ mol} + 0,00622 \text{ mol} + 0,0136 \text{ mol}) \\ &= 0,35 \text{ mol} - 0,0601 \text{ mol} \\ &= 0,290 \text{ mol} \end{aligned}$$

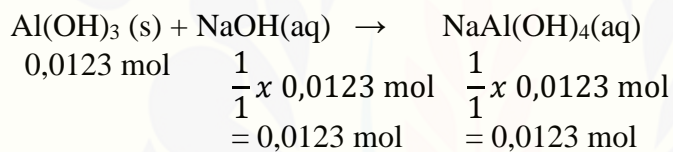


$$\begin{aligned} \text{Massa zeolit} &= n \times \text{Mr zeolit} \\ &= 0,0198 \text{ mol} \times 202,63 \text{ g/mol} \\ &= 4,01 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{massa zeolit yang diperoleh}}{\text{massa teoritis}} \times 100\% \\ &= \frac{1,16 \text{ g}}{4,01 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 28,9\% \end{aligned}$$

4. Rendemen zeolit A rasio Si/Al (1,3) = 1,35

#### Pembuatan Natrium Aluminat

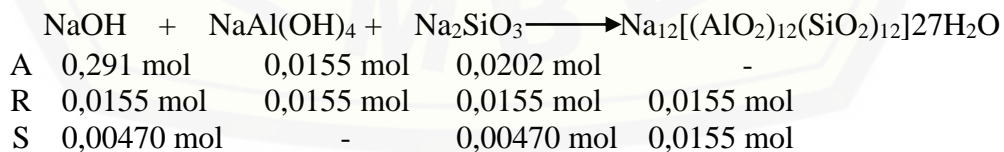


$$\text{Mol Al(OH)}_3 = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} = \frac{0,960 \text{ g}}{77,98 \text{ g/mol}} = 0,0123 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaAl(OH)}_4 = 0,0123 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaOH total} = \frac{\text{massa NaOH total}}{\text{Mr NaOH}} = \frac{14,00 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0,35 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol NaOH NaOH sisa} &= \text{Mol NaOH total} - \text{mol NaOH yang bereaksi} \\ &= 0,35 \text{ mol} - (0,04028 \text{ mol} + 0,00622 \text{ mol} + 0,0123 \text{ mol}) \\ &= 0,35 \text{ mol} - 0,0588 \text{ mol} \\ &= 0,291 \text{ mol} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Massa zeolit} &= n \times \text{Mr zeolit} \\ &= 0,0155 \text{ mol} \times 202,63 \text{ g/mol} \\ &= 3,14 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{massa zeolit yang diperoleh}}{\text{massa teoritis}} \times 100\% \\ &= \frac{1,17 \text{ g}}{3,14 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 37,3 \% \end{aligned}$$

#### 4.2 Penentuan Kristalinitas Zeolit A

2θ	Intensitas Zeolit A Sampel Pada Rasio Si/Al (1,1) = 1,24
7,2385	928,00
10,2312	760,41
12,5214	502,51
16,1788	360,45
20,4888	131,82
21,7082	668,88
24,0220	1147,51
26,1550	366,51
27,1536	1007,63
29,9635	1292,75
30,8626	206,26
32,5491	242,47
33,387	109,22
34,1854	834,46
35,7730	123,95
36,5057	118,03
40,1310	68,18
41,5125	171,77
42,1709	95,93
42,8496	89,56
43,5251	90,3
44,1754	200,74
47,3141	133,61
47,8904	96,04
49,6893	50,82
52,5876	261,57
53,1689	58,41
54,2555	137,95
56,4253	65,10
57,5127	116,75
58,5454	103,31
Total	10540,38

$$\begin{aligned}
 \text{Kristalinitas} &= \frac{\text{intensitas total puncak sampel}}{\text{intensitas total puncak standar}} \times 100 \% \\
 &= \frac{10540,38}{10889,38} \times 100 \% \\
 &= 96,80 \%
 \end{aligned}$$

#### 4.3 Penentuan Rasio Molar Si/Al Hasil Analisa XRF

Unsur	Komposisi			
	Rasio Si/Al = 1	Rasio Si/Al = 1,1	Rasio Si/Al = 1,2	Rasio Si/Al = 1,3
Si	16,66 %	17,82 %	18,65 %	20,68 %
Al	13,45 %	13,77 %	14,11 %	14,76 %
Massa Zeolit				
	Rasio Si/Al = 1	Rasio Si/Al = 1,1	Rasio Si/Al = 1,2	Rasio Si/Al = 1,3
	3,527 g	16,512 g	3,477 g	3,499 g

##### 1. Rasio Si/Al = 1

$$\text{Massa Si} = \frac{16,66}{100} \times 3,527 \text{ g} = 0,5876 \text{ g}$$

$$\text{Konsentrasi Si} = \frac{\text{massa Si}}{\text{Ar Si}} \times \frac{1}{V} = \frac{0,5876 \text{ g}}{28,09 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{0,0970 \text{ L}} = 0,216 \text{ mol/L}$$

$$\text{Massa Al} = \frac{13,45}{100} \times 3,527 \text{ g} = 0,4744 \text{ g}$$

$$\text{Konsentrasi Al} = \frac{\text{massa Al}}{\text{Ar Al}} \times \frac{1}{V} = \frac{0,4744 \text{ g}}{26,98 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{0,0970 \text{ L}} = 0,181 \text{ mol/L}$$

$$\text{Perbandingan konsentrasi atau molar Si/Al} = \frac{0,216 \text{ g/mol}}{0,181 \text{ g/mol}} = 1,19$$

Jadi rasio molar Si/Al berdasarkan hasil analisa XRF zeolit = 1,19

##### 2. Rasio Si/Al = 1,1

$$\text{Massa Si} = \frac{17,82}{100} \times 16,512 \text{ g} = 2,942 \text{ g}$$

$$\text{Konsentrasi Si} = \frac{\text{massa Si}}{\text{Ar Si}} \times \frac{1}{V} = \frac{2,942 \text{ g}}{28,09 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{0,0970 \text{ L}} = 1,09 \text{ mol/L}$$

$$\text{Massa Al} = \frac{13,77}{100} \times 16,512 \text{ g} = 2,274 \text{ g}$$

$$\text{Konsentrasi Al} = \frac{\text{massa Al}}{\text{Ar Al}} \times \frac{1}{V} = \frac{2,274 \text{ g}}{26,98 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{0,0970 \text{ L}} = 0,869 \text{ mol/L}$$

$$\text{Perbandingan konsentrasi atau molar Si/Al} = \frac{1,09 \text{ g/mol}}{0,869 \text{ g/mol}} = 1,24$$

Jadi rasio molar Si/Al berdasarkan hasil analisa XRF zeolit = 1,24

3. Rasio Si/Al = 1,2

$$\text{Massa Si} = \frac{18,65}{100} \times 3,477 \text{ g} = 0,6485 \text{ g}$$

$$\text{Konsentrasi Si} = \frac{\text{massa Si}}{\text{Ar Si}} \times \frac{1}{V} = \frac{0,6485 \text{ g}}{28,09 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{0,0970 \text{ L}} = 0,238 \text{ mol/L}$$

$$\text{Massa Al} = \frac{13,45}{100} \times 3,477 \text{ g} = 0,4906 \text{ g}$$

$$\text{Konsentrasi Al} = \frac{\text{massa Al}}{\text{Ar Al}} \times \frac{1}{V} = \frac{0,4906 \text{ g}}{26,98 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{0,0970 \text{ L}} = 0,187 \text{ mol/L}$$

$$\text{Perbandingan konsentrasi atau molar Si/Al} = \frac{0,238 \text{ g/mol}}{0,187 \text{ g/mol}} = 1,27$$

Jadi rasio molar Si/Al berdasarkan hasil analisa XRF zeolit = 1,27

4. Rasio Si/Al = 1,3

$$\text{Massa Si} = \frac{20,68}{100} \times 3,499 \text{ g} = 0,7236 \text{ g}$$

$$\text{Konsentrasi Si} = \frac{\text{massa Si}}{\text{Ar Si}} \times \frac{1}{V} = \frac{0,7236 \text{ g}}{28,09 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{0,0970 \text{ L}} = 0,266 \text{ mol/L}$$

$$\text{Massa Al} = \frac{14,76}{100} \times 3,499 \text{ g} = 0,5165 \text{ g}$$

$$\text{Konsentrasi Al} = \frac{\text{massa Al}}{\text{Ar Al}} \times \frac{1}{V} = \frac{0,5165 \text{ g}}{26,98 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{0,0970 \text{ L}} = 0,197 \text{ mol/L}$$

$$\text{Perbandingan konsentrasi atau molar Si/Al} = \frac{0,216 \text{ g/mol}}{0,181 \text{ g/mol}} = 1,35$$

Jadi rasio molar Si/Al berdasarkan hasil analisa XRF zeolit = 1,35

#### 4.4 Optimasi Waktu Pada Penentuan KTK

Variasi Waktu	Volume NaOH Hasil Standarisasi (mL)				Konsentrasi NaOH (N1)
	1	2	3	Rata-rata	
15 menit	10	10	10	10	1
30 menit	10,05	10,1	10,1	10,08	0,99
60 menit	10	10	10,25	10,08	0,99
120 menit	10,20	10,25	10,2	10,22	0,98
150 menit	10	10,05	10,05	10,03	1
180 menit	10	10	10,25	10,08	0,99
240 menit	10	10	10	10	1



Variasi Waktu	Volume NaOH Hasil Titration (mL)				Konsentrasi NaOH (N2)
	1	2	3	Rata-rata	
15 menit	10,3	10,2	10,35	10,28	0,97
30 menit	10,6	10,5	10,55	10,55	0,95
60 menit	10,85	10,80	10,80	10,82	0,92
120 menit	11,15	11,05	11,0	11,07	0,90
150 menit	10,90	10,90	10,90	10,90	0,92
180 menit	10,45	10,3	10,45	10,4	0,96
240 menit	10,25	10,25	10,3	10,27	0,98

## 1. Variasi Waktu 15 menit

$$N1-N2 = 1-0,97 = 0,030 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{KTK} &= \frac{N1-N2}{4} \times \frac{Ar Na}{Mr NaOH} \times 100 \\ &= \frac{0,030}{4} \times \frac{23 \text{ g/mol}}{40 \text{ g/mol}} \times 100 \\ &= 0,0075 \times 0,575 \times 100 \\ &= 0,43 \text{ mgrek/100 g} \end{aligned}$$

## 2. Variasi Waktu 30 menit

$$N1-N2 = 0,99-0,95 = 0,040 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{KTK} &= \frac{N1-N2}{4} \times \frac{Ar Na}{Mr NaOH} \times 100 \\ &= \frac{0,040}{4} \times \frac{23 \text{ g/mol}}{40 \text{ g/mol}} \times 100 \\ &= 0,010 \times 0,575 \times 100 \\ &= 0,58 \text{ mgrek/100 g} \end{aligned}$$

## 3. Variasi Waktu 60 menit

$$N1-N2 = 0,99-0,92 = 0,070 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{KTK} &= \frac{N1-N2}{4} \times \frac{Ar Na}{Mr NaOH} \times 100 \\ &= \frac{0,070}{4} \times \frac{23 \text{ g/mol}}{40 \text{ g/mol}} \times 100 \\ &= 0,018 \times 0,575 \times 100 \end{aligned}$$

$$= 1,0 \text{ mgrek}/100 \text{ g}$$

4. Variasi Waktu 120 menit

$$N1-N2 = 0,98-0,90 = 0,080 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{KTK} &= \frac{N1-N2}{4} \times \frac{Ar \ Na}{Mr \ NaOH} \times 100 \\ &= \frac{0,080}{4} \times \frac{23 \text{ g/mol}}{40 \text{ g/mol}} \times 100 \\ &= 0,020 \times 0,575 \times 100 \\ &= 1,2 \text{ mgrek}/100 \text{ g} \end{aligned}$$

5. Variasi Waktu 150 menit

$$N1-N2 = 1,00-0,92 = 0,080 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{KTK} &= \frac{N1-N2}{4} \times \frac{Ar \ Na}{Mr \ NaOH} \times 100 \\ &= \frac{0,080}{4} \times \frac{23 \text{ g/mol}}{40 \text{ g/mol}} \times 100 \\ &= 0,020 \times 0,575 \times 100 \\ &= 1.2 \text{ mgrek}/100 \text{ g} \end{aligned}$$

6. Variasi Waktu 180 menit

$$N1-N2 = 0,99-0,96 = 0,030 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{KTK} &= \frac{N1-N2}{4} \times \frac{Ar \ Na}{Mr \ NaOH} \times 100 \\ &= \frac{0,030}{4} \times \frac{23 \text{ g/mol}}{40 \text{ g/mol}} \times 100 \\ &= 0,0075 \times 0,575 \times 100 \\ &= 0,43 \text{ mgrek}/100 \text{ g} \end{aligned}$$

7. Variasi Waktu 240 menit

$$N1-N2 = 1,0-0,98 = 0,020 \text{ N}$$

$$\text{KTK} = \frac{N1-N2}{4} \times \frac{Ar \ Na}{Mr \ NaOH} \times 100$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,020}{4} \times \frac{23 \text{ g/mol}}{40 \text{ g/mol}} \times 100 \\
 &= 0,0050 \times 0,575 \times 100 \\
 &= 0,29 \text{ mgrek/100 g}
 \end{aligned}$$

#### 4.5 Optimasi Konsentrasi HCl Pada Penentuan KTK

Variasi Konsentrasi	Volume NaOH Hasil Standarisasi (mL)				Konsentrasi NaOH (N1)
	1	2	3	Rata-rata	
0,1 N	10,1	10	10	10,03	1,0
0,5 N	10,1	10,15	10,1	10,12	0,99
1 N	10,05	10,05	10,05	10,05	1,0
1,5 N	10,05	10,05	10,1	10,07	0,99

Variasi Konsentrasi	Volume NaOH Hasil Titration (mL)				Konsentrasi NaOH (N2)
	1	2	3	Rata-rata	
0,1 N	10,1	10,15	10,1	10,12	0,99
0,5 N	10,8	10,8	10,8	10,8	0,93
1 N	10,9	11	11	10,97	0,91
1,5 N	10,25	10,3	10,25	10,27	0,97

##### 1. Variasi Konsentrasi HCl 0,1N

$$N1 - N2 = 1,0 - 0,99 = 0,010 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KTK} &= \frac{N1 - N2}{4} \times \frac{Ar \text{ Na}}{Mr \text{ NaOH}} \times 100 \\
 &= \frac{0,010}{4} \times \frac{23 \text{ g/mol}}{40 \text{ g/mol}} \times 100 \\
 &= 0,0025 \times 0,575 \times 100 \\
 &= 0,14 \text{ mgrek/100 g}
 \end{aligned}$$

##### 2. Variasi Konsentrasi HCl 0,5N

$$N1 - N2 = 0,99 - 0,93 = 0,060 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KTK} &= \frac{N1 - N2}{4} \times \frac{Ar \text{ Na}}{Mr \text{ NaOH}} \times 100 \\
 &= \frac{0,060}{4} \times \frac{23 \text{ g/mol}}{40 \text{ g/mol}} \times 100 \\
 &= 0,015 \times 0,575 \times 100
 \end{aligned}$$

$$= 0,86 \text{ mgrek/100 g}$$

### 3. Variasi Konsentrasi HCl 1N

$$N1-N2 = 1,0-0,91 = 0,090 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{KTK} &= \frac{N1-N2}{4} \times \frac{Ar \ Na}{Mr \ NaOH} \times 100 \\ &= \frac{0,090}{4} \times \frac{23 \text{ g/mol}}{40 \text{ g/mol}} \times 100 \\ &= 0,023 \times 0,575 \times 100 \\ &= 1,3 \text{ mgrek/100 g} \end{aligned}$$

### 4. Variasi Konsentrasi HCl 1,5N

$$N1-N2 = 0,99-0,97 = 0,020 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{KTK} &= \frac{N1-N2}{4} \times \frac{Ar \ Na}{Mr \ NaOH} \times 100 \\ &= \frac{0,020}{4} \times \frac{23 \text{ g/mol}}{40 \text{ g/mol}} \times 100 \\ &= 0,0050 \times 0,575 \times 100 \\ &= 0,29 \text{ mgrek/100 g} \end{aligned}$$

Lampiran 4.6 Hasil Analisa Kuantitatif XRF *Fly Ash*

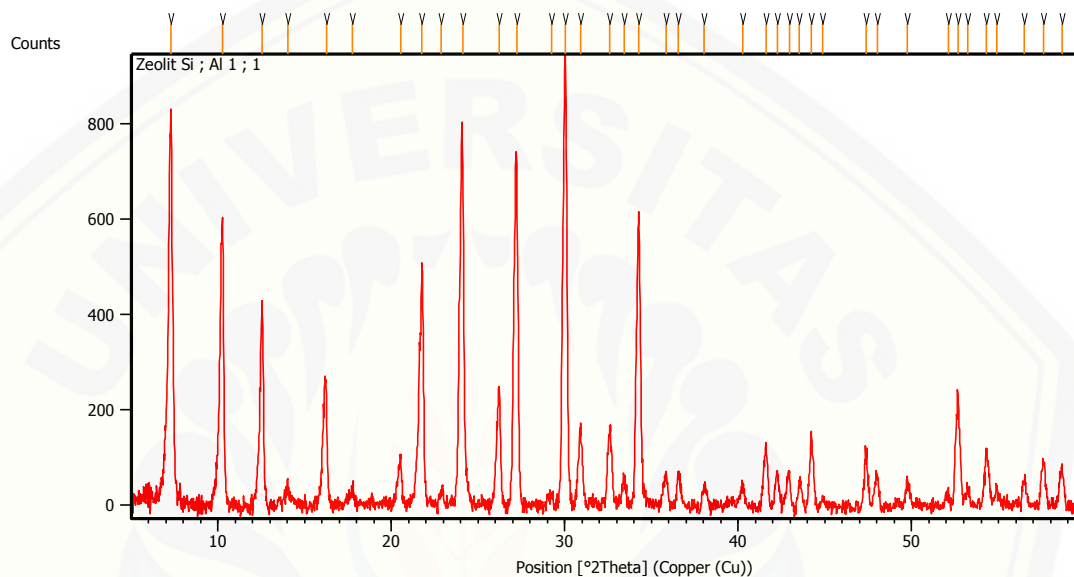
Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	29.28%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
SiO <sub>2</sub>	14	20.16%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Na <sub>2</sub> O	11	19.55%	Fit spectrum	Na KA1/EQ20
CaO	20	7.68%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	5.47%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
K <sub>2</sub> O	19	4.98%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
MgO	12	2.60%	Fit spectrum	Mg KA1/EQ20
TiO <sub>2</sub>	22	2.19%	Fit spectrum	Ti KA1/EQ20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	15	1.28%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
SO <sub>3</sub>	16	1.13%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Cl	17	1.06%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57	0.77%	Fit spectrum	La KA1/EQ50
BaO	56	0.66%	Fit spectrum	Ba KA1/EQ40
MnO	25	0.56%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
ZrO <sub>2</sub>	40	0.40%	Fit spectrum	Zr KA1/EQ20
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	23	0.23%	Fit spectrum	V KA1/EQ20
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60	0.18%	Fit spectrum	Nd LA1/EQ20
CeO <sub>2</sub>	58	0.17%	Fit spectrum	Ce KA1/EQ50
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24	0.14%	Fit spectrum	Cr KA1/EQ20
CoO	27	0.14%	Fit spectrum	Co KA1/EQ20
SrO	38	0.12%	Fit spectrum	Sr KA1/EQ20
Cs <sub>2</sub> O	55	0.12%	Fit spectrum	Cs KA1/EQ40
SnO <sub>2</sub>	50	0.10%	Fit spectrum	Sn KA1/EQ40
Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	59	0.09%	Fit spectrum	Pr LA1/EQ20
NiO	28	0.09%	Fit spectrum	Ni KA1/EQ20
ZnO	30	0.08%	Fit spectrum	Zn KA1/EQ20
CuO	29	0.08%	Fit spectrum	Cu KA1/EQ20
I	53	0.08%	Fit spectrum	I KA1/EQ40
TeO <sub>2</sub>	52	0.08%	Fit spectrum	Te KA1/EQ40
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	51	0.07%	Fit spectrum	Sb KA1/EQ40
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31	0.05%	Fit spectrum	Ga KA1/EQ20
Rb <sub>2</sub> O	37	0.05%	Fit spectrum	Rb KA1/EQ20
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	83	0.05%	Fit spectrum	Bi LA1/EQ20
CdO	48	0.05%	Fit spectrum	Cd KA1/EQ40
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39	0.04%	Fit spectrum	Y KA1/EQ40
SeO <sub>2</sub>	34	0.04%	Fit spectrum	Se KA1/EQ20
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	41	0.04%	Fit spectrum	Nb KA1/EQ20
GeO <sub>2</sub>	32	0.03%	Fit spectrum	Ge KA1/EQ20
Br	35	0.03%	Fit spectrum	Br KA1/EQ20
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33	0.03%	Fit spectrum	As KA1/EQ20
MoO <sub>3</sub>	42	0.03%	Fit spectrum	Mo KA1/EQ40
PbO	82	0.03%	Fit spectrum	Pb LA1/EQ20
WO <sub>3</sub>	74	0.02%	Fit spectrum	W LA1/EQ20

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
O	8	34.37%	Chem. bindings	
Fe	26	20.48%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
Na	11	14.50%	Fit spectrum	Na KA1/EQ20
Si	14	9.42%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Ca	20	5.49%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
K	19	4.13%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
Al	13	2.89%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
Mg	12	1.57%	Fit spectrum	Mg KA1/EQ20
Ti	22	1.31%	Fit spectrum	Ti KA1/EQ20
Cl	17	1.06%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
La	57	0.66%	Fit spectrum	La KA1/EQ50
Ba	56	0.59%	Fit spectrum	Ba KA1/EQ40
P	15	0.56%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
S	16	0.45%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Mn	25	0.43%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
Zr	40	0.30%	Fit spectrum	Zr KA1/EQ20
Nd	60	0.15%	Fit spectrum	Nd LA1/EQ20
Ce	58	0.14%	Fit spectrum	Ce KA1/EQ50
V	23	0.13%	Fit spectrum	V KA1/EQ20
Cs	55	0.11%	Fit spectrum	Cs KA1/EQ40
Co	27	0.11%	Fit spectrum	Co KA1/EQ20
Sr	38	0.10%	Fit spectrum	Sr KA1/EQ20
Cr	24	0.09%	Fit spectrum	Cr KA1/EQ20
I	53	0.08%	Fit spectrum	I KA1/EQ40
Sn	50	0.08%	Fit spectrum	Sn KA1/EQ40
Pr	59	0.07%	Fit spectrum	Pr LA1/EQ20
Ni	28	0.07%	Fit spectrum	Ni KA1/EQ20
Zn	30	0.07%	Fit spectrum	Zn KA1/EQ20
Cu	29	0.06%	Fit spectrum	Cu KA1/EQ20
Te	52	0.06%	Fit spectrum	Te KA1/EQ40
Sb	51	0.06%	Fit spectrum	Sb KA1/EQ40
Rb	37	0.05%	Fit spectrum	Rb KA1/EQ20
Bi	83	0.04%	Fit spectrum	Bi LA1/EQ20
Cd	48	0.04%	Fit spectrum	Cd KA1/EQ40
Ga	31	0.04%	Fit spectrum	Ga KA1/EQ20
Br	35	0.03%	Fit spectrum	Br KA1/EQ20
Y	39	0.03%	Fit spectrum	Y KA1/EQ40
Se	34	0.03%	Fit spectrum	Se KA1/EQ20
Pb	82	0.03%	Fit spectrum	Pb LA1/EQ20
Nb	41	0.03%	Fit spectrum	Nb KA1/EQ20
Ge	32	0.02%	Fit spectrum	Ge KA1/EQ20
As	33	0.02%	Fit spectrum	As KA1/EQ20
Mo	42	0.02%	Fit spectrum	Mo KA1/EQ40
W	74	0.02%	Fit spectrum	W LA1/EQ20

nilai R/R0 69.7>30. Data lebih valid jika <30

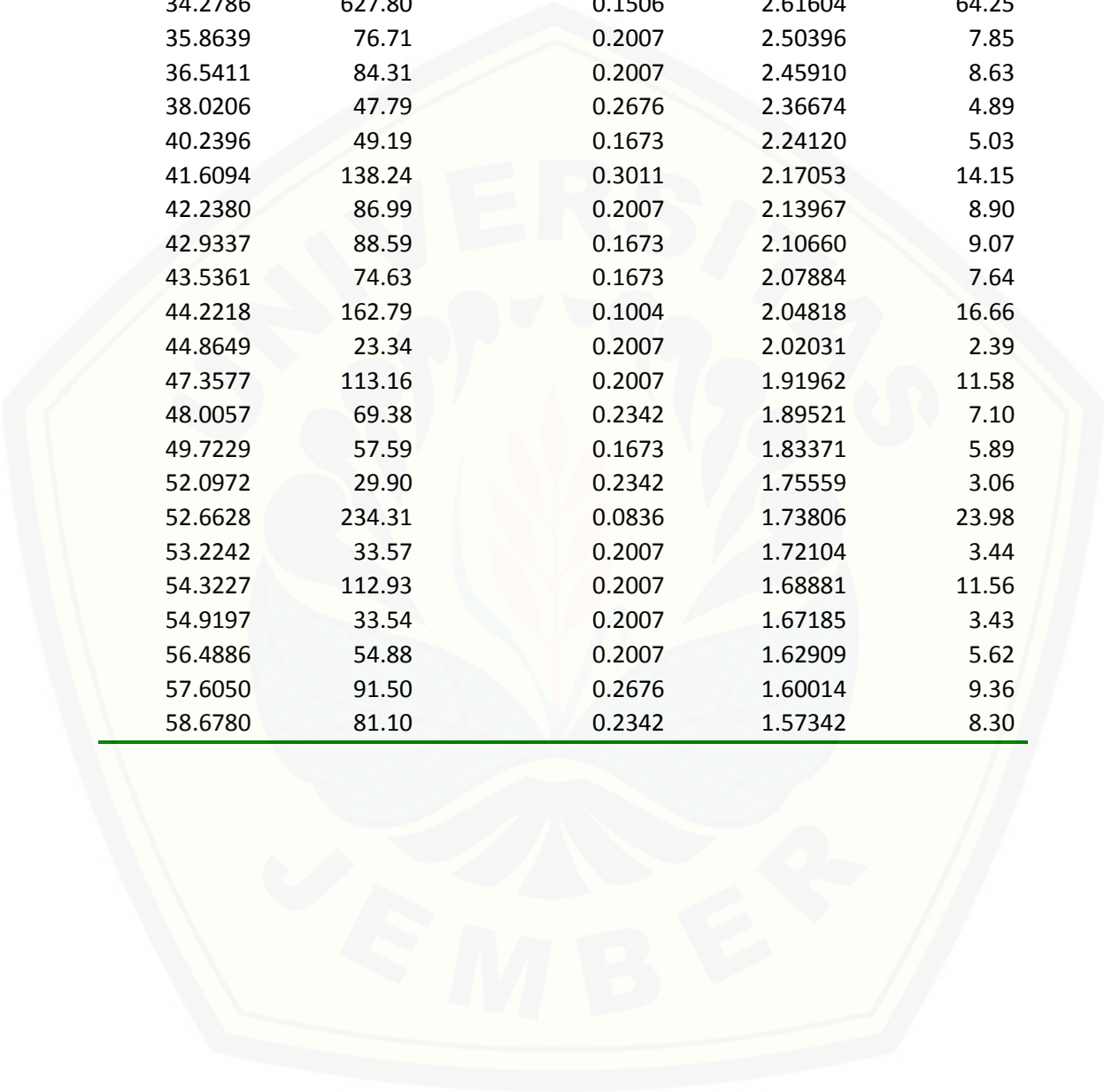
### Lampiran 4.7 Hasil Analisa XRD Zeolit Rasio Molar Si/Al (1)= 1,19

**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
7.2988	804.92	0.1673	12.11199	82.38
10.2858	556.00	0.1673	8.60039	56.90
12.5400	433.95	0.1004	7.05895	44.41
14.0088	34.37	0.2007	6.32197	3.52
16.2466	234.38	0.1338	5.45589	23.99
17.7420	27.25	0.2007	4.99925	2.79
20.5338	100.48	0.1338	4.32542	10.28
21.7695	500.62	0.1171	4.08262	51.24
22.8799	40.35	0.2007	3.88694	4.13
24.1084	752.94	0.1840	3.69158	77.06
26.2094	274.65	0.1338	3.40022	28.11
27.2293	738.71	0.1673	3.27514	75.60
29.2207	48.27	0.4015	3.05631	4.94
30.0398	977.10	0.2342	2.97482	100.00
30.9011	184.40	0.2342	2.89383	18.87

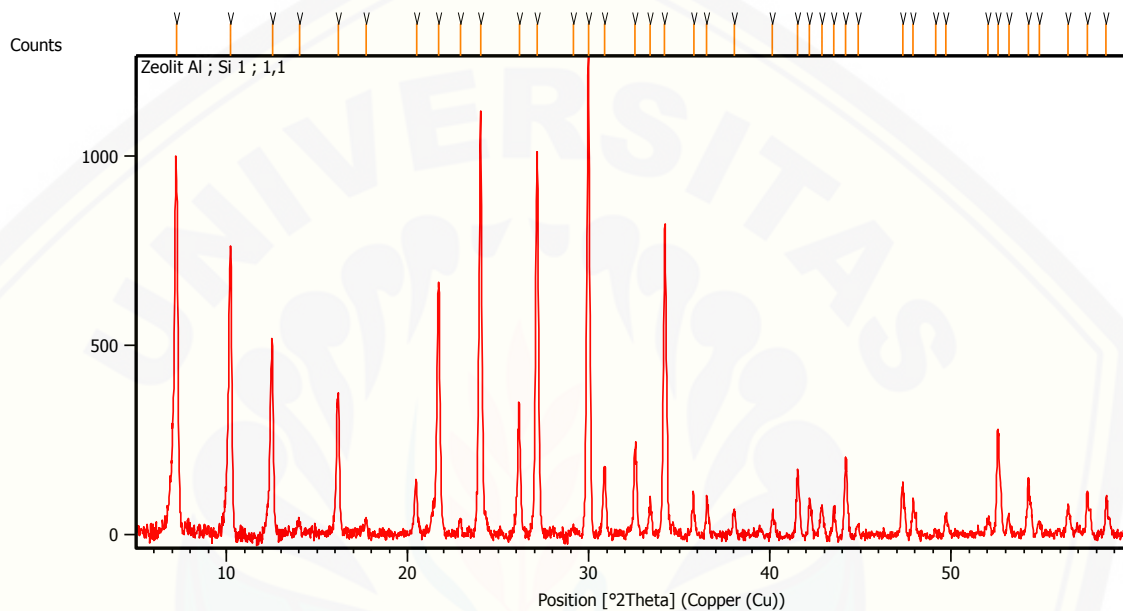


Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
32.6003	193.16	0.2676	2.74678	19.77
33.4162	86.66	0.2342	2.68156	8.87
34.2786	627.80	0.1506	2.61604	64.25
35.8639	76.71	0.2007	2.50396	7.85
36.5411	84.31	0.2007	2.45910	8.63
38.0206	47.79	0.2676	2.36674	4.89
40.2396	49.19	0.1673	2.24120	5.03
41.6094	138.24	0.3011	2.17053	14.15
42.2380	86.99	0.2007	2.13967	8.90
42.9337	88.59	0.1673	2.10660	9.07
43.5361	74.63	0.1673	2.07884	7.64
44.2218	162.79	0.1004	2.04818	16.66
44.8649	23.34	0.2007	2.02031	2.39
47.3577	113.16	0.2007	1.91962	11.58
48.0057	69.38	0.2342	1.89521	7.10
49.7229	57.59	0.1673	1.83371	5.89
52.0972	29.90	0.2342	1.75559	3.06
52.6628	234.31	0.0836	1.73806	23.98
53.2242	33.57	0.2007	1.72104	3.44
54.3227	112.93	0.2007	1.68881	11.56
54.9197	33.54	0.2007	1.67185	3.43
56.4886	54.88	0.2007	1.62909	5.62
57.6050	91.50	0.2676	1.60014	9.36
58.6780	81.10	0.2342	1.57342	8.30



**Lampiran 4.8 Hasil Analisa XRD Zeolit Rasio Molar Si/Al (1,1) = 1,24**

**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



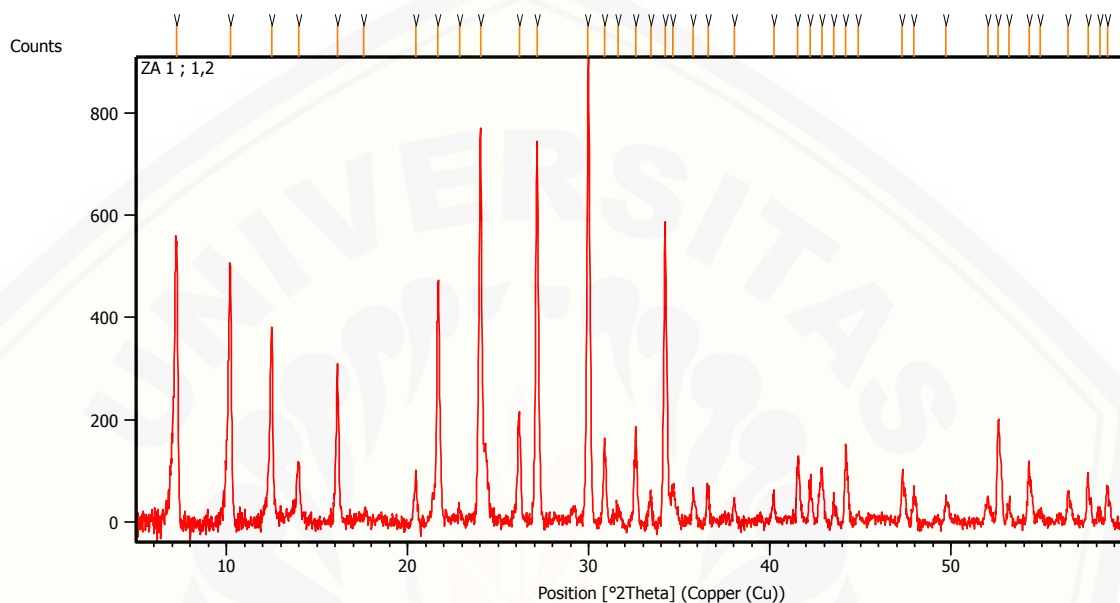
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
7.2385	928.00	0.1840	12.21269	71.78
10.2312	760.41	0.1506	8.64615	58.82
12.5214	502.51	0.1506	7.06938	38.87
14.0275	25.58	0.1673	6.31361	1.98
16.1788	360.45	0.1673	5.47861	27.88
17.7106	37.94	0.1004	5.00804	2.94
20.4888	131.82	0.1171	4.33483	10.20
21.7082	668.88	0.1338	4.09401	51.74
22.9010	52.09	0.1338	3.88340	4.03
24.0220	1147.51	0.1506	3.70465	88.77
26.1550	366.51	0.1338	3.40718	28.35
27.1536	1007.63	0.1840	3.28410	77.94
29.1318	43.57	0.2676	3.06544	3.37

Pos. [ $^{\circ}2\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\theta$ .]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
29.9635	1292.75	0.1338	2.98222	100.00
30.8626	206.26	0.1673	2.89736	15.96
32.5491	242.47	0.1506	2.75098	18.76
33.3871	109.22	0.1673	2.68383	8.45
34.1854	834.46	0.1338	2.62296	64.55
35.7730	123.95	0.0502	2.51011	9.59
36.5057	118.03	0.0669	2.46140	9.13
38.0145	68.63	0.1338	2.36711	5.31
40.1310	68.18	0.2007	2.24701	5.27
41.5125	171.77	0.1004	2.17537	13.29
42.1709	95.93	0.1673	2.14292	7.42
42.8496	89.56	0.1338	2.11054	6.93
43.5251	90.38	0.1338	2.07934	6.99
44.1754	200.74	0.1673	2.05023	15.53
44.8445	32.92	0.1673	2.02118	2.55
47.3141	133.61	0.1004	1.92128	10.34
47.8904	96.04	0.0669	1.89950	7.43
49.1471	20.16	0.2676	1.85383	1.56
49.6893	50.82	0.1673	1.83487	3.93
52.0332	37.30	0.1338	1.75760	2.89
52.5876	261.57	0.1004	1.74037	20.23
53.1689	58.41	0.1338	1.72270	4.52
54.2555	137.95	0.1004	1.69074	10.67
54.8485	30.21	0.1338	1.67386	2.34
56.4253	65.10	0.1673	1.63076	5.04
57.5127	116.75	0.1004	1.60249	9.03
58.5454	103.31	0.1171	1.57666	7.99

### Lampiran 4.9 Hasil Analisa XRD Zeolit Rasio Molar Si/Al (1,2) = 1,27

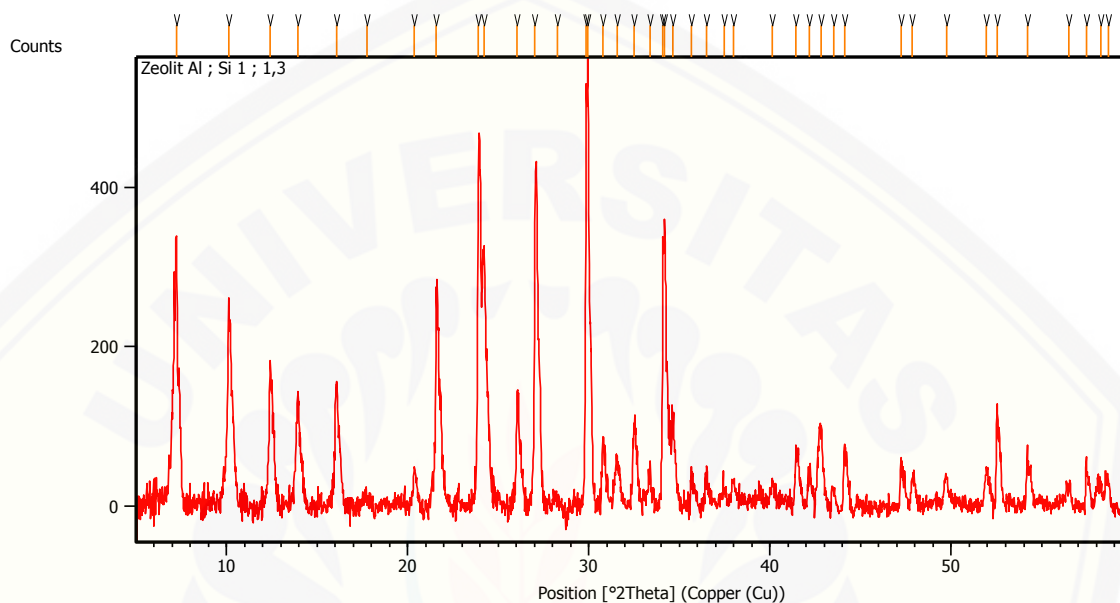
#### Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



#### Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [ $^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
7.2394	552.09	0.1673	12.21119	61.80
10.2118	500.25	0.0836	8.66250	55.99
12.5153	333.05	0.1338	7.07282	37.28
13.9678	110.44	0.1673	6.34046	12.36
16.1156	305.04	0.0836	5.49995	34.14
17.5711	10.80	0.4015	5.04749	1.21
20.4489	98.36	0.0669	4.34319	11.01
21.6716	476.19	0.1506	4.10084	53.30
22.8791	24.92	0.2007	3.88707	2.79
24.0084	778.93	0.1171	3.70672	87.19
26.1885	188.73	0.0836	3.40289	21.12
27.1332	749.18	0.1171	3.28652	83.86
29.9505	893.40	0.1338	2.98349	100.00
30.8495	177.17	0.1004	2.89856	19.83

Pos. [ $^{\circ}2\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\theta$ .]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
31.6136	48.01	0.3346	2.83022	5.37
32.5813	185.75	0.0502	2.74834	20.79
33.4167	85.73	0.1338	2.68152	9.60
34.2010	620.61	0.1338	2.62180	69.47
34.6365	87.28	0.1338	2.58983	9.77
35.7546	67.13	0.1338	2.51136	7.51
36.5648	69.68	0.1673	2.45755	7.80
38.0222	48.90	0.1338	2.36665	5.47
40.1910	52.87	0.1338	2.24380	5.92
41.5272	115.00	0.1673	2.17464	12.87
42.2079	85.11	0.1171	2.14113	9.53
42.8670	119.66	0.1004	2.10972	13.39
43.5031	59.87	0.1338	2.08034	6.70
44.1659	146.72	0.1004	2.05065	16.42
44.8717	20.23	0.2007	2.02002	2.26
47.2997	103.95	0.1673	1.92183	11.64
47.9543	62.32	0.1338	1.89712	6.98
49.6878	41.38	0.2007	1.83492	4.63
52.0186	54.34	0.2342	1.75806	6.08
52.5954	205.37	0.1338	1.74013	22.99
53.1672	29.56	0.2007	1.72275	3.31
54.2913	120.10	0.0669	1.68971	13.44
54.9021	19.74	0.2676	1.67235	2.21
56.4504	57.62	0.1338	1.63010	6.45
57.5486	105.89	0.1004	1.60158	11.85
58.1889	26.73	0.2007	1.58547	2.99
58.6385	78.45	0.1338	1.57438	8.78

**Lampiran 4.10 Hasil Analisa XRD Zeolit Rasio Molar Si/Al (1,3) = 1,35****Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
7.2324	341.86	0.0836	12.22304	60.67
10.1194	261.42	0.0669	8.74139	46.40
12.3987	178.84	0.0836	7.13912	31.74
13.9267	146.02	0.1673	6.35905	25.91
16.0607	152.34	0.1673	5.51860	27.04
17.7328	12.92	0.4015	5.00183	2.29
20.3706	53.76	0.1673	4.35971	9.54
21.5717	255.64	0.0836	4.11961	45.37
23.9001	412.65	0.1171	3.72327	73.23
24.2038	339.49	0.1338	3.67724	60.25
26.0334	156.08	0.0836	3.42282	27.70
27.0283	393.42	0.0836	3.29903	69.82
28.2502	27.66	0.4015	3.15907	4.91
29.8514	512.58	0.0816	2.99068	90.97

---

Pos. [ $^{\circ}2\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\theta$ .]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
29.9412	563.46	0.0502	2.98439	100.00
30.7628	97.87	0.1673	2.90653	17.37
31.5664	78.14	0.2007	2.83434	13.87
32.4886	117.72	0.1673	2.75597	20.89
33.3622	66.99	0.1673	2.68577	11.89
34.0946	360.42	0.1020	2.62756	63.96
34.1760	383.88	0.0836	2.62366	68.13
34.6421	125.60	0.1338	2.58942	22.29
35.6637	50.48	0.1338	2.51755	8.96
36.4802	46.19	0.1673	2.46306	8.20
37.4455	25.27	0.2007	2.40176	4.48
37.9722	29.25	0.2007	2.36964	5.19
40.1269	24.36	0.2007	2.24723	4.32
41.4297	70.94	0.2007	2.17953	12.59
42.1780	46.60	0.1673	2.14258	8.27
42.8078	104.39	0.3011	2.11250	18.53
43.5101	29.78	0.2007	2.08002	5.29
44.1094	87.46	0.1004	2.05314	15.52
47.2324	53.17	0.1004	1.92442	9.44
47.8288	34.90	0.2342	1.90181	6.19
49.7363	34.79	0.2007	1.83324	6.17
51.9525	47.83	0.2007	1.76014	8.49
52.5269	125.48	0.0836	1.74223	22.27
54.2039	72.10	0.0612	1.69083	12.80
56.4903	23.05	0.2676	1.62904	4.09
57.4616	52.45	0.1004	1.60380	9.31
58.2588	27.94	0.3346	1.58374	4.96
58.6724	35.48	0.2342	1.57356	6.30

---

**Lampiran 4.11 Hasil Analisa XRF Zeolit Rasio Molar Si/Al = 1**

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
SiO <sub>2</sub>	14	35.64%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	25.41%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
Na <sub>2</sub> O	11	25.23%	Fit spectrum	Na KA1/EQ20
MgO	12	6.86%	Fit spectrum	Mg KA1/EQ20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	15	2.25%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
SO <sub>3</sub>	16	1.48%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Cl	17	1.20%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
K <sub>2</sub> O	19	0.94%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
CaO	20	0.58%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57	0.09%	Fit spectrum	La KA1/EQ50
ZnO	30	0.07%	Fit spectrum	Zn KA1/EQ20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	0.07%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60	0.03%	Fit spectrum	Nd LA1/EQ20
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	23	0.02%	Fit spectrum	V KA1/EQ20
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24	0.02%	Fit spectrum	Cr KA1/EQ20
MnO	25	0.01%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
O	8	42.75%	Chem. bindings	
Na	11	18.72%	Fit spectrum	Na KA1/EQ20
Si	14	16.66%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Al	13	13.45%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
Mg	12	4.14%	Fit spectrum	Mg KA1/EQ20
Cl	17	1.20%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
P	15	0.98%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
K	19	0.78%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
S	16	0.59%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Ca	20	0.42%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
La	57	0.08%	Fit spectrum	La KA1/EQ50
Zn	30	0.06%	Fit spectrum	Zn KA1/EQ20
Fe	26	0.05%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
Nd	60	0.03%	Fit spectrum	Nd LA1/EQ20
Cr	24	0.01%	Fit spectrum	Cr KA1/EQ20
V	23	0.01%	Fit spectrum	V KA1/EQ20

**Lampiran 4.12 Hasil Analisa XRF Zeolit Rasio Molar Si/Al = 1,1**

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
SiO <sub>2</sub>	14	38.13%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	26.03%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
Na <sub>2</sub> O	11	24.35%	Fit spectrum	Na KA1/EQ20
MgO	12	4.50%	Fit spectrum	Mg KA1/EQ20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	15	2.21%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
SO <sub>3</sub>	16	1.63%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Cl	17	1.45%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
K <sub>2</sub> O	19	0.98%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
CaO	20	0.52%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	0.06%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
ZnO	30	0.04%	Fit spectrum	Zn KA1/EQ20
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	23	0.03%	Fit spectrum	V KA1/EQ20
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24	0.02%	Fit spectrum	Cr KA1/EQ20
MnO	25	0.01%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
SnO <sub>2</sub>	50	0.01%	Fit spectrum	Sn KA1/EQ40

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
O	8	43.22%	Chem. bindings	
Na	11	18.06%	Fit spectrum	Na KA1/EQ20
Si	14	17.82%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Al	13	13.77%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
Mg	12	2.71%	Fit spectrum	Mg KA1/EQ20
Cl	17	1.45%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
P	15	0.97%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
K	19	0.82%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
S	16	0.65%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Ca	20	0.37%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
Fe	26	0.04%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
Zn	30	0.03%	Fit spectrum	Zn KA1/EQ20
V	23	0.02%	Fit spectrum	V KA1/EQ20
Cr	24	0.01%	Fit spectrum	Cr KA1/EQ20



**Lampiran 4.13 Hasil Analisa XRF Zeolit Rasio Molar Si/Al = 1,2**

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
SiO <sub>2</sub>	14	39.90%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	26.65%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
Na <sub>2</sub> O	11	21.89%	Fit spectrum	Na KA1/EQ20
MgO	12	3.91%	Fit spectrum	Mg KA1/EQ20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	15	2.08%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
SO <sub>3</sub>	16	1.51%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Cl	17	1.41%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
CaO	20	1.14%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
K <sub>2</sub> O	19	0.99%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
ZnO	30	0.25%	Fit spectrum	Zn KA1/EQ20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	0.10%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	23	0.03%	Fit spectrum	V KA1/EQ20
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60	0.03%	Fit spectrum	Nd LA1/EQ20
MnO	25	0.02%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24	0.02%	Fit spectrum	Cr KA1/EQ20

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
O	8	43.69%	Chem. bindings	
Si	14	18.65%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Na	11	16.24%	Fit spectrum	Na KA1/EQ20
Al	13	14.11%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
Mg	12	2.36%	Fit spectrum	Mg KA1/EQ20
Cl	17	1.41%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
P	15	0.91%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
K	19	0.83%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
Ca	20	0.82%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
S	16	0.61%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Zn	30	0.20%	Fit spectrum	Zn KA1/EQ20
Fe	26	0.07%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
Nd	60	0.03%	Fit spectrum	Nd LA1/EQ20
V	23	0.02%	Fit spectrum	V KA1/EQ20
Mn	25	0.02%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
Cr	24	0.01%	Fit spectrum	Cr KA1/EQ20

**Lampiran 4.14 Hasil Analisa XRF Zeolit Rasio Molar Si/Al = 1,3**

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
SiO <sub>2</sub>	14	44.24%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	27.89%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
Na <sub>2</sub> O	11	16.94%	Fit spectrum	Na KA1/EQ20
MgO	12	2.97%	Fit spectrum	Mg KA1/EQ20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	15	2.06%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
SO <sub>3</sub>	16	1.50%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Cl	17	1.45%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
CaO	20	1.28%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
K <sub>2</sub> O	19	1.07%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
ZnO	30	0.23%	Fit spectrum	Zn KA1/EQ20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	0.12%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57	0.11%	Fit spectrum	La KA1/EQ50
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	23	0.02%	Fit spectrum	V KA1/EQ20
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60	0.02%	Fit spectrum	Nd LA1/EQ20
MnO	25	0.02%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
SrO	38	0.01%	Fit spectrum	Sr KA1/EQ20
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24	0.01%	Fit spectrum	Cr KA1/EQ20

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
O	8	44.98%	Chem. bindings	
Si	14	20.68%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Al	13	14.76%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
Na	11	12.57%	Fit spectrum	Na KA1/EQ20
Mg	12	1.79%	Fit spectrum	Mg KA1/EQ20
Cl	17	1.45%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
Ca	20	0.91%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
P	15	0.90%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
K	19	0.89%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
S	16	0.60%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Zn	30	0.19%	Fit spectrum	Zn KA1/EQ20
La	57	0.10%	Fit spectrum	La KA1/EQ50
Fe	26	0.08%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
Nd	60	0.02%	Fit spectrum	Nd LA1/EQ20
Mn	25	0.02%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
V	23	0.01%	Fit spectrum	V KA1/EQ20
Sr	38	0.01%	Fit spectrum	Sr KA1/EQ20